GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
UNIDAD DE FISCALIZACIÓN

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIONES DE VALPARAÍSO, METROPOLITANA, DEL LIBERTADOR BERNARDO O´HIGGINS, DEL MAULE Y DEL BIOBÍO

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

S.I.T. Nº 349

Santiago, Noviembre 2014

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Comercial Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas
Abogado Sr. Carlos Estévez Valencia

Jefe Unidad de Fiscalización
Ingeniero Agrónomo Sr. Marco Soto F.

Inspector Fiscal
Ingeniero Agrónomo M.S. Sr. Guillermo Sepúlveda R.

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Jaime Vargas Paysen

Profesionales

Ingeniero Civil Kricor Bzdigian K.
Ingeniera Civil Elizabeth Mockridge E.
Ingeniero Civil Camilo Alarcón C.
Ingeniera Civil Paula Contreras T.
Ingeniera Civil en Geografía Claudia Hernández L.
Técnico Jorge Jaluff R.

INDICE

TOMO I

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS 1
1.1 Introducción 1
1.2 Objetivos Generales 2
1.3 Objetivos Específicos 2

2. ÁREA DE ESTUDIO 3
3. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES 9
4. METODOLOGÍA APLICADA 10
4.1 Trabajos de Terreno 10
4.2 Trabajos en Gabinete 12
4.2.1 Estudio de Crecidas 13
4.2.1.1 Antecedentes Utilizados 13
4.2.1.2 Caudales Máximo Instantáneos 17
4.2.2 Análisis de Estabilidad del Muro 31
4.2.3 Análisis de Filtraciones 33
4.2.4 Cálculo de Caudales en Vertederos 34
4.2.5 Análisis de Riesgos (Hazop) 36
4.2.5.1 Base Metodológica 36
4.2.5.2 Adaptación para Análisis de Riesgos en Embalses 37
4.2.5.3 Eventos Desencadenantes 37
4.2.5.4 Análisis de la Vulnerabilidad 38
4.2.5.5 Efectos 45

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES 48

6. EMBALSE CHAMORRO 59
6.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 59
6.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 65
6.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 68
6.4 Caudales Máximos Instantáneos 71
6.5 Análisis de Estabilidad 72
6.6 Filtraciones 77
6.7 Caudal Máximo en Vertedero 77
6.8 Análisis de Riesgos 77

7. EMBALSE DE CENIZAS 83
7.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 83

7.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 89
7.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 91
7.4 Caudales Máximos Instantáneos 94
7.5 Análisis de Estabilidad 95
7.6 Filtraciones 99
7.7 Caudal Máximo en Vertedero 100
7.8 Análisis de Riesgos 100

8. EMBALSE EL RECREO 106
8.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 106
8.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 112
8.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 115
8.4 Caudales Máximos Instantáneos 118
8.5 Análisis de Estabilidad 119
8.6 Filtraciones 123
8.7 Caudal Máximo en Vertedero 124
8.8 Análisis de Riesgos 124

9. EMBALSE EL CAJÓN 130
9.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 130
9.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 137
9.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 139
9.4 Caudales Máximos Instantáneos 142
9.5 Análisis de Estabilidad 143
9.6 Filtraciones 148
9.7 Caudal Máximo en Vertedero 148
9.8 Análisis de Riesgos 148

10. EMBALSE CAMPO LINDO 155
10.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 155
10.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 161
10.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 164

10.4 Caudales Máximos Instantáneos 167
10.5 Análisis de Estabilidad 168
10.6 Filtraciones 173
10.7 Caudal Máximo en Vertedero 173
10.8 Análisis de Riesgos 173

11. EMBALSE EL SAUZAL 179
11.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 179
11.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 185
11.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 187
11.4 Caudales Máximos Instantáneos 190
11.5 Análisis de Estabilidad 191
11.6 Filtraciones 196
11.7 Caudal Máximo en Vertedero 196
11.8 Análisis de Riesgos 196

12. EMBALSE ESCORIAL O LA GLORIA 202
12.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 202
12.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 208
12.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 212
12.4 Caudales Máximos Instantáneos 216
12.5 Análisis de Estabilidad 217
12.6 Filtraciones 222
12.7 Caudal Máximo en Vertedero 222
12.8 Análisis de Riesgos 222

13. EMBALSE EL PALQUI 228
13.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 228
13.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 235
13.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 238
13.4 Caudales Máximos Instantáneos 241
13.5 Análisis de Estabilidad 242
13.6 Filtraciones 247
13.7 Caudal Máximo en Vertedero 247
13.8 Análisis de Riesgos 248

14. EMBALSE VILLA PELDEHUE 2 253
14.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 253
14.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 261
14.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 264
14.4 Caudales Máximos Instantáneos 267
14.5 Análisis de Estabilidad 268
14.6 Filtraciones 273
14.7 Caudal Máximo en Vertedero 273
14.8 Análisis de Riesgos 274

15. EMBALSE HUECHÚN BAJO 279
15.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 279
15.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 286
15.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 289
15.4 Caudales Máximos Instantáneos 292
15.5 Análisis de Estabilidad 293
15.6 Filtraciones 298
15.7 Caudal Máximo en Vertedero 298
15.8 Análisis de Riesgos 299

16. EMBALSE RANCHILLO 304
16.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 304
16.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 310
16.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 313
16.4 Caudales Máximos Instantáneos 316
16.5 Análisis de Estabilidad 317
16.6 Filtraciones 322
16.7 Caudal Máximo en Vertedero 322
16.8 Análisis de Riesgos 323

17. EMBALSE EL LLANO 328
17.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 328
17.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 334

17.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 337
17.4 Caudales Máximos Instantáneos 340
17.5 Análisis de Estabilidad 341
17.6 Filtraciones 346
17.7 Caudal Máximo en Vertedero 346
17.8 Análisis de Riesgos 346

18. EMBALSE REINA SUR 352
18.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 352
18.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 358
18.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 361
18.4 Caudales Máximos Instantáneos 365
18.5 Análisis de Estabilidad 365
18.6 Filtraciones 370
18.7 Caudal Máximo en Vertedero 370
18.8 Análisis de Riesgos 370

19. EMBALSE LA DEHESA 376
19.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 376
19.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 383
19.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 386
19.4 Caudales Máximos Instantáneos 389
19.5 Análisis de Estabilidad 390
19.6 Filtraciones 395
19.7 Caudal Máximo en Vertedero 395
19.8 Análisis de Riesgos 395

20. EMBALSE PAILIMO I 401
20.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 401
20.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 408
20.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 411
20.4 Caudales Máximos Instantáneos 414
20.5 Análisis de Estabilidad 415
20.6 Filtraciones 420

20.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 420
20.8 Análisis de Riesgos 420

21. EMBALSE PAILIMO II 426
21.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 426
21.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 433
21.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 436
21.4 Caudales Máximos Instantáneos 443
21.5 Análisis de Estabilidad 444
21.6 Filtraciones..... 449
21.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 449
21.8 Análisis de Riesgos 449

22. EMBALSE PATAGUA CERRO GUAIRABO 455
22.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 455
22.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 462
22.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 465
22.4 Caudales Máximos Instantáneos 469
22.5 Análisis de Estabilidad 470
22.6 Filtraciones..... 475
22.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 475
22.8 Análisis de Riesgos 475

23. EMBALSE LAGUNILLA 481
23.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 481
23.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 488
23.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 491
23.4 Caudales Máximos Instantáneos 494
23.5 Análisis de Estabilidad 495
23.6 Filtraciones..... 500
23.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 500
23.8 Análisis de Riesgos 500

24. EMBALSE LA TROYA 506
24.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 506

24.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro.....512
24.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 515
24.4 Caudales Máximos Instantáneos 518
24.5 Análisis de Estabilidad 518
24.6 Filtraciones.....523
24.7 Caudal Máximo en Vertedero.....523
24.8 Análisis de Riesgos 523

25. EMBALSE TRINIDAD.....529
25.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 529
25.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro.....537
25.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 540
25.4 Caudales Máximos Instantáneos 543
25.5 Análisis de Estabilidad 544
25.6 Filtraciones.....549
25.7 Caudal Máximo en Vertedero.....549
25.8 Análisis de Riesgos 549

26. EMBALSE LAS LOMAS 555
26.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 555
26.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro.....561
26.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 564
26.4 Caudales Máximos Instantáneos 567
26.5 Análisis de Estabilidad 568
26.6 Filtraciones.....573
26.7 Caudal Máximo en Vertedero.....573
26.8 Análisis de Riegos.....574

27. EMBALSE LA ESTANCIA 579
27.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 579
27.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro.....586
27.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 590
27.4 Caudales Máximos Instantáneos 592

27.5 Análisis de Estabilidad 593
27.6 Filtraciones 598
27.7 Caudal Máximo en Vertedero 598
27.8 Análisis de Riesgos 598

28. EMBALSE LA AGUADA 604
28.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 604
28.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 610
28.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 612
28.4 Caudales Máximos Instantáneos 615
28.5 Análisis de Estabilidad 616
28.6 Filtraciones 621
28.7 Caudal Máximo en Vertedero 621
28.8 Análisis de Riesgos 621

29. EMBALSE BARANDICA 627
29.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 627
29.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 633
29.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 637
29.4 Caudales Máximos Instantáneos 639
29.5 Análisis de Estabilidad 640
29.6 Filtraciones 645
29.7 Caudal Máximo en Vertedero 645
29.8 Análisis de Riesgos 645

30. EMBALSE LOS MAITENES 651
30.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 651
30.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 658
30.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 661
30.4 Caudales Máximos Instantáneos 664
30.5 Análisis de Estabilidad 665
30.6 Filtraciones 670
30.7 Caudal Máximo en Vertedero 670
30.8 Análisis de Riesgos 671

31. EMBALSE CHÉPICA 676
31.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 676
31.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 683
31.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 686
31.4 Caudales Máximos Instantáneos 689
31.5 Análisis de Estabilidad 690
31.6 Filtraciones..... 695
31.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 695
31.8 Análisis de Riesgos 695

TOMO II

32. EMBALSE LAS MERCEDES NUEVO..... 701
32.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 701
32.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 708
32.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 711
32.4 Caudales Máximos Instantáneos 715
32.5 Análisis de Estabilidad 715
32.6 Filtraciones..... 721
32.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 721
32.8 Análisis de Riesgos 721

33. EMBALSE SAN GERARDO 727
33.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 727
33.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 736
33.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 739
33.4 Caudales Máximos Instantáneos 743
33.5 Análisis de Estabilidad 743
33.6 Filtraciones..... 748
33.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 748
33.8 Análisis de Riesgos 748

34. EMBALSE LOS MAITENES 2..... 754
34.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 754

34.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 761
34.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 764
34.4 Caudales Máximos Instantáneos 767
34.5 Análisis de Estabilidad 768
34.6 Filtraciones 773
34.7 Caudal Máximo en Vertedero 773
34.8 Análisis de Riesgos 774

35. EMBALSE MORATELLI 779
35.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 779
35.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 786
35.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 789
35.4 Caudales Máximos Instantáneos 794
35.5 Análisis de Estabilidad 794
35.6 Filtraciones 799
35.7 Caudal Máximo en Vertedero 800
35.8 Análisis de Riesgos 800

36. EMBALSE AGUAS VERDES 805
36.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 805
36.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 812
36.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 815
36.4 Caudales Máximos Instantáneos 819
36.5 Análisis de Estabilidad 819
36.6 Filtraciones 825
36.7 Caudal Máximo en Vertedero 825
36.8 Análisis de Riesgos 825

37. EMBALSE SAN GERÓNIMO 831
37.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 831
37.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 837
37.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 840
37.4 Caudales Máximos Instantáneos 844

37.5 Análisis de Estabilidad 845
37.6 Filtraciones 850
37.7 Caudal Máximo en Vertedero 850
37.8 Análisis de Riesgos 850

38. EMBALSE SOCIEDAD AGRÍCOLA GANADERA Y FORESTAL ROSAURO MARTÍNEZ LABBÉ 856
38.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 856
38.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 863
38.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 866
38.4 Caudales Máximos Instantáneos 869
38.5 Análisis de Estabilidad 870
38.6 Filtraciones 875
38.7 Caudal Máximo en Vertedero 876
38.8 Análisis de Riesgos 876

39. EMBALSE TECNOFRÍO 881
39.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 881
39.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 888
39.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 892
39.4 Caudales Máximos Instantáneos 895
39.5 Análisis de Estabilidad 896
39.6 Filtraciones 901
39.7 Caudal Máximo en Vertedero 901
39.8 Análisis de Riesgos 901

40. EMBALSE EL TUCAPEL 907
40.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 907
40.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 913
40.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 916
40.4 Caudales Máximos Instantáneos 920
40.5 Análisis de Estabilidad 921
40.6 Filtraciones 925
40.7 Caudal Máximo en Vertedero 926
40.8 Análisis de Riesgos 926

41. EMBALSE RÍO LARQUI 931
41.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 931
41.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 937
41.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 940
41.4 Caudales Máximos Instantáneos 943
41.5 Análisis de Estabilidad 943
41.6 Filtraciones..... 948
41.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 949
41.8 Análisis de Riesgos 949

42. EMBALSE SANTA ROSA..... 954
42.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 954
42.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 961
42.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 964
42.4 Caudales Máximos Instantáneos 967
42.5 Análisis de Estabilidad 968
42.6 Filtraciones..... 973
42.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 973
42.8 Análisis de Riesgos 974

43. EMBALSE HACIENDO RUCAMANQUI..... 979
43.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 979
43.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 987
43.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 990
43.4 Caudales Máximos Instantáneos 993
43.5 Análisis de Estabilidad 994
43.6 Filtraciones..... 999
43.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 999
43.8 Análisis de Riegos..... 1000

44. EMBALSE LAS LAGUNAS 1005
44.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 1005
44.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 1010

44.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 1010
44.4 Caudales Máximos Instantáneos 1013
44.5 Análisis de Estabilidad 1014
44.6 Filtraciones 1015
44.7 Análisis de Riesgos 1015

45. EMBALSE LAS NIEVES 1016
45.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 1016
45.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 1024
45.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 1027
45.4 Caudales Máximos Instantáneos 1030
45.5 Análisis de Estabilidad 1031
45.6 Filtraciones 1036
45.7 Caudal Máximo en Vertedero 1036
45.8 Análisis de Riesgos 1037

46. EMBALSE GUAIRAO II 1042
46.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 1042
46.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 1048
46.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 1050
46.4 Caudales Máximos Instantáneos 1053
46.5 Análisis de Estabilidad 1054
46.6 Filtraciones 1059
46.7 Caudal Máximo en Vertedero 1059
45.8 Análisis de Riesgos 1059

47. EMBALSE MILAHUE 1065
47.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 1065
47.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro 1072
47.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 1075
47.4 Caudales Máximos Instantáneos 1078
47.5 Análisis de Estabilidad 1078
47.6 Filtraciones 1083
47.7 Caudal Máximo en Vertedero 1083

47.8 Análisis de Riesgos 1083

48. EMBALSE EL CACIQUE 1089
48.1 Ficha de Catastro y Registro Fotográfico 1089
48.2 Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro..... 1096
48.3 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo 1097
48.4 Caudales Máximos Instantáneos 1100
48.5 Análisis de Estabilidad 1101
48.6 Filtraciones..... 1102
48.7 Caudal Máximo en Vertedero..... 1102
48.8 Análisis de Riesgos 1102

ANEXOS

ANEXO 1	Estadísticas de Precipitaciones Máximas Diarias
ANEXO 2	Análisis de Frecuencia Precipitaciones Máximas Diarias
ANEXO 3	Resoluciones

PLANOS

PLANO 2-1	Ubicación Embalses Regiones V, RM y VI
PLANO 2-2	Ubicación Embalses Regiones VII y VIII
PLANO 4-1	Ubicación de Embalses y Estaciones Pluviométricas

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

Una de las principales atribuciones y funciones que el Código de Aguas le confiere a la Dirección General de Aguas es la Fiscalización, facultad matriz de la cual se derivan una serie de potestades de carácter normativo y regulador, respecto de los diferentes campos de acción del ámbito de los recursos hídricos.

El artículo 294 letra a) del Código de Aguas, establece que requerirán aprobación del Director General de Aguas, los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos (50.000 m3) o cuyo muro tenga más de 5 m de altura.

Por otra parte, el artículo 307 señala que la Dirección General de Aguas, inspeccionará las obras mayores, cuyo deterioro o eventual destrucción pueda afectar a terceros.

Comprobado el deterioro, la Dirección General de Aguas ordenará su reparación y podrá establecer, mediante resoluciones fundadas, normas transitorias de operación de las obras, las que se mantendrán vigentes mientras no se efectúe su reparación.

Si ello no se efectuase en los plazos que determine, dictará una resolución fundada, ratificando como permanente la norma de operación transitoria y además podrá aplicar a las Organizaciones que administren las obras una multa.

El Ministerio de Obras Públicas y en particular la Dirección General de Aguas, está iniciando un proceso de verificación del estado de las obras que pudieran afectar la vida y la salud de los habitantes de los sectores cercanos a ellas.

Para ello, se requiere conocer en qué situación se encuentran las obras denominadas en este estudio Embalses Mayores, es decir, aquellas asimilables a lo señalado en la letra a) del artículo 294 del Código de Aguas, pero también incluyendo para estos fines embalses cuya altura o capacidad no cabe en esa definición, pero que podrían generar potencial peligro para asentamientos humanos.

Cabe destacar que el Ministerio de Obras Públicas ha definido como una labor prioritaria el tema de la seguridad de las obras de infraestructura

pública y privada, teniendo especial relevancia el alto grado de riesgo de obras hidráulicas, específicamente las relacionadas con embalses.

La falta de prevención y previsión en el mantenimiento, reparación y operación de obras hidráulicas puede traer consigo graves daños a la propiedad pública y privada y a la vida y salud de los habitantes, una adecuada labor de inspección permitirá evitar al Estado graves daños de carácter patrimonial consecuencia de múltiples acciones legales emprendidas por particulares perjudicados por la ocurrencia de un evento catastrófico atribuible a negligencia o falta de previsión por parte de la autoridad.

Por las razones expuestas, la Dirección General de Aguas requiere extender con un mayor alcance regional, el Catastro de Embalses ya realizado, con el fin de contar con bases de datos con información actualizada, que constituya un apoyo efectivo a la toma de decisiones de las autoridades de la Dirección General de Aguas, regionales y nacionales.

Cabe destacar que la Dirección General de Aguas, a raíz del terremoto de 2010, realizó estudios de similares características al que se licitará, y dictó resoluciones que ordenan normas transitorias de operación en 40 de los 43 embalses incluidos en el presente estudio.

1.2 Objetivos Generales

Realizar un catastro de los embalses, obras previamente seleccionados por las Direcciones Regionales de Agua, orientado a prevenir que el deterioro o eventual destrucción de estas obras pueda afectar la seguridad de terceros (artículo 307 del Código de Aguas).

1.3 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del estudio son:

- Recopilación, Revisión y Análisis de Antecedentes.
- Inspección en terreno del total de embalses solicitados (43)
- Evaluación del riesgo asociado a cada embalse.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio incluye las regiones de Valparaíso, Metropolitana, del Libertador Bernardo O´Higgins, del Maule y del Biobío.

En los siguientes cuadros se incluye el listado de los 43 embalses que serán diagnosticados. En los Planos 2-1 y 2-2 se muestra la ubicación de cada uno de esos 43 embalses. En el plano 2-1 se muestran los embalses ubicados en las regiones V, RM y VI, mientras que el Plano 2-2 incluye los embalses ubicados en las regiones VII y VIII.

CUADRO 2-1
EMBALSES REGIÓN DE VALPARAÍSO

ID	Nombre del Embalse	Region	Provincia	Comuna	Resoluciones D.G.A	EMPRESA (*)	NORTE	ESTE	Datum	Huso
1	Chamorro	Valparaíso	Valparaíso	Quintero	Nº 520, de 26 de abril de 2010	AQUATERRA	6.365.837	271.840	1984	19
2	Las Cenizas	Valparaíso	Valparaíso	Valparaíso	Nº 794, de 18 de junio de 2010	AQUATERRA	6.333.894	263.123	1984	19
3	El Recreo	Valparaíso	Marga Marga	Quilpué	Nº 1649, de 16 de noviembre de 2010	CONIC	6.336.749	277.811	1984	19
4	El Cajón	Valparaíso	Valparaíso	Casablanca	Nº 138, de 28 de enero de 2011	CONIC	6.318.935	275.508	1984	19
5	Campo Lindo	Valparaíso	Valparaíso	Casablanca	Nº 510, de 22 de abril de 2010	CONIC	6.319.659	286.742	1984	19
6	El Sauzal	Valparaíso	Valparaíso	Valparaíso	Nº 657, de 20 de mayo de 2010	CONIC	6.333.566	255.326	1984	19

(*) Empresa que visitó el embalse posterior al terremoto del 27F del 2010

CUADRO 2-2
EMBALSES REGIÓN METROPOLITANA

ID	Nombre del Embalse	Region	Provincia	Comuna	Resoluciones D.G.A	EMPRESA (*)	NORTE	ESTE	Datum	Huso
7	Escorial o La Gloria	Metropolitana	Maipo	Paine	Nº 372, de 20-03-2010	ARCADIS	6.253.075	351.740	1984	19
8	El Palqui	Metropolitana	Melipilla	San Pedro	Nº 691, de 09-07-2002		6.251.771	270.182	1984	19
9	Villa Peldehue 2	Metropolitana	Chacabuco	Colina	Nº 100, de 25-06-2010	AQUATERRA	6.328.905	348.334	1984	19
10	Huechún Bajo	Metropolitana	Melipilla	Melipilla	Nº 803, de 20-05-2010	AQUATERRA	6.287.626	286.309	1984	19
11	Ranchillo	Metropolitana	Melipilla	María Pinto	No tiene	AQUATERRA	6.287.311	306.171	1984	19
12	El Llano	Metropolitana	Melipilla	María Pinto	Nº 802, de 20-05-2010	AQUATERRA	6.290.488	293.398	1984	19
13	Reina Sur	Metropolitana	Chacabuco	Colina	No tiene	AQUATERRA	6.325.283	343.150	1984	19
14	La Dehesa	Metropolitana	Santiago	Lo Barnechea	Nº 729, de 12-07-2002		6.311.274	357.755	1984	19

(*) Empresa que visitó el embalse posterior al terremoto del 27F del 2010

CUADRO 3-3
EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O´HIGGINS

ID	Nombre del Embalse	Region	Provincia	Comuna	Resoluciones D.G.A	EMPRESA (*)	NORTE	ESTE	Datum	Huso
15	Pailimo I	Lib. Berdo. O'Higgins	Cardenal Caro	Marchigue	24 de 2011	ARRAU	6.202.484	241.772	1984	19
16	Pailimo II	Lib. Berdo. O'Higgins	Cardenal Caro	Marchigue y La Estrella	1758 de 2010	ARRAU	6.202.243	245.840	1984	19
17	Patagua Cerro Guairabo	Lib. Berdo. O'Higgins	Colchagua	Santa Cruz	637 de 2010	ARRAU	6.157.440	283.281	1984	19
18	Lagunilla	Lib. Berdo. O'Higgins	Cachagua	Pumanque	166 de 2011	ARRAU	6.168.230	257.507	1984	19
19	La Troya	Lib. Berdo. O'Higgins	Colchagua	Peralillo	136 de 2011	ARRAU	6.183.149	272.515	1984	19
20	Trinidad	Lib. Berdo. O'Higgins	Caldenal Caro	Marchigue	2072 de 2010	ARRAU	6.192.136	267.023	1984	19

(*) Empresa que visitó el embalse posterior al terremoto del 27F del 2010

CUADRO 3-4
EMBALSES REGIÓN DEL MAULE

ID	Nombre del Embalse	Region	Provincia	Comuna	Resoluciones D.G.A	EMPRESA (*)	NORTE	ESTE	Datum	Huso
21	Las Lomas	Del Maule	Curicó	Sagrada Familia	Nº 366, de 01-04-2010	ARCADIS	6.105.038	262.407	1984	19
22	La Estancia	Del Maule	Curicó	Rauco	Nº 408, de 20-04-2010	CONIC	6.138.472	285.450	1984	19
23	La Aguada	Del Maule	Curicó	Sagrada Familia	Nº 670, de 30-06-2010	ARRAU	6.109.516	266.742	1984	19
24	Barandica	Del Maule	Curicó	Sagrada Familia	Nº 1055, de 07-12-2010	ARCADIS	6.122.820	250.720	1984	19
25	Los Maitenes	Del Maule	Talca	Río Claro	Nº 364, de 29-03-2010	ARRAU	6.089.372	304.576	1984	19
26	Chépica	Del Maule	Talca	Pencahue	Nº 986, de 18-11-2010	ARRAU	6.081.667	240.766	1984	19
27	Las Mercedes Nuevo	Del Maule	Talca	Río Claro	Nº 38, de 31-01-2011	ARRAU	6.096.968	294.497	1984	19
28	San Gerardo	Del Maule	Talca	Río Claro	Nº 39, de 31-01-2011	ARRAU	6.101.920	296.169	1984	19
29	Maitenes II	Del Maule	Talca	Río Claro	Nº 428, de 06-06-2011	CONIC	6.088.960	304.003	1984	19
30	Emb. Moratelli	Del Maule	Talca	San Rafael	Nº 796, de 09-09-2010	CONIC	6.095.221	282.389	1984	19

(*) Empresa que visitó el embalse posterior al terremoto del 27F del 2010

CUADRO 3-4
EMBALSES REGIÓN DEL BIOBÍO

ID	Nombre del Embalse	Region	Provincia	Comuna	Resoluciones D.G.A	EMPRESA (*)	NORTE	ESTE	Datum	Huso
31	Aguas Verdes (San Jorge)	Del BioBío	Ñuble	San Carlos	Nº 375, de 20 de abril de 2011	ARCADIS	5.966.220	250.035	1984	19
32	San Gerónimo	Del BioBío	Ñuble	Portezuelo	Nº 1039, de 11 de mayo de 2010	DGA	5.955.776	733.970	1984	18
33	Soc. Ag. Gan. Y For. Rosauro Martínez Labbé	Del BioBío	Ñuble	El Carmen	Nº 612, de 02 de junio de 2011	ARCADIS	5.907.819	233.085	1984	19
34	Tecnofrío	Del BioBío	Ñuble	Cobquecura	Nº 519, de 25 de marzo de 2010	CONIC	5.997.881	702.806	1984	18
35	Tucapel	Del BioBío	BioBío	BioBío	Nº 581, de 01 de abril de 2010	ARRAU	5.866.916	239.857	1984	19
36	Río Larqui	Del BioBío	Ñuble	Chillán Viejo	No tiene	ARCADIS	5.932.405	745.375	1984	18
37	Santa Rosa	Del BioBío	Ñuble	San Carlos	Nº 1922, de 01 de diciembre de 2010	ARCADIS	5.958.902	764.723	1984	18
38	Hacienda Rucamanqui	Del BioBío	BioBío	Tucapel	Nº 1747, de 28 de octubre de 2010	ARCADIS	5.880.176	244.781	1984	19
39	Tranque Las Lagunas	Del BioBío	BioBío	Quilaco	Nº 1748, de 28 de octubre de 2010	ARCADIS	5.812.459	249.687	1984	19
40	Tranque Las Nieves	Del BioBío	Ñuble	Bulnes	Nº 1926, de 02 de diciembre	ARCADIS	5.919.727	750.487	1984	18
41	Guairao II	Del BioBío	Ñuble	Quirihue	Nº 2885, de 21 de abril de 2011	ARCADIS	5.988.279	728.452	1984	18
42	Millahue	Del BioBío	Ñuble	Bulnes	Nº 221, de 08 de marzo de 2011	ARCADIS	5.919.541	746.595	1984	18
43	El Cacique	Del BioBío	Ñuble	Pemuco	Nº 1423, de 24 de agosto de 2010	CONIC	5.910.524	751.197	1984	18

(*) Empresa que visitó el embalse posterior al terremoto del 27F del 2010

260.000 320.000 380.000 440.000

6.420.000 6.360.000 6.300.000 6.240.000 6.180.000 6.120.000

N W E S

Región de Coquimbo

Región de Valparaíso

Región Metropolitana de Santiago

Región del Libertador Bernardo O'Higgins

Región del Maule

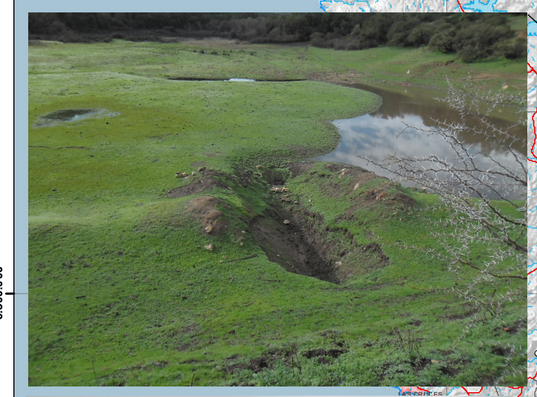
SIMBOLOGÍA

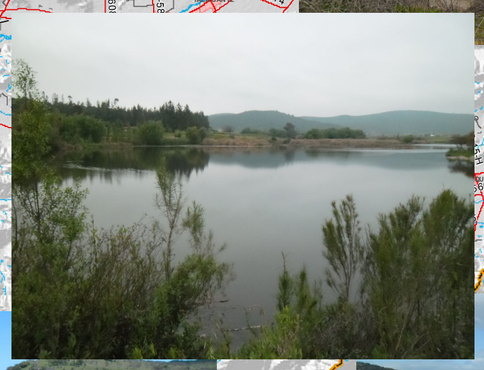
- Embalses Prioritarios
- Ríos, esteros y quebradas
- Lagos, lagunas, embalses
- Ciudades
- Límite Internacional
- Límite Regional
- Límite Costero

Datos Cartográficos y Geodésicos:
Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
Huso 19 Sur

Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nota: Trazado de límites aproximado





ID	Nombre del Embalse	Provincia	Comuna	UTM Norte	UTM Este
REGIÓN DE VALPARAÍSO					
1	Chamorro	Valparaíso	Quintero	6.365.837	271.840
2	Las Cenizas	Valparaíso	Valparaíso	6.333.894	263.123
3	El Recreo	Marga Marga	Quilpué	6.336.749	277.811
4	El Cajón	Valparaíso	Casablanca	6.318.935	275.508
5	Campo Lindo	Valparaíso	Casablanca	6.319.659	286.742
6	El Sauzal	Valparaíso	Valparaíso	6.333.566	255.326
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO					
7	Escorial o La Gloria	Maipo	Paine	6.253.075	351.740
8	El Palqui	Melipilla	San Pedro	6.251.771	270.182
9	Villa Peldehue 2	Chacabuco	Colina	6.328.905	348.334
10	Huechún Bajo	Melipilla	Melipilla	6.267.626	286.309
11	Ranchillo	Melipilla	María Pinto	6.287.311	306.171
12	El Llano	Melipilla	María Pinto	6.290.488	293.398
13	Reina Sur	Chacabuco	Colina	6.325.283	343.150
14	La Dehesa	Santiago	Lo Barnechea	6.311.274	357.755
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS					
15	Pailimo I	Cardenal Caro	Marchigue	6.202.484	241.772
16	Pailimo II	Cardenal Caro	Marchigue y La Estrella	6.202.243	245.840
17	Patagua Cerro Guairabo	Colchagua	Santa Cruz	6.157.440	283.281
18	Lagunilla	Cachagua	Pumanque	6.168.230	257.507
19	La Troya	Colchagua	Peralillo	6.183.149	272.515
20	Trinidad	Caldenal Caro	Marchigue	6.192.136	267.023

Nota 1: Las Coordenadas UTM están en metros, Datum WGS 1984, Huso 19
Nota 2: Fotografías tomadas en Septiembre y Octubre de 2014

0 12,5 25 50 Km

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

UNIDAD DE FISCALIZACIÓN

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

PROPUESTA
CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES
REGIONES DE VALPARAÍSO, METROPOLITANA,
DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS, DEL MAULE Y DEL BIOBÍO

ESCALA	Nº PLANO	FECHA	TÍTULO
GRÁFICA	2-1	Noviembre de 2014	Ubicación de Embalses Regiones de Valparaíso, Metropolitana y Del Libertador Bernardo O'Higgins

ID	Nombre del Embalse	Provincia	Comuna	UTM Norte	UTM Este	Huso
			REGIÓN DEL MAULE			
21	Las Lomas	Curicó	Sagrada Familia	6.105.038	262.407	19
22	La Estancia	Curicó	Rauco	6.138.472	285.450	19
23	La Aguada	Curicó	Sagrada Familia	6.109.516	266.742	19
24	Barandica	Curicó	Sagrada Familia	6.122.820	250.720	19
25	Los Maitenes	Talca	Río Claro	6.089.372	304.576	19
26	Chépica	Talca	Pencahue	6.081.667	240.766	19
27	Las Mercedes Nuevo	Talca	Río Claro	6.096.968	294.497	19
28	San Gerardo	Talca	Río Claro	6.101.920	296.169	19
29	Los Maitenes 2	Talca	Río Claro	6.088.960	304.003	19
30	Emb. Moratelli	Talca	San Rafael	6.095.221	282.389	19
			REGIÓN DEL BIOBÍO			
31	Aguas Verdes (San Jorge)	Ñuble	San Carlos	5.966.220	250.035	19
32	San Gerónimo	Ñuble	Portezuelo	5.955.776	733.970	18
33	Soc. Ag. Gan. Y For. Rosauro Martínez Labbé	Ñuble	El Carmen	5.907.819	233.085	19
34	Tecnofrío	Ñuble	Cobquecura	5.997.881	702.806	18
35	Tucapel	BioBío	BioBío	5.866.916	239.857	19
36	Río Larqui	Ñuble	Chillán Viejo	5.932.405	745.375	18
37	Santa Rosa	Ñuble	San Carlos	5.958.817	764.468	18
38	Hacienda Rucamanqui	BioBío	Tucapel	5.880.176	244.781	19
39	Las Lagunas	BioBío	Quilaco	5.812.459	249.687	19
40	Las Nieves	Ñuble	Bulnes	5.919.727	750.487	18
41	Guairao II	Ñuble	Quirihue	5.988.279	728.452	18
42	Milahue	Ñuble	Bulnes	5.919.541	746.595	18
43	El Cacique	Ñuble	Pemuco	5.910.524	751.197	18

Nota 1: Las Coordenadas UTM están en metros, Datum WGS 1984.

Nota 2: Fotografías tomadas en Septiembre y Octubre de 2014

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

UNIDAD DE FISCALIZACIÓN

CONSULTOR: AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

PROPUESTA
CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES
REGIONES DE VALPARAÍSO, METROPOLITANA,
DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS, DEL MAULE Y DEL BIOBÍO

ESCALA	Nº PLANO	FECHA	TÍTULO
GRÁFICA	2-2	Noviembre de 2014	Ubicación de Embalses Regiones Del Maule y Del BioBío

3. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Se ha llevado a cabo una completa revisión de antecedentes relacionados con cada uno de los embalses (planos de proyecto y/o construcción, proyectos o estudios de mejoramiento, minutas de operación, etc.) los cuales se han obtenido tanto en entidades públicas como privadas, tales como:

- Contacto con cada uno de los jefes de las divisiones de fiscalización de las DGA Regionales. Cada uno de ellos (a) tuvo la amabilidad de facilitar toda la información que disponían de cada uno de los embalses motivo del presente estudio. En particular, las comunicaciones fueron hechas con los siguientes profesionales:

- V Región de Valparaíso: Daniela Vidal (daniela.vidal@mop.gov.cl)
- Región Metropolitana: Cristián Maturana (cristián.maturana@mop.gov.cl)
- VI Región del Libertador Bernardo O´Higgins: Pamela Morales (pamela.morales@mop.gov.cl)
- VII Región del Maule: Enrique Osorio (enrique.osorio@mop.gov.cl)
- VIII Región del Biobío: Luis Díaz (luis.diaz@mop.gov.cl)

- Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH), DGA, MOP
- Sistema de Información Geográfica de la DGA del MOP (Mapoteca DGA año 2014)
  - Estudios Post Terremoto 27F (SIT 232, 235, 236, 237, sin SIT (PML Ingeniería)
  - Catastro de Embalses entre Regiones de Valparaíso y La Araucanía, SIT 231
  - Catastro e Inspección de Embalses VIII Región, SIT 142
  - Información contenida en expedientes de embalses (DGA Regionales)
  - Proyectos de reparación emitidos por el propietario del embalse al cual fue notificado con una resolución de reparación.

Por otro lado, se han recopilado y analizado antecedentes y estudios relacionados con temas cartográficos e hidrológicos, los cuales han servido de base para la determinación de los caudales de crecida a los embalses; dichos antecedentes y estudios revisados han sido los siguientes:

- Investigación de Eventos Hidrometeorológicos Extremos. Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 horas", (DGA, BF, 1989).

- Estadísticas de Precipitaciones máximas en 24 hrs. en las estaciones Pluviométricas existentes en el área en estudio; han sido actualizadas con la información solicitada, vía web, al CIRH de la DGA.
- Antecedentes de Cartas IGM escala 1:50.000.
- Mapoteca DGA 2014
- Google Earth Plus

4. METODOLOGÍA APLICADA

4.1. Trabajos de Terreno

Previo a los trabajos de terreno que fueron desarrollados, se preparó en gabinete toda la información útil que aparece en los estudios ya efectuados, para así hacer más eficiente los trabajos, a saber:

- Confección de planos a escala adecuada con la ubicación de los 43 embalses del listado entregado por la DGA.
- Ingreso en el GPS navegador de las coordenadas de los 43 embalses a ser visitados.
- Se prepararon las fichas de catastro que ya existían, para ser corregidas directamente en terreno y luego en gabinete. Se han agregado las monografías de las principales obras de arte de cada embalse, monografías que en las ficha originales no existían.

- En terreno se han utilizado los siguientes instrumentos:

    - Huincha de 5 m
    - Penetrómetro Dinámico Móvil
    - Distanciómetro laser Bushnell modelo Legend 1200, con una precisión de +- 1 m. Este instrumento mide también ángulos
    - GPS Garmin modelo GPSmap 60CSx
    - Cámaras fotográficas digitales
    - Cámaras de video

Las principales mediciones hechas fueron:

MEDICIÓN	UNIDAD	MÉTODO
Ancho de coronamiento	m	Huincha
Largo talud de aguas arriba (hasta el agua)	m	Distanciómetro
Largo talud de aguas abajo	m	Distanciómetro
Largo del Muro	m	Distanciómetro
Obras de arte principales (vertedero, obra de entrega, etc.)	m	Huincha
Angulo del talud de aguas arriba	Grado Sexagecimal	Distanciómetro con aplicación de medición de ángulos
Angulo del talud de aguas abajo	Grado Sexagecimal	Distanciómetro con aplicación de medición de ángulos
Características del Suelo del Muro	-	Penetrómetro Dinámico Móvil

- Se confeccionaron croquis en planta y cortes de las principales obras que presentaba cada uno de los embalses visitados. En particular, en cada una de las Fichas de Catastro se han incluido las monografías de siguientes obras de arte, cuando corresponda:

  - Planta y cortes del muro con sus taludes de aguas arriba y de aguas abajo.
  - Obra de alimentación del embalse y sus partes principales
  - Obra de evacuación (vertedero)
  - Otras

- **Fotografías**

Las fotografías son un complemento de la recolección de datos en terreno y permitirán al equipo evaluador completar su visión integral de la obra, con el fin de precisar los valores asignados.

La toma de fotografías se realizó desde distintos ángulos con el fin de poder caracterizar la obra completa, así como también de los sectores aledaños (casas, infraestructura, filtraciones al pie del muro, etc.).

- **Análisis del Emplazamiento Aledaño y Aguas Abajo. Ensayos In Situ**

Se analizó en terreno y gabinete, el sitio donde se emplaza el embalse, especialmente la estabilidad de las laderas de cerros, peligros potenciales de deslizamientos ante crecidas o sismos, situación de la zona de aguas abajo del embalse, etc.

- Se efectuaron ensayos con un Penetrómetro Dinámico de Cono Portátil, con el objetivo de desarrollar un análisis de las reparaciones in situ con argumentos y análisis empíricos. De igual forma, en aquellos embalses donde no se hicieron reparaciones, también se efectuaron dichos ensayos. Con dicho instrumento ha sido posible determinar:

- Control de calidad de rellenos y capas estabilizadas
- Detección de anomalías de capas construidas
- Detección de suelos con características de materiales homogéneos o inadecuados

- Grabación en video (formato DVD) de las principales características del estado del embalse y sus obras anexas. Esto es de importancia debido a que si posterior al trabajo de terreno hay dudas respecto a algún tópico de importancia en algún embalse, se tendrá el respaldo magnético para dilucidarla y resolverla. Cabe señalar que la grabación es para uso y trabajo interno del consultor, por lo tanto no se consulta una edición del material grabado.

En resumen, la campaña de terreno efectuada permitió obtener los siguientes datos:

- Obtención de los datos característicos actualizados a Septiembre – Octubre de 2014 de cada embalse.
- Croquis del muro y de sus obras de arte principales.
- Fotografías del embalse y sus principales obras.
- Recopilación de datos sobre infraestructura existente aguas abajo del embalse, asentamientos humanos cercanos, predios agrícolas, infraestructura vial, etc.
- Calidad

4.2. Trabajos en Gabinete

Para cada uno de los embalses, se efectuaron, en gabinete, las siguientes labores específicas:

4.2.1. Estudio de Crecidas

4.2.1.1. Antecedentes Utilizados

a) Antecedentes Cartográficos

La delimitación del área aportante a cada embalse así como el trazado del cauce principal de cada cuenca, se han determinado a partir de las imágenes satelitales del software Google Earth Plus.

b) Antecedentes Pluviométricos

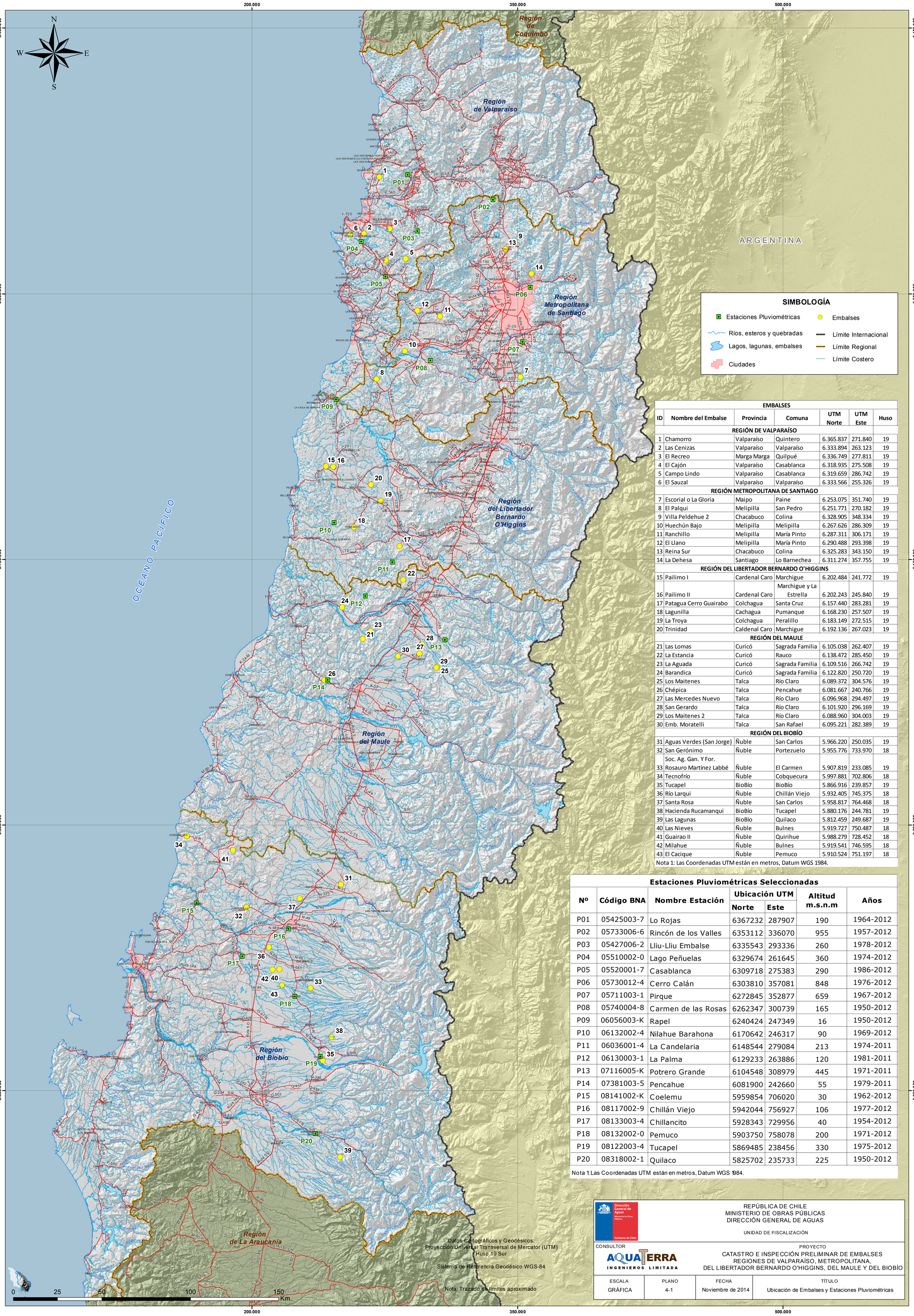
Los antecedentes pluviométricos de precipitaciones máximas diarias se obtuvieron de la Dirección General de Aguas del MOP. En el Cuadro 4.2-1 se muestran las estaciones pluviométricas consideradas, mientras que en el Anexo 1 se consignan las estadísticas de las precipitaciones máximas diarias recopiladas.

CUADRO 4.2-1
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS

Nº	Código BNA	Nombre Estación	Ubicación UTM (WGS 84)		Altitud	Años
			Norte	Este	m.s.n.m	
P01	05425003-7	Lo Rojas	6367232	287907	190	1964-2012
P02	05733006-6	Rincón de los Valles	6353112	336070	955	1957-2012
P03	05427006-2	Lliu-Lliu Embalse	6335543	293336	260	1978-2012
P04	05510002-0	Lago Peñuelas	6329674	261645	360	1974-2012
P05	05520001-7	Casablanca	6309718	275383	290	1986-2012
P06	05730012-4	Cerro Calán	6303810	357081	848	1976-2012
P07	05711003-1	Pirque	6272845	352877	659	1967-2012
P08	05740004-8	Carmen de las Rosas	6262347	300739	165	1950-2012
P09	06056003-K	Rapel	6240424	247349	16	1950-2012
P10	06132002-4	Nilahue Barahona	6170642	246317	90	1969-2012
P11	06036001-4	La Candelaria	6148544	279084	213	1974-2011
P12	06130003-1	La Palma	6129233	263886	120	1981-2011
P13	07116005-K	Potrero Grande	6104548	308979	445	1971-2011
P14	07381003-5	Pencahue	6081900	242660	55	1979-2011
P15	08141002-K	Coelemu	5959854	706020	30	1962-2012
P16	08117002-9	Chillán Viejo	5942044	756927	106	1977-2012
P17	08133003-4	Chillancito	5928343	729956	40	1954-2012
P18	08132002-0	Pemuco	5903750	758078	200	1971-2012

Nº	Código BNA	Nombre Estación	Ubicación UTM (WGS 84)		Altitud	Años
			Norte	Este	m.s.n.m	
P19	08122003-4	Tucapel	5869485	238456	330	1975-2012
P20	08318002-1	Quilaco	5825702	235733	225	1950-2012

En el Plano 4-1 se muestran la ubicación de las 20 estaciones, incluyendo además la ubicación de los 43 embalses.



EMBALSES

ID	Nombre del Embalse	Provincia	Comuna	UTM Norte	UTM Este	Huso
	REGIÓN DE VALPARAÍSO					
1	Chamorro	Valparaíso	Quintero	6.365.837	271.840	19
2	Las Cenizas	Valparaíso	Valparaíso	6.333.894	263.123	19
3	El Recreo	Marga Marga	Quilpué	6.336.749	277.811	19
4	El Cajón	Valparaíso	Casablanca	6.318.935	275.508	19
5	Campo Lindo	Valparaíso	Casablanca	6.319.659	286.742	19
6	El Sauzal	Valparaíso	Valparaíso	6.333.566	255.326	19
	REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO					
7	Escorial o La Gloria	Maipo	Paine	6.253.075	351.740	19
8	El Palqui	Melipilla	San Pedro	6.251.771	270.182	19
9	Villa Peldehue 2	Chacabuco	Colina	6.328.905	348.334	19
10	Huechún Bajo	Melipilla	Melipilla	6.267.626	286.309	19
11	Ranchillo	Melipilla	María Pinto	6.287.311	306.171	19
12	El Llano	Melipilla	María Pinto	6.290.488	293.398	19
13	Reina Sur	Chacabuco	Colina	6.325.283	343.150	19
14	La Dehesa	Santiago	Lo Barnechea	6.311.274	357.755	19
	REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS					
15	Pailimo I	Cardenal Caro	Marchigue	6.202.484	241.772	19
16	Pailimo II	Cardenal Caro	Marchigue y La Estrella	6.202.243	245.840	19
17	Patagua Cerro Guairabo	Colchagua	Santa Cruz	6.157.440	283.281	19
18	Lagunilla	Cachagua	Pumanque	6.168.230	257.507	19
19	La Troya	Colchagua	Peralillo	6.183.149	272.515	19
20	Trinidad	Caldenal Caro	Marchigue	6.192.136	267.023	19
	REGIÓN DEL MAULE					
21	Las Lomas	Curicó	Sagrada Familia	6.105.038	262.407	19
22	La Estancia	Curicó	Rauco	6.138.472	285.450	19
23	La Aguada	Curicó	Sagrada Familia	6.109.516	266.742	19
24	Barandica	Curicó	Sagrada Familia	6.122.820	250.720	19
25	Los Maitenes	Talca	Río Claro	6.089.372	304.576	19
26	Chépica	Talca	Pencahue	6.081.667	240.766	19
27	Las Mercedes Nuevo	Talca	Río Claro	6.096.968	294.497	19
28	San Gerardo	Talca	Río Claro	6.101.920	296.169	19
29	Los Maitenes 2	Talca	Río Claro	6.088.960	304.003	19
30	Emb. Moratelli	Talca	San Rafael	6.095.221	282.389	19
	REGIÓN DEL BIOBÍO					
31	Aguas Verdes (San Jorge)	Ñuble	San Carlos	5.966.220	250.035	19
32	San Gerónimo	Ñuble	Portezuelo	5.955.776	733.970	18
33	Soc. Ag. Gan. Y For. Rosauro Martínez Labbé	Ñuble	El Carmen	5.907.819	233.085	19
34	Tecnofrío	Ñuble	Cobquecura	5.997.881	702.806	18
35	Tucapel	BioBío	BioBío	5.866.916	239.857	19
36	Río Larqui	Ñuble	Chillán Viejo	5.932.405	745.375	18
37	Santa Rosa	Ñuble	San Carlos	5.958.817	764.468	18
38	Hacienda Rucamanqui	BioBío	Tucapel	5.880.176	244.781	19
39	Las Lagunas	BioBío	Quilaco	5.812.459	249.687	19
40	Las Nieves	Ñuble	Bulnes	5.919.727	750.487	18
41	Guairao II	Ñuble	Quirihue	5.988.279	728.452	18
42	Milahue	Ñuble	Bulnes	5.919.541	746.595	18
43	El Cacique	Ñuble	Pemuco	5.910.524	751.197	18

Nota 1: Las Coordenadas UTM están en metros, Datum WGS 1984.

Estaciones Pluviométricas Seleccionadas

Nº	Código BNA	Nombre Estación	Ubicación UTM		Altitud m.s.n.m	Años
			Norte	Este		
P01	05425003-7	Lo Rojas	6367232	287907	190	1964-2012
P02	05733006-6	Rincón de los Valles	6353112	336070	955	1957-2012
P03	05427006-2	Lliu-Lliu Embalse	6335543	293336	260	1978-2012
P04	05510002-0	Lago Peñuelas	6329674	261645	360	1974-2012
P05	05520001-7	Casablanca	6309718	275383	290	1986-2012
P06	05730012-4	Cerro Calán	6303810	357081	848	1976-2012
P07	05711003-1	Pirque	6272845	352877	659	1967-2012
P08	05740004-8	Carmen de las Rosas	6262347	300739	165	1950-2012
P09	06056003-K	Rapel	6240424	247349	16	1950-2012
P10	06132002-4	Nilahue Barahona	6170642	246317	90	1969-2012
P11	06036001-4	La Candelaria	6148544	279084	213	1974-2011
P12	06130003-1	La Palma	6129233	263886	120	1981-2011
P13	07116005-K	Potrero Grande	6104548	308979	445	1971-2011
P14	07381003-5	Pencahue	6081900	242660	55	1979-2011
P15	08141002-K	Coelemu	5959854	706020	30	1962-2012
P16	08117002-9	Chillán Viejo	5942044	756927	106	1977-2012
P17	08133003-4	Chillancito	5928343	729956	40	1954-2012
P18	08132002-0	Pemuco	5903750	758078	200	1971-2012
P19	08122003-4	Tucapel	5869485	238456	330	1975-2012
P20	08318002-1	Quilaco	5825702	235733	225	1950-2012

Nota 1: Las Coordenadas UTM están en metros, Datum WGS 1984.

Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

UNIDAD DE FISCALIZACIÓN

CONSULTOR
AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

PROYECTO
CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES
REGIONES DE VALPARAÍSO, METROPOLITANA,
DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS, DEL MAULE Y DEL BIOBÍO

ESCALA	PLANO	FECHA	TÍTULO
GRÁFICA	4-1	Noviembre de 2014	Ubicación de Embalses y Estaciones Pluviométricas

c) Otros Antecedentes

Para la elaboración del estudio de crecidas se ha recopilado información de diversas fuentes, principalmente estudios validados por organismos públicos, los que se señalan a continuación.

Ref. 1: Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991.

Ref. 2: Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1995.

Ref. 3: Manual de Carreteras. Volumen 2 y 3. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas, 2008.

Ref. 4: Hidrología Aplicada, Ven Te Chow.

4.2.1.2. Caudales Máximos Instantáneos

a) Introducción

El objetivo es determinar los caudales máximos instantáneos para cada una de las cuencas aportantes a los embalses seleccionados, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 250, 500 y 1.000 años. Debido a que las cuencas en estudio no disponen de control fluviométrico, para determinar los caudales máximos instantáneos de crecida se usaron los siguientes métodos indirectos basados en relaciones precipitación-escorrentía:

- Fórmula Racional
- Fórmula Racional Modificada
- Fórmula de Verni King Modificada
- Método DGA-AC
- Hidrograma Unitario Sintético Tipo Linsley

El Método Fórmula Racional es aplicable a cuencas pequeñas cuyas áreas sean inferiores a 25 km^2, según el estudio de la Ref. 3. Los métodos Fórmula Racional Modificada, Fórmula de Verni King Modificada y Método DGA-AC tienen validez para cuencas sin control fluviométrico, de régimen pluvial o nivopluvial y con áreas comprendidas entre 20 km^2 a 10.000 km^2. A su vez, el método del Hidrograma Unitario Sintético Tipo Linsley es

aplicable para cuencas cuyas áreas estén comprendidas entre 10 Km^2 y 4.500 km^2.

Cabe señalar que para realizar las estimaciones para períodos de retorno 250, 500 y 1.000 años, han sido extrapolados a través de un ajuste logarítmico de los caudales calculados para períodos de retorno menores. Este ajuste es realizado para cada una de las cuencas aportantes a los embalses seleccionados, en cada uno de los métodos utilizados.

Se exceptúan de este análisis los embalses que son alimentados por canales y que no tienen cuenca aportante, ya que carece de sentido realizar un análisis de crecida en estos casos. Los embalses prioritarios que caen dentro de esta categoría son los siguientes: Nº13 (Reina Sur), Nº19 (La Troya), Nº27 (Las Mercedes Nuevo), Nº 28 (San Gerardo), Nº 30 (Moratelli), Nº 31 (Aguas Verdes), Nº36 (Río Larqui) y Nº 42 (Milahue).

b) Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Períodos de Retorno

La precipitación máxima diaria para T=10 años, en cada una de las estaciones seleccionadas, se determinó a través de un análisis de frecuencia de precipitaciones máximas diarias disponible en cada una de ellas.

Para obtener precipitaciones de distintas duraciones y períodos de retorno se usa la siguiente expresión:

$$P_t^T = 1{,}1 * CD_t * CF_T * P_{24}^{T=10}$$

Donde:

P_t^T : Precipitación en t horas y período de retorno T años.
$P_{24}^{T=10}$: Precipitación máxima en 24 horas y período de retorno 10 años, obtenida de análisis de frecuencia.
CD_t : Coeficiente de duración para t horas (entre 1 a 24 horas).
CF_T : Coeficiente de frecuencia de un período T años.

El factor 1,1 de la ecuación anterior, se incorpora debido a que las precipitaciones en las estaciones pluviométricas se miden a las 8 AM y no reflejan necesariamente las condiciones de precipitación máxima en 24

horas, según el trabajo “Hidrología e Hidráulica de Estructuras Viales, Curso de Capacitación para la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Facultas de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1989”.

El coeficiente de frecuencia se estimó utilizando las recomendaciones indicadas tanto en el estudio de la Ref. 2 como en el estudio de la Ref. 3. Los coeficientes del estudio 2 se utilizaron para los métodos Fórmula Racional Modificada, Fórmula de Verni King Modificada, Método DGA-AC e Hidrograma Unitario Sintético Tipo Linsley, en tanto los coeficientes del estudio 3 se utilizaron para el Método Racional.

El estudio 2 divide los coeficientes en zonas homogéneas a nivel regional, mientras que el estudio 3 selecciona los coeficientes según la estación pluviográfica más cercana a la zona de estudio, la que al mismo tiempo proporciona los coeficientes de duración CD, para duraciones comprendidas entre 1 y 24 horas. Para duraciones t menores a 1 hora, el coeficiente CD(t) se obtiene de la relación de Bell:

$$CD\ (t) = (0{,}54 \cdot t^{0{,}25} - 0{,}5) \cdot CD(1\ hora)$$

con t en minutos.

La determinación de la precipitación máxima diaria para las distintas estaciones pluviométricas se obtuvo del análisis de frecuencia de las estadísticas de precipitaciones máximas en 24 horas. En este análisis se utilizaron las siguientes distribuciones de probabilidad: Normal, Gumbel, Pearson III, Log-Normal y Log-Pearson III, a cada una de las cuales se le realizó el test Chi^2, para establecer la distribución de mejor ajuste.

Considerando que la distribución Log-Normal resultó ser la de mejor ajuste en un número mayor de estaciones, se prefirió utilizar un criterio de uniformidad en la distribución elegida, por lo que se consideraron los resultados de esta distribución para determinar la precipitación P (24,10) en las distintas estaciones. Estos resultados se resumen en el Cuadro 4.2-2, mientras que los detalles del análisis de frecuencia realizado se presentan en el Anexo 2.

CUADRO 4.2-2
PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS
PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS

Nº Estación	Nombre	Pmax día (T=10) (mm)
P01	Lo Rojas	114,684
P02	Rincón de los Valles	80,688
P03	Lliu-Lliu Embalse	144,752
P04	Lago Peñuelas	178,390
P05	Casablanca	109,321
P06	Cerro Calan	93,506
P07	Pirque	87,727
P08	Carmen de las Rosas	107,679
P09	Rapel	104,818
P10	Nilahue Barahona	88,682
P11	La Candelaria	123,042
P12	La Palma	75,356
P13	Potrero Grande	127,364
P14	Pencahue	85,559
P15	Coelemu	99,621
P16	Chillán Viejo	119,315
P17	Chillancito	129,705
P18	Pemuco	107,921
P19	Tucapel	117,718
P20	Quilaco	113,693

c) Métodos de Cálculo de Caudales Máximos

c1) Método Racional

Este método es utilizable en cuencas pequeñas, menores de 25 km^2. El caudal máximo para un determinado período de retorno se calcula con la expresión siguiente.

$$Q(T) = \frac{C(T) x\, I_{tc}^{T} x\, Ap}{3{,}6}$$

Donde:

$Q(T)$: Caudal en (m^3/s).
$C(T)$: Coeficiente de Escorrentía.
I_{tc}^{T} : Intensidad de la precipitación (mm/hr).
A_p : Área pluvial (km^2).

La intensidad de la precipitación está asociada al período de retorno T y a una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca pluvial.

Para estimar el tiempo de concentración (tc) de la cuenca en estudio se consideran las expresiones sugeridas según el estudio de la Ref. 3 y recomendaciones del estudio de la Ref. 4.

- La fórmula de las Normas Españolas:

$$t_c = 0{,}3 * \frac{L^{0{,}76}}{S^{0{,}19}}$$

- La fórmula del California Division of Highways and Public Works:

$$t_c = 0{,}95 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0{,}385}$$

- La fórmula de Giandotti:

$$t_c = \frac{4 * A^{0{,}5} + 1.5 * L}{0.8 * Hg^{0{,}5}} \text{ , para } \frac{L}{5{,}4} \leq t_c \leq \frac{L}{3{,}6}$$

- La fórmula SCS:

$$t_c = \frac{258{,}7 * L^{0{,}8} * \left((1000/CN) - 9\right)^{0{,}7}}{1900 * S^{0{,}5}}$$

- La fórmula de Kirpich:

$$t_c = \frac{0{,}000325 * (L * 1000)^{0{,}77}}{S^{0{,}385}}$$

Donde:

tc= Tiempo de concentración en (hrs).
L= Longitud del cauce principal (km).
S= Pendiente media del cauce (m/m).
H= Diferencia de nivel total entre cotas extremas de la cuenca (m).
A= Área de la cuenca (km^2).
CN= Curva número.
Hg= Diferencia de nivel entre cotas centro de gravedad y salida de la cuenca (m).

El estudio de la Ref. 3 indica que el valor del tiempo de concentración no debe ser inferior a 10 minutos (0,17 hrs).

Respecto de las consideraciones para la elección de los métodos para el cálculo de los tiempos de concentración, Giandotti, no se utilizó pues no cumple con los rangos de tc que exige la fórmula. Por otro lado, la fórmula SCS se recomienda para cuencas urbanas con áreas inferiores a 2 acres (0,008 km^2 aprox.), según recomendaciones de estudio de la Ref. 4, por lo cual tampoco fue utilizada.

Como criterio general se adoptó un tiempo de concentración promedio entre los métodos California Highways y Normas españolas. Los métodos California Highways y Kirpich otorgan valores muy similares entre sí, mientras que el método Normas Españolas presenta valores más altos. Se adoptó un valor promedio que abarque los extremos de los valores obtenidos con los métodos descritos.

El coeficiente de escorrentía a utilizar dependerá de las características y condiciones del suelo. El estudio de la Ref. 4 establece coeficientes de escorrentía para diferentes períodos de retorno, según se indica en el Cuadro 4.2-3.

CUADRO 4.2-3
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PARA DIFERENTES SUPERFICIES

Característica de la Superficie	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/techo	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Promedio, 2-7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente superior a 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50% al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Promedio, 2-7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente superior a 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Áreas no desarrolladas							
Área de Cultivos							
Plano, 0-2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Promedio, 2-7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques							
Plano, 0-2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Promedio, 2-7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

c2) Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. Su aplicación es de amplio uso en cuencas urbanas y rurales pequeñas (cuencas de áreas entre 20 y 10.000 km^2). La gran ventaja de este método es su simplicidad, lo que se traduce en que el resultado es fácilmente controlado en función de variables observables, lo que permite su uso como método de comparación. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$Q(T) = \frac{C(T) x\, I_{tc}^{T} x\, Ap}{3{,}6}$$

Donde:

$Q(T)$: Caudal en (m^3/s).
$C(T)$: Coeficiente de escorrentía.
I_{tc}^{T} : Intensidad de la precipitación (mm/hr).
A_p : Área pluvial (km^2).

Los parámetros como intensidad de precipitación y tiempo de concentración son los utilizados en punto anteriores. Por otra parte, el coeficiente de escorrentía a utilizar dependerá del período de retorno T y de la ubicación geográfica de la zona de análisis. El estudio de la Ref. 2 establece los coeficientes indicados en el Cuadro 4.2-4.

CUADRO 4.2-4
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PARA T=10 AÑOS

Región	C(T=10) Fórmula Racional Modificada
V	0,08
VI	0,31
VII	0,39
VIII	0,36

Para la Región Metropolitana, se adoptaron los valores de la VI región. Se escogió dicho valor debido a que resulta ser, en cuanto a los caudales obtenidos, más conservador respecto al valor de la V Región.

El coeficiente presentado en el cuadro anterior corresponde a un factor válido para un período de retorno de 10 años; para otros períodos de retorno se debe ponderar por los coeficientes empíricos (C(T)/C(10)), indicados en el cuadro siguiente:

CUADRO 4.2-5
COEFICIENTE DE FÓRMULAS EMPÍRICAS

T	C(T)/C(10) según Región			
(Años)	V	VI	VII	VIII
2	0,38	0,63	0,86	0,91
5	0,84	0,85	0,95	0,99
10	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,15	1,15	1,03	1,01
25	1,22	1,20	1,04	1,02
50	1,38	1,33	1,04	1,02
100	1,59	1,55	1,04	1,03

Para la Región Metropolitana, se adoptaron los valores de la VI región.

De este modo, el caudal instantáneo máximo asociado a un período de retorno T está dado por:

$$Q(T) = C(10) * \frac{C(T)}{C(10)} * \frac{P_{tc}^{T}}{t_c} * \frac{A_p}{3,6}$$

c3) Relación de Verni y King Modificada

La relación de Verni y King modificada permite determinar los caudales de crecidas sobre la base de la precipitación que cae sobre la cuenca y el área pluvial aportante a ella (cuencas de áreas entre 20 y 10.000 km^2), mediante la siguiente expresión:

$$Q(T) = C(T) * \ 0,00618 * \ (P_{24}^{T})^{1,24} * (A_p)^{0,88}$$

Donde:

$C(T)$: Coeficiente empírico de período de retorno T años.
P_{24}^{T} : Precipitación máxima en 24 horas y período de retorno T años.
A_p : Área pluvial (km^2).

El coeficiente empírico se obtiene de las recomendaciones del estudio de la Ref. 4, indicado en el cuadro siguiente:

CUADRO 4.2-6
COEFICIENTE DE FÓRMULAS EMPÍRICAS PARA T=10 AÑOS

Región	C(T=10) Formula Verni-King Modificada
V	0,29
VI	0,68
VII	0,71
VIII	0,79

Para la Región Metropolitana se adoptaron los valores de la VI región. Se escogió dicho valor debido a que resulta ser, en cuanto a los caudales obtenidos, más conservador respecto al valor de la V Región.

Para determinar el coeficiente para otros períodos de retorno, se utilizan los coeficientes empíricos C(T)/C(10), cuyos valores corresponden a los que se encuentran en Cuadro 2.1-7 anterior.

Finalmente la expresión de la fórmula de Verni-King Modificada, queda de la siguiente manera:

$$Q(T) = C(10) * \frac{C(T)}{C(10)} * 0{,}00618 * (P_{24}^{T})^{1,24} * (A_p)^{0,88}$$

c4) Método DGA - AC

Este método corresponde a un análisis regional, basado en series de caudales máximos anuales, generadas a partir de información de caudales máximos medios diarios, y caudales máximos instantáneos de período pluvial de 234 estaciones con control fluviométrico.

Para aplicar este método (cuencas de áreas entre 20 y 10.000 km^2), se debe identificar la región donde se encuentra la cuenca en estudio, para la cual se va a tener una relación que permite obtener el caudal medio diario máximo con período de retorno de 10 años (Q_{10}). Luego, de acuerdo a la zona homogénea se derivan los coeficientes de frecuencia asociados a los períodos de retorno. Además, se debe aplicar un coeficiente que permita transformar Q_{10} en caudal máximo instantáneo.

Tanto la relación que específica Q_{10}, como los coeficientes de frecuencia (relativos a la zona homogénea) y los factores de conversión para pasar a caudal máximo instantáneo, son los propuestos en el estudio de la Ref. 2.

La relación correspondiente para la evaluación del caudal medio diario máximo (Q_{10}), según la región de interés, está dada por:

$$Q_{10} = 5{,}42 * 10^{-8} * (A_p)^{0,915} * (P_{24}^{T=10})^{3,432}$$ (Válido para las regiones V – RM - VI)

$Q_{10} = 0{,}002 \cdot Ap^{0,973} \cdot (P_{24}^{T=10})^{1,224}$ (Válido para las regiones VII – VIII - IX)

Donde:

Q_{10} : Caudal medio diario máximo con período de retorno de 10 años (m^3/s).
A_p : Área pluvial de la cuenca (km^2).
$P_{24}^{T=10}$: Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años (mm).

Los coeficientes de frecuencia y el factor de conversión "α" según las distintas zonas homogéneas identificadas en el estudio de la Ref. 2, se presentan en el cuadro siguiente.

CUADRO 4.2-7
COEFICIENTE DE FRECUENCIA MEDIO REGIONAL Q(T)/Q(10) Y FACTOR DE CONVERSIÓN α SEGÚN ZONA HOMOGÉNEA PLUVIAL

Zona	T(años)							α
	2	5	10	20	25	50	100	
Lp	0,160	0,520	1,000	1,690	1,970	3,080	4,590	1,670
Mp	0,430	0,740	1,000	1,280	1,380	1,710	2,080	1,480
Np	0,180	0,560	1,000	1,610	1,860	2,770	3,970	1,870
Op	0,300	0,640	1,000	1,480	1,670	2,350	3,240	1,760
Pp	0,420	0,740	1,000	1,290	1,390	1,720	2,100	1,430
Qp	0,500	0,800	1,000	1,190	1,250	1,430	1,620	1,510
Rp	0,490	0,800	1,000	1,190	1,260	1,450	1,640	1,450
Sp	0,540	0,820	1,000	1,180	1,230	1,410	1,580	1,370
Tp	0,600	0,840	1,000	1,150	1,200	1,350	1,500	1,280
Up	0,570	0,830	1,000	1,160	1,220	1,380	1,540	1,350

De este modo el caudal instantáneo máximo para los distintos períodos de retorno va a estar dado por la siguiente expresión:

$$Q(T) = \alpha * \frac{Q(T)}{Q(10)}(\text{media}) * Q_{10}$$

c5) Método del Hidrograma Unitario Sintético

Para la aplicación de este método es necesario conocer ciertos parámetros de la cuenca en estudio (cuencas de áreas mayores a 10 km^2). Estos adoptan diferentes expresiones según la ubicación geográfica del lugar en que se encuentre la cuenca.

Se utilizan las expresiones y metodología que se indica en el estudio de Ref. 2. De acuerdo con las relaciones de Linsley.

Los parámetros que se deben conocer son: el tiempo al peak (Tp), tiempo base (Tb), tiempo unitario (Tu) y caudal peak (Qp). Las ecuaciones según ubicación geográfica se presentan a continuación.

- Zona I: Válidas para las Regiones III a VI.

Tiempo al peak t_p

$$t_p = 0{,}323 * \left(L * \frac{L_g}{S^{0{,}5}}\right)^{0{,}422}$$

Tiempo Base t_b

$$t_b = 5{,}377 * T_p{}^{0{,}805}$$

Caudal Peak Q_p

$$Q_p = 144{,}141 * T_p^{-0{,}796}$$

Tiempo Unitario t_u

$$t_u = \frac{t_p}{5{,}5}$$

- Zona II: Válida para la VII Región

Tiempo al peak t_p

$$t_p = 0{,}584 * \left(L * \frac{L_g}{S^{0{,}5}}\right)^{0{,}327}$$

Tiempo Base t_b

$$t_b = 1{,}822 * T_p{}^{1{,}412}$$

Caudal Peak Q_p

$$Q_p = 522{,}514 * T_p^{-1{,}511}$$

Tiempo Unitario t_u

$$t_u = \frac{t_p}{5,5}$$

- Zona III: Válidas para las regiones VIII a X

Tiempo al peak t_p

$$t_p = 1,351 * \left(L * \frac{L_g}{S^{0,5}} \right)^{0,237}$$

Tiempo Base t_b

$$t_b = 5,428 * T_p^{0,717}$$

Caudal Peak Q_p

$$Q_p = 172,775 * T_p^{-0,835}$$

Tiempo Unitario t_u

$$t_u = \frac{t_p}{5,5}$$

Donde:

L : Longitud del cauce principal (km).
L_g : Longitud al centro de gravedad de la cuenca medido a lo largo del cauce (km).
S : Pendiente media de la cuenca (º/1).

Para estimar la forma completa del hidrograma, se utilizan coeficientes de distribución. Estos expresan la razón entre el caudal en cualquier instante y el máximo, en función de la razón entre el tiempo considerado y el tiempo de retraso. Los coeficientes se muestran en Cuadro 4.2-8.

CUADRO 4.2-8
COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN
HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO

t/tp	q/qp	t/tp	q/qp
0,00	0,0	1,30	0,8
0,30	0,2	1,50	0,6
0,50	0,4	1,80	0,4
0,60	0,6	2,30	0,2
0,75	0,8	2,70	0,1
1,00	1,0		

Una vez determinado el hidrograma unitario, el escurrimiento proveniente de cualquier tormenta de duración igual a la correspondiente al hidrograma (Tu), se obtiene amplificando las ordenadas del hidrograma por el valor de la precipitación efectiva.

Para determinar el hietograma efectivo de la lluvia de diseño, se debe restar la infiltración, para lo cual se utiliza el método de la curva número, que depende de las características de los suelos de la cuenca afluente al punto de interés.

Para estimar el valor de la curva número y el monto de precipitación efectiva, se utilizaron las expresiones indicadas en estudio de la Ref. 2, las que se detallan a continuación:

$\mathrm{CN} = 11{,}9 + 73{,}7 * \mathrm{Log}(\mathrm{Lat} - 25^0)$ Tendencia Media Superior

$\mathrm{CN} = 29{,}9 + 73{,}7 * \mathrm{Log}(\mathrm{Lat} - 25^0)$ Envolvente Superior

$$\mathrm{CN} = \frac{25.400}{254 + S}$$

$$P_{ef} = \frac{(P - 0{,}2 * S)^2}{(P + 0{,}8 * S)}$$

Donde:

CN : Valor de la curva número.
Lat : Latitud del centro de gravedad de la cuenca, en grados (°).
S : Retención potencial máxima, en (mm).
$\mathrm{P_{ef}}$: Precipitación efectiva, en (mm).

4.2.2. Análisis de Estabilidad del Muro

El análisis de estabilidad se efectuó con los siguientes criterios y supuestos:

a) Se utilizará el perfil de mayor altura para efectuar la modelación.
b) Los parámetros geotécnicos a utilizar serán los obtenidos de la visita efectuada, de la experiencia del consultor y de los trabajos in situ que se realicen.
c) Los parámetros geotécnicos que se utilicen serán válidos para todo el muro.
d) Se analizará la condición estática y la condición dinámica (análisis pseudoestático).
e) Para fines del análisis dinámico se utilizará la aceleración sísmica dispuesta para el sector por la norma NCh 433.
f) Se utilizará el software comercial Slope, de la empresa italiana Geostru, ampliamente utilizado en todo el mundo (www.geostru.com) Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, entre otros). Se analizará tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Parámetros de Diseño

Para fines de la modelación, se utilizarán los parámetros geotécnicos para el suelo que constituye el muro de la presa, a saber:

- Densidad
- Módulo de Elasticidad
- Ángulo de Fricción
- Cohesión

Dichos parámetros serán obtenidos de la bibliografía en función del tipo de suelo que con que está constituido el muro, y en función de los ensayos in situ que se realizaron con un penetrómetro móvil. Dentro de la bibliografía que fue utilizada para estimar los parámetros, se tiene:

- Mecánica de Suelos, T. Lambe y R. Whitman, Editorial Limusa Wiley S.A., México, 1972
- Geotecnia, José Jiménez Salas y Otros

- J.E. Bowles, "Foundation Analysis and Design"
- Anales del 4º Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, 1997.

Aceleración Sísmica de Diseño

Debido a que entre los antecedentes disponibles no existe un estudio de riesgo sísmico, para estimar los coeficientes sísmicos a utilizar en el análisis de estabilidad de taludes, se consideró lo siguiente:

- Coeficiente sísmico horizontal (kx): fue estimado en base a la expresión propuesta para Chile por Saragoni (1993).

$$Kh = \frac{0.3 * a_{máx}}{g} \quad : \text{si } a_{máx} \leq 6.6 \text{ m/s}^2$$

$$Kh = 0.22 * (a_{máx}/g)^{0.33} \quad : \text{si } a_{máx} > 6.6 \text{ m/s}^2$$

- Coeficiente sísmico vertical (ky): considerando que existen antecedentes de que en embalses de importancia ubicados a lo largo del país (Convento Viejo, Puclaro, Corrales, entre otros) no se ha utilizado dicho coeficiente en su diseño y han tenido un buen comportamiento hasta la fecha, se considerará igual a cero.

Conforme a la norma NCh 433 y a la ubicación del embalse Chamorro, que corresponde a la definida como zona 3, la aceleración sísmica que se aplicó al modelo de estabilidad es de 0.4 g, correspondiente a la aceleración efectiva máxima (NCh 433.Of96, Mod. 2009).

Considerando lo anteriormente expuesto, los coeficientes sísmicos adoptados para el análisis de estabilidad de taludes son:

- Coeficiente sísmico horizontal (K_h) igual a 0.12
- Coeficiente sísmico vertical (K_v) igual a 0

Es importante destacar que lo anterior corresponde sólo a una estimación. En caso de requerir valores reales, se deberá efectuar un estudio de riesgo sísmico.

Los 4 casos que serán analizados son los siguientes:

- Estático Talud Aguas Arriba Saturado
- Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado
- Estático Talud Aguas Arriba Vaciamiento Rápido
- Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua
- Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua

Para el caso del talud de aguas arriba, sólo se consideró el caso saturado, ya que el caso no saturado se analiza en el talud de aguas abajo, el que en general tiene taludes iguales o más pronunciados que el de aguas arriba.

4.2.3. Análisis de Filtraciones

Para determinar la filtración a la que puede estar sometido el embalse, se ha utilizado el denominado “Método de Lane” (las longitudes horizontales se consideran la tercera parte de las longitudes verticales).

El criterio de Lane señala que no se producen filtraciones si se cumple que:

$$L' \geq C' \times h$$

Donde:

$L' = Lh/3 + Lv$

Lh = Longitud horizontal en la base del embalse.
Lv = Longitud vertical en la base del embalse.
C’ = Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse (ver Cuadro).

h= carga hidráulica efectiva; debido a que en general, las mediciones de la altura de agua en el embalse pueden no ser muy confiables, como criterio conservador, se tomo como carga hidráulica efectiva la altura máxima del muro.

CUADRO 4.2-9
COEFICIENTE DE FILTRACIÓN

Materiales de Cimentación	Lane (C')
Arena muy fina y limo	8,5
Arena fina	7,0
Arena media	6,0
Arena gruesa	5,0
Grava fina	4,0
Grava media	3,5
Grava y arena	--
Grava gruesa con piedras	3,0
Cantos rodados, con algunas piedras y gravas	2,5
	--
Cantos rodados, grava y arena	3,0
Arcilla blanda	2,0
Arcilla media	1,8
Arcilla dura	1,6
Arcilla muy dura	

Si no se cumple la relación anterior significa que habría riesgo de que se produzcan filtraciones.

4.2.4. Cálculo de Caudales en Vertederos

Los vertederos son obras que están destinadas a captar los caudales de crecida que llegan al embalse, y conducirlas hasta un cauce en forma segura, de modo de no dañar el muro y las obras anexas del embalse.

La magnitud y el tipo de obras que se consideren dependen de las condiciones topográficas, geológicas, caudal de diseño, emplazamiento de la presa, existencia de quebradas y distancia al cauce receptor, entre otras.

Se entiende que cuando el embalse fue diseñado, el vertedero correspondiente fue verificado para evacuar el caudal de diseño, asociado al evento de período de retorno compatible con la magnitud del embalse, es decir, dependiendo si se trata de obras pequeñas, medianas o mayores.

De acuerdo con las obras tipo vertederos que fueron observadas y

medidas durante las visitas a terreno efectuadas, se han analizado los siguientes tipos de vertederos, que en definitiva, son los tipos de vertederos que fueron visitados en terreno:

- Vertedero Lateral
- Vertedero Frontal
- Canales de Tierra
- Canales Revestidos
- Tuberías

A continuación se indican los procedimientos de cálculo para los más importantes.

a) Vertederos de Pared Delgada y Gruesa

$$Q = m \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \qquad (1)$$

Donde:

Q= Caudal evacuado por el vertedero
l= Longitud del vertedero; distancia entre las paredes verticales o inclinadas que lo limitan sobre el umbral.
h= Carga del vertedero medida sobre el plano horizontal que pasa sobre el umbral.
m= Coeficiente de gasto.

- **Para pared gruesa**

En este caso, vierten por sobre una parte del muro. Se considera de pared gruesa aquellos en que el espesor (ancho del muro) es al menos 5 veces la altura crítica.

El caudal máximo de vertido en estos casos viene dada por la siguiente relación:

$$Q = 1{,}71 \cdot L \cdot H^{\left(\frac{3}{2}\right)}$$

Donde H= 3 x h/2

- **Para pared delgada**

Se aplica la relación (1), y el coeficiente m se calcula según lo siguiente:

$$m=\left[0{,}405+\frac{0{,}003}{h}\right]\cdot\left[1+0{,}55\frac{h^2}{(h+a)^2}\right]$$

Siendo a= Altura de la barrera

- **Casos Especiales**

Canal y/o Canalón: pendiente del 2 por mil (conservador), coef. de Manning= entre 0,03 y 0,04 para tierra, 0,016 para hormigón, 0,021 para tubo corrugado, 0,009 para tubo de PVC.

La capacidad máxima del vertedero, cuando se trata de canal, se determina a través de la fórmula de Manning, determinando aquel caudal que iguala la altura normal con la altura del canal.

En caso de que se trate de un vertedero a través de un tubo, se determinó el caudal cuya altura normal fuera un 80% del diámetro.

4.2.5. Análisis de Riesgos (Hazop)

4.2.5.1. Base Metodológica

El método de evaluación HAZOP, es un planteamiento probabilístico de análisis de la relación causa-afecto en un sistema. El primer paso corresponde a la identificación del sistema, de modo de establecer la estructura central del mismo, la cual fue la parte afectada y la causante a la vez. En términos simples se pueden identificar los siguientes pasos:

a) Identificar el objeto de análisis, es decir, aquella obra o sistema que pueda ser afectada por agentes externos y que a su vez, una falla parcial o total produzca efectos sobre otras partes del sistema que depende de la estructura analizada.

b) Identificar aquellos fenómenos o agentes que pueden ocasionar daños o alteraciones a la estructura.

c) Identificar los efectos potenciales que tendría en el resto del sistema la falla o alteración de la estructura.

La formulación general del método está definida por la relación:

$$R = p \cdot V \cdot E$$

Donde:

R= Riesgo total del sistema frente a un evento dado y para una causa determinada.

p= Probabilidad de que se produzca el evento identificado como desencadenante de una falla, o alteración en la estructura principal.

V= Vulnerabilidad de la obra principal ante la ocurrencia del evento desencadenante representada por la probabilidad “p".

E= Potencialidad de que ante la falla o alteración de la obra por el evento de probabilidad "p", se produzca el efecto identificado o que se desea analizar.

4.2.5.2. Adaptación para Análisis de Riesgos en Embalses

La metodología que se aplicará fue desarrollada en el trabajo “Estudio de Catastro e Inspección Preliminar de Embalses, Quinta Región”, por R.E.G. Ingenieros Consultores Ltda., 1994, DGA, MOP.

El método se centra en el análisis del riesgo de falla de los embalses, con consecuencia de daños hacia aguas abajo, a las personas, obras de infraestructura y las zonas agrícolas.

4.2.5.3. Eventos Desencadenantes

Los ***eventos desencadenantes*** para una posible falla de un determinado embalse tienen relación con los sismos, las crecidas pluviales y el fenómeno de piping bajo la estructura. En consecuencia, los eventos a analizar son los siguientes:

- Sismos de placa de gran magnitud y baja frecuencia, y de mediana magnitud y alta frecuencia de ocurrencia.
- Crecidas pluviales para períodos de retorno de 250, 500 y 1.000 años.
- Crecida nival en los casos que corresponda.
- Piping o sifonamiento.

Como resultado de lo anterior, el análisis se realizó considerando la acción de cuatro diferentes eventos sísmicos, tres eventos de escorrentía superficial, y un evento de piping, los cuales pueden producir una falla violenta en el muro y la generación de una onda en crecida hacia aguas abajo.

Las ***fallas potenciales*** que se analizaron son aquellas que pueden producir un vaciamiento, es decir:

- En el caso sísmico son aquellas que producen un deslizamiento del talud de aguas abajo que pueden involucrar en forma inmediata o posterior tal vaciamiento.

- En el caso de escorrentía, son aquellas que producen o se acercan a un sobrepasamiento del muro, llegando a la rotura completa durante el proceso erosivo.

- En el caso del piping, es aquel que produzca el arrastre del suelo de modo de producir el colapso instantáneo del muro.

Los efectos en el valle son el daño producido por la crecida estimada, ya sea por impacto de la onda o por inundación. El efecto fue evaluado en función de la posición del punto de análisis con relación al embalse.

El riesgo total se calcula como una matriz, ya que es el producto de la probabilidad de ocurrencia del evento desencadenado por la vulnerabilidad del embalse y por la probabilidad de que el daño analizado ocurra. Este producto se efectúa para cada evento y para cada efecto.

4.2.5.4. Análisis de la Vulnerabilidad

La vulnerabilidad de cada embalse fue analizada en forma específica para cada evento desencadenante.

Con el objetivo de asignar las probabilidades de ocurrencia o de falla a cada una de las partes del sistema analizado, se han establecido criterios de aplicación que ligan la falla con el porcentaje de daño estimado.

En lo que se refiere a los eventos desencadenantes, cada uno tiene su período de retorno propio, de acuerdo con el criterio de selección, y por lo tanto, su probabilidad de ocurrencia.

En el presente estudio, el análisis de vulnerabilidad estuvo enfocado a los casos de falla asociados a falla sísmica y por capacidad de evacuación.

a) Eventos Sísmicos

Para el caso del evento sísmico, primero se calcula la probabilidad de ocurrencia del sismo, para luego determinar la vulnerabilidad del embalse frente a un sismo.

- Probabilidad

Se debe calcular la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la región donde se localiza un determinado embalse, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad. El análisis probabilístico de riego sísmico se determina según lo establecido por Labbé y Saragoni en 1976.

Para efectuar el análisis de riesgo sísmico se consideró un método probabilístico basado en la Ley de Gutenberg-Richter, utilizando la fórmula:

$$\text{Log } (N) = a - b*M$$

Donde:

N : Número de eventos sobre magnitud M
M : Magnitud Richter del sismo
a y b : Coeficientes que dependen de la zona geográfica

Para obtener los parámetros “a” y “b” se utilizó la regionalización de Labbé (1976), quien efectuó una regionalización a partir de datos homogeneizados aplicando el método de Tsuboi (1958). Además, calculó la frecuencia anual de ocurrencia de terremotos para cada zona, determinando los parámetros regionales de sismicidad de la relación empírica de Gutenberg y Richter (1958). Con una muestra de 573 sismos de un período de 65 años, modificó las zonas de Gajardo y Lomnitz (1960), obteniendo la siguiente sectorización y coeficientes:

Sectorización	a	b
Arica – Taltal	7.63	1.14
Taltal – Linares	6.41	0.99
Linares – Pto. Aisén	6.68	1.03
Pto. Aisén – Cabo de Hornos	4.46	0.81

Para el análisis de cada embalse, se consideró la aceleración máxima según la zona sísmica en la que se encontraba cada uno.

Zona Sísmica	Aceleración Máxima
1	0.2*g
2	0.3*g
3	0.4*g

Se procede a obtener la magnitud del sismo asociado a dicha aceleración máxima.

Posteriormente, para obtener el período de retorno relacionado con el sismo de la magnitud asociada a la aceleración máxima, se procede a interpolar considerando la fórmula de Gutenberg-Richter para distintos sismos y los coeficientes a y b asociados a la zona de cada embalse. Con ello, se obtiene la probabilidad de ocurrencia del sismo que se analiza.

- **Vulnerabilidad**

Se determinó para cada embalse de acuerdo a su ubicación, la aceleración máxima resultante para cada uno de los sismos seleccionados. Con la aceleración, los parámetros resistentes de la estructura y la forma del muro, se realizó un estudio de estabilidad, el cual permite indicar la existencia de fallas, su ubicación y la curva de factor de seguridad para los diferentes planos de deslizamientos.

El análisis de estabilidad de un muro puede tener tres resultados posibles, estos son: que el muro no falle, que el muro falle en un punto tal que no involucre vaciamiento y que el muro falle bajo la cota de aguas máximas.

Evidentemente, el primer caso como el último, son claros y sólo corresponde en cada uno asignar la probabilidad extrema. El segundo caso en tanto, corresponde a una situación muy frecuente y sobre la cual debe hacerse distinción, ya que es muy diferente si la falla ocurre superficialmente en el talud de aguas abajo, o si ésta ocurre en el talud de aguas arriba, sobre la línea de aguas. En cada uno de estos casos intermedios, existe también una probabilidad de falla, ya sea por piping a través de una grieta, por desestabilización progresiva o por falla sucesiva para aceleraciones menores a medida que el sismo se desarrolla.

Para la falla extrema en tanto, debe tenerse en consideración que los

métodos de análisis no cuentan con la precisión e información necesaria para ofrecer una conclusión terminante, y que la estimación de la magnitud media del evento desencadenante deja una incertidumbre o una variabilidad que debe ser considerada.

El criterio de riesgo de vaciamiento en función de la traza de la falla se incluye en Cuadro 4.2-10.

CUADRO 4.2-10
RIESGO DE VACIAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA TRAZA DE LA FALLA

Vaciamiento en Función de la traza de la Falla	RIESGO "p"
No se registra falla para el evento dado	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95

b) Eventos de Escorrentía

Se determinó para cada embalse, de acuerdo a los datos recolectados en terreno, la capacidad máxima de las obras de evacuación con todas las condicionantes que sea pertinente considerar. La capacidad de evacuación se considera en términos nominales en relación a la capacidad de diseño de la obra, es decir, dentro de los rangos operacionales normales. A continuación se estima la capacidad de evacuación en condiciones extremas, esto es, cuando el nivel de agua está a punto de verter por sobre el coronamiento, sobrepasando el muro.

La vulnerabilidad en cada caso se estima en función de la relación entre el caudal afluente y el caudal evacuado, sin considerar el efecto regulador del embalse, dado que se asume embalse lleno. Al asumir embalse lleno, se supone que ya no hay efecto de regulación, pues el agua que llegue en forma adicional disminuye el factor de seguridad del embalse, al ocupar el volumen dado por la revancha considerada para la obra.

Por lo general, el volumen dado por la revancha de las obras es de poca cuantía, además al asumir esta consideración, se elimina cualquier error de subestimar la seguridad del embalse.

El criterio de asignación de vulnerabilidad para falla por sobrepasamiento

de la capacidad de evacuación que se expone a continuación, pretende cuantificar la probabilidad de falla de las obras de evacuación de una presa, que pueda llevar a una falla por vaciamiento, ante la ocurrencia de una crecida determinada.

La falla por vaciamiento se produciría en este caso, por “overtopping”, es decir, el flujo del agua por encima del muro de presa y deterioro progresivo del sistema de descarga.

En estos casos, el análisis de la falla de las obras de evacuación será necesariamente más subjetivo que el caso de la falla sísmica del muro, dado que no se puede hacer un análisis específico estructural para cuantificar la misma. Por otra parte, deberá tenerse en consideración la calidad y estado de la obra, y la estabilidad frente a erosiones del canal de descarga.

En cuanto al caudal desencadenante de la falla, independientemente del tipo de obra, debe considerarse que la misma operará en condiciones seguras sólo hasta una cierta proporción de su capacidad máxima, dado que en general e históricamente, los evacuadores de crecidas presentan problemas estructurales u operacionales al alcanzar sus capacidades máximas. Así también, debe señalarse que existirá un rango de excedencia de la capacidad en que la obra aún tendrá posibilidad de operar.

De acuerdo con lo señalado, la probabilidad de falla para este evento se incluye en el Cuadro 4.2-11 siguiente.

CUADRO 4.2-11
PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN CAUDAL AFLUENTE Y CAPACIDAD DE EVACUACIÓN DEL EMBALSE

RELACIÓN CAUDAL AFLUENTE – CAPACIDAD DE EVACUACIÓN	RIESGO “p”
Caudal afluente inferior al 100% de la capacidad nominal máxima de evacuación de la obra	0, 05
Caudal afluente mayor que el 100% de la capacidad máxima nominal y menor que la capacidad máxima al borde libre	0,05 a 0,95
Caudal afluente sobre el 100% de la capacidad máxima al borde libre	0,95

Para los casos reales en que alguna de estas condiciones se vulnera, se utilizan coeficientes de minoración, según se indica en el cuadro siguiente.

CUADRO 4.2-12
COEFICIENTES DE CONFIABILIDAD APLICABLES A LA CAPACIDAD DE LA OBRA

	DESCRIPCIÓN	C
Calidad de Construcción	Obra de hormigón armado	1,0
	Obra de albañilería	0,8
	Obra de tierra	0,6
Estado de Conservación	Obra en óptimo estado	1,0
	Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8
	Obra en mal estado, no confiable	0,6
Calidad del Canal de Descarga	Canal revestido en hormigón	1,0
	Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9
	Canal en tierra	0,7

c) Evento de Piping

Se determina para cada embalse, el tiempo de estabilización del flujo bajo la presa. Para ello se supuso una velocidad del flujo que permite calcular el tiempo que demora una partícula en recorrer una línea de flujo del suelo por debajo del muro. A continuación, dependiendo del tiempo de estabilización del flujo y de la antigüedad de la presa, se determina la probabilidad de ocurrencia del evento.

La vulnerabilidad se determina dependiendo del estado de saturación o filtración en que se encuentra el muro. Además, se considera si el material del muro es cohesivo o no y si tiene sistema de drenaje.

El criterio de asignación de vulnerabilidad que se presenta a continuación, pretende cuantificar la probabilidad de falla por piping, dependiendo del estado actual del embalse.

La tabulación de probabilidades dependerá de si existe humedad al pie del muro o bajo él, y si existen filtraciones. Además, considera la existencia o no de un sistema de drenaje o si el material del muro es cohesivo. El criterio de riesgo por piping se incluye en el Cuadro 4.2-13 siguiente.

CUADRO 4.2-13
RIESGO DE PIPING SEGÚN SITUACIÓN DEL MURO

SITUACIÓN DEL MURO	RIESGO "p"
Sin humedad al pie	0,05
Saturación abajo del muro	0,05 a 0,10
Saturación del pie	0,10 a 0,20
Filtración	0,20 a 0,95
Si existe sistema de drenaje	0
Si el material es cohesivo	0,05

Por otra parte, la probabilidad de ocurrencia del fenómeno se define usando los datos del Cuadro 4.2-14. En este caso, se tiene que la probabilidad de ocurrencia del fenómeno disminuye con el paso del tiempo.

CUADRO 4.2-14
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PIPING
SEGÚN SITUACIÓN DEL MURO

Período de servicio	**Riesgo "p"**
Menor a 1 año	0,95
Entre 1 y 50 años	0,95 a 0,05
Mayor que 50 años	0,05

Es importante destacar que el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se considera como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

d) Determinación de Filtraciones

En la determinación de la filtración del embalse se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina, es igual a la suma de las longitudes verticales de filtración (Lv) más un tercio de la suma de las longitudes de filtración horizontales (1/3 Lh).

$$L' = \frac{1}{3} \cdot Lh + Lv$$

Se consideran como distancias verticales y horizontales las que tienen una inclinación mayor de 45º y menor de 45º, respectivamente.

El criterio de Lane señala que no se producen filtraciones si se cumple que:

$$L' \geq C' \cdot h$$

Lh = Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv = Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' = Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h = Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

4.2.5.5. Efectos

a) Magnitud del Vaciamiento

Conforme a la información disponible en la literatura y al conocimiento de falla en presas, se ha asumido que el muro se destruye formando un canalón cuyo ancho es 1,5 veces la altura de escurrimiento (Curso Internacional de Presas y Embalses, CEDEX, MOPU, España - 1978). En este canalón se calcula la crecida suponiendo altura crítica. El ancho de inundación promedio se asume para este mismo caudal, suponiendo que el valle próximo tiene una forma similar al sector en que está construido el tranque y que la altura de escurrimiento es normal.

La capacidad natural máxima de conducción del cauce aguas abajo se ha supuesto igual a la crecida centenaria, de acuerdo a la experiencia.

Los posibles efectos hacia aguas abajo dependen de la distancia en relación al cauce a que se encuentra el punto de análisis, la relación entre el caudal de vaciamiento y la capacidad del cauce y de la rama del cauce en que se encuentra dicho punto.

A continuación resumen las hipótesis adoptadas.

- La falla alcanza un ancho de 1,5 veces la altura del agua.

- En la garganta se produce altura crítica (2/3 altura de embalse)
- La diferencia entre la altura crítica y la altura por aguas abajo es de 1,5

- El tiempo de vaciamiento es 2V/Q máx. Donde: V = Volumen embalsado, en m^3 y Q máx.= Caudal máximo de vertedero, en m^3/s.

Para caracterizar la onda de vaciamiento sobre la base de las hipótesis anteriores sus parámetros principales son los siguientes:

- Altura inicial = H = Altura del Muro, en m

- Volumen de agua en vaciamiento = V = Volumen embalsado, m^3

- Ancho medio de inundación = $\frac{Lc \cdot hind}{H}$

Lc = Largo del coronamiento, en m;
hind = Altura de inundación, en m.

$$hind = (2)^{5/3} \cdot \frac{Q \cdot n \cdot H}{\sqrt{i} \cdot Lc}$$

Donde:

Q = Caudal máximo de diseño vertedero, en m^3/s
n = Coeficiente de rugosidad del cauce (“Manning”)
i = Pendiente longitudinal media del cauce, en tanto por uno.

b) Criterio de Definición de Potencialidad de Ocurrencia de Efectos en el Valle

El objetivo del presente acápite es estimar los riesgos asociados a una falla por vaciamiento de un embalse ante la ocurrencia de un fenómeno desencadenante, que logre efectivamente producir un daño estructural serio al muro de la presa. Esta probabilidad de daño no se encuentra asociada al evento desencadenante mismo, ya que se pretende evaluar

sólo los daños posibles ante la ocurrencia del vaciamiento. El hecho de si se producirá o no el evento o si se dañará o no el tranque, tiene sus probabilidades de ocurrencia propias y la seguridad final se evalúa como el producto de ellas.

La estimación de eventuales daños corresponde a la forma en que la onda de crecida se propagaría en forma teórica. Sin embargo, tal determinación requiere de un análisis específico caso a caso, dependiendo de las características propias de cada valle y de cómo se incorpora el cauce en estudio a otros cauces más importantes aguas abajo. Lo anterior será estimado en función de lo observado en terreno y a través de Google Earth Plus 2014.

Las probabilidades de daños son las siguientes.

Según la Cercanía a la Faja probable de Inundación

	E1
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5

Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento

	E2
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8
En un cauce mayor.	0,05 a 0,5

La probabilidad de falla es el mayor valor entre el Factor E1 y el Factor E2.

Finalmente se calcula el riesgo total como la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia entre el mayor valor entre falla por sismo y escorrentía, multiplicado por la vulnerabilidad asociada a la ocurrencia anterior y multiplicado por la potencialidad de falla.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Las resoluciones que establecen las normas transitorias de operación, y que ordenan la reparación del embalse, se incluyen en el Anexo 3.

En el Cuadro 5-1 se incluye un resumen relacionado con el cumplimiento de lo especificado en las resoluciones, mientras que en el Cuadro 5-2 se muestra un cuadro resumen con los principales tópicos del diagnóstico efectuado.

CUADRO 5-1
RESUMEN CUMPLIMIENTO RESOLUCIONES DE SOLICITUD DE REPARACIONES

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	Uso y Tipo de Uso	Estado Embalse	Observación
1	Chamorro	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	Regular; en reparación	Sin proyecto de reparación
2	Las Cenizas	DE VALPARAÍSO	Si, Incendios Forestales	Regular; no reparado	
3	El Recreo	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	Regular; no reparado	
4	El Cajón	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	Regular; no reparado	
5	Campo Lindo	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
6	El Sauzal	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	Regular; no reparado	
7	Escorial o La Gloria	Metropolitana	Si, Riego	Regular; no reparado	
8	El Palqui	Metropolitana	Si, Riego	Malo; no reparado	
9	Villa Peldehue 2	Metropolitana	Si, Riego	Regular; no reparado	
10	Huechún Bajo	Metropolitana	Si, Riego	Malo; no reparado	
11	Ranchillo	Metropolitana	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
12	El Llano	Metropolitana	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
13	Reina Sur	Metropolitana	Si, Riego	Malo; no reparado	
14	La Dehesa	Metropolitana	Si, Agua Potable	Bueno	Sin proyecto de reparación
15	Pailimo I	Lib. Berdo. O'Higgins	Si, Riego	Malo; no reparado	
16	Pailimo II	Lib. Berdo. O'Higgins	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
17	Patagua Cerro Guairabo	Lib. Berdo. O'Higgins	Si, Riego	Malo; no reparado	
18	Lagunilla	Lib. Berdo. O'Higgins	Si, Riego	Regular	Sin proyecto de reparación
19	La Troya	Lib. Berdo. O'Higgins	Si, Riego	Malo; no reparado	
20	Trinidad	Lib. Berdo. O'Higgins	Si, Riego	Bueno	Con proyecto de reparación
21	Las Lomas	Del Maule	Si, Riego	Bueno	Con proyecto de reparación
22	La Estancia	Del Maule	Si, Riego	Regular; no reparado	
23	La Aguada	Del Maule	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
24	Barandica	Del Maule	No, Riego	Malo; no reparado	
25	Los Maitenes	Del Maule	Si, Riego	Bueno	Con proyecto de reparación
26	Chépica	Del Maule	Sí, Relaves	Regular; no reparado	
27	Las Mercedes Nuevo	Del Maule	Si, Riego	Regular	Sin proyecto de reparación
28	San Gerardo	Del Maule	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
29	Los Maitenes 2	Del Maule	Si, Riego	Regular	Sin proyecto de reparación
30	Emb. Moratelli	Del Maule	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
31	Aguas Verdes (San Jorge)	Del BioBío	Si, Riego	Malo	
32	San Gerónimo	Del BioBío	Si, Riego	Bueno	Con proyecto de reparación
33	Soc. Ag. Gan. Y For. Ros. Mart. Labbé	Del BioBío	No, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
34	Tecnofrío	Del BioBío	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
35	Tucapel	Del BioBío	Si, Riego	Bueno	Con proyecto de reparación
36	Río Larqui	Del BioBío	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
37	Santa Rosa	Del BioBío	Si, Riego	Malo; no reparado	
38	Hacienda Rucamanqui	Del BioBío	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
39	Tranque Las Lagunas	Del BioBío	Fuera de uso; muro destruido	Muro Destruido	
40	Tranque Las Nieves	Del BioBío	Si, Riego	Malo; no reparado	
41	Guairao II	Del BioBío	No, Riego	Malo; no reparado	
42	Milahue	Del BioBío	Si, Riego	Bueno	Sin proyecto de reparación
43	El Cacique	Del BioBío	No, Colapsado	Muro Colapsado	

CUADRO 5-2
RESUMEN DIAGNÓSTICO EMBALSES
(en Excel)

A continuación se incluye un resumen y conclusiones del estudio efectuado:

a) Del diagnóstico efectuado, se pudo constatar que de los 43 embalses visitados, 18 de ellos (42 %) no han sido reparados posterior el terremoto del 27 de febrero del año 2010; del resto, uno está destruido, otro colapsado, y de los demás, sólo 5 presenta un proyecto de reparación.
b) En aquellos casos donde se efectuó la reparación del embalse y se pudo conversar con el dueño o el encargado de éste, algunos señalaron que se hizo la reparación con proyecto y otros indicaron que la reparación fue hecha sin proyecto.
c) En términos generales, si bien es cierto que cerca de un 60 % acataron las resoluciones de las normas transitorias de operación y ordenanza de reparación, sólo 5 de ellos presentaron ante la DGA Regional el proyecto de reparación respectivo. Sin disponer del proyecto de reparación, no es factible poder emitir una opinión respecto a si la reparación fue hecha de acuerdo al proyecto o no.

En el cuadro que se presenta a continuación, se resumen las principales recomendaciones respecto a lo observado y medido en terreno, y que a su vez debieran generar nuevas resoluciones relacionadas con nuevas normas de operación, proyectos y reparaciones necesarias.

CUADRO 5-3
RESUMEN RECOMENDACIONES

V REGIÓN DE VALPARAÍSO		
1	Chamorro	No se observaron filtraciones en el talud de aguas abajo. Sin embargo, debido a que el embalse estaba con su nivel de aguas muy bajo (prácticamente vacío), esto no asegura que con niveles de aguas mayores esto se mantenga. Se considera necesario insistir en que se presente un proyecto de reparaciones específico para este tranque.
2	Las Cenizas	Este embalse, al parecer, no ha sido reparado, de modo que se es necesario insistir en que se presente un proyecto de reparaciones específico para este tranque, y que a su vez, sea reparado.
3	El Recreo	Aparentemente el muro del embalse El Recreo no fue sometido a reparaciones. Se recomienda insistir en solicitar que se efectúe un proyecto para reparar el muro.
4	El Cajón	Según se pudo apreciar no se han efectuado reparaciones al muro después del terremoto del año 2010. Aparentemente los propietarios han efectuado un estudio pero este no ha sido entregado a la DGA. Se recomienda que mientras no se entregue un estudio de reparaciones efectuado por un Ingeniero Civil Calificado, este sea aprobado por la DGA y se efectúen las reparaciones proyectadas, no se permita que el tranque El Cajón se llene más allá de la mitad de su altura máxima a nivel de vertedero.
5	Campo Lindo	Aun cuando es posible apreciar que el muro del embalse Campo lindo ha sido sometido a reparaciones, se desconoce exactamente la naturaleza de estas y si existe un proyecto de ingeniería que las sustente. Se recomienda solicitar a los propietarios el proyecto de reparación para su aprobación por la DGA. Mientras no se cuente con la aprobación de la DGA se propone no autorizar el llenado del embalse hasta más allá de la mitad de la altura máxima hasta el vertedero.
6	El Sauzal	De lo observado se considera probable que el tranque El Sauzal no haya tenido ningún tipo de reparación después del terremoto de 2010. Considerando los daños que sufrió este embalse lo anterior se considera peligroso. Se recomienda restringir indefinidamente el llenado del embalse El Sauzal, hasta un tercio de su altura máxima, contada hasta el nivel del vertedero, hasta que se efectúen las reparaciones necesarias las que deberán estar sustentadas por un estudio desarrollado por un Ingeniero Civil competente. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA

REGIÓN METROPOLITANA		
7	El Escorial	Se propone limitar la altura de llenado del embalse hasta la mitad de la altura máxima, contada hasta cota de vertedero, mientras no se efectúen las obras de mejoramiento que defina un estudio de ingeniería desarrollado por un Ingeniero Civil calificado. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA. Durante el período de lluvias el embalse deberá mantenerse vacío.
8	El Palqui	Se considera de alto riesgo permitir el funcionamiento del embalse El Palqui de manera normal. Se recomienda establecer una norma de operación que no permita el llenado del embalse a ningún nivel. Lo anterior se debería mantener hasta que se efectúen las reparaciones que indique un proyecto desarrollado por un Ingeniero Civil competente. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA.
9	Villa Peldehue	En base a los puntos anteriores se considera peligroso permitir el funcionamiento normal del tranque Villa Peldehue. Se recomienda restringir el llenado del embalse hasta la mitad de la altura máxima, considerada hasta cota de vertedero, durante la época de riego. En período de lluvias el embalse debería mantenerse vacío. Lo anterior se debería mantener mientras no se efectúen las obras de reparación que indique un estudio desarrollado por un Ingeniero Civil competente. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA.
10	Huechún Bajo	De lo planteado en los puntos anteriores puede concluirse que la operación normal del embalse Huechún Bajo tiene un alto riesgo. Se recomienda solicitar el vaciamiento permanente del traque Huechún Bajo. La situación del punto anterior podría revertirse después que se efectúen las reparaciones según indique un estudio desarrollado por un Ingeniero Civil competente. Dicho estudio deberá ser aprobado por la DGA.
11	El Ranchillo	Aún cuando el embalse Ranchillo se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, el que deberá ser firmado por un Ingeniero Civil competente y dicho

		proyecto sea aprobado por la DGA.
12	El Llano	Aún cuando el embalse El Llano se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, el que deberá ser firmado por un Ingeniero Civil competente, y dicho proyecto sea aprobado por la DGA.
13	Reina Sur	Dado que el embalse Reina Sur presenta riesgos potenciales de falla, se recomienda solicitar a los propietarios la reparación completa de los muros. Para esto se deberá contar con un estudio desarrollado por un Ingeniero Civil competente. El estudio desarrollado deberá contar con la aprobación de la DGA.
14	La Dehesa	Aún cuando el embalse La Dehesa se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y aprobado por la DGA.
VI REGIÓN DEL LIBERTADOR BDO. O´HIGGINS		
15	Pailimo I	Se considera que la utilización normal del embalse Pailimo I presenta riesgos de falla. Se recomienda restringir la operación del tranque, de manera que la altura del agua no sobrepase la mitad de la altura máxima del muro, contada hasta el nivel del umbral del vertedero. Lo anterior debería mantenerse hasta que se efectúen las reparaciones que indique un estudio de mejoramiento desarrollado por un Ingeniero Civil competente. Dicho estudio deberá ser aprobado por la DGA.
16	Pailimo II	Aún cuando el embalse Pailimo II se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de umbral de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y este sea aprobado por la DGA.
17	Patagua, Cerro Guairabo	Se recomienda que mientras no se efectúen reparaciones estructurales a los muros del tranque Patagua Cerro Guairabo no se permita la acumulación de agua en él. Para revertir la recomendación del punto anterior, se sugiere solicitar al propietario del tranque la ejecución de un proyecto de mejoramiento del mismo, el que deberá ser desarrollado por un Ingeniero Civil competente, luego aprobado por la DGA, y posteriormente materializado.
18	Lagunilla	Aún cuando el embalse Lagunilla se aprecia, en general, en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de

		reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y dicho estudio sea aprobado por la DGA.
19	La Troya	Se recomienda solicitar el vaciamiento permanente del embalse mientras no se efectúen reparaciones que garanticen su seguridad. Las reparaciones deberán efectuarse en base a un proyecto efectuado por un Ingeniero Civil competente. Dicho estudio deberá ser aprobado por la DGA, antes que se efectúen las reparaciones.
20	Trinidad	El embalse Trinidad se aprecia en buenas condiciones, salvo por algunas las filtraciones en el talud de aguas abajo. De la revisión del proyecto de reparación, se puede señalar que este cumple en general con todos los requisitos técnicos típicos para este tipo de proyectos, salvo que no se encontró el análisis y cálculo de las posibles filtraciones.
VII REGIÓN DEL MAULE		
21	Las Lomas	El embalse Las Lomas se aprecia en buenas condiciones. Hecha la revisión al proyecto de reparación efectuado, se puede señalar, que desde el punto de vista geotécnico, el proyecto efectuado tiene deficiencias graves en el análisis de la estabilidad de taludes. No hace un análisis geotécnico de las propiedades de los materiales, tanto de los rellenos como de la fundación. Tampoco presenta cálculo en la determinación de filtraciones.
22	La Estancia	Dada la baja seguridad que presenta el embalse La Estancia, se recomienda no autorizar su operación normal hasta que se efectúen las reparaciones que permitan una seguridad adecuada. Las reparaciones deberán efectuarse en base a un proyecto desarrollado por un Ingeniero Civil competente. EL proyecto deberá contar con la aprobación de la DGA. En el intertanto, se recomienda no llenar el embalse hasta más allá de la mitad de la altura máxima del muro, contada hasta la cota del umbral del vertedero.
23	La Aguada	Aún cuando el embalse La Aguada se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y aprobado por la DGA.
24	Barandica	Se recomienda solicitar al propietario el vaciamiento indefinido del embalse Barandica, hasta que se efectúen las reparaciones que aseguren un funcionamiento adecuado. Las reparaciones deberán efectuarse en base a un proyecto desarrollado por un Ingeniero Civil competente. Dicho proyecto deberá además contar con la aprobación de la DGA.
25	Los Maitenes	El embalse Los Maitenes se aprecia en buenas condiciones. De

		la revisión del proyecto de reparación efectuada por el Ingeniero Civil Agrícola don Patricio Cordero Núñez, se puede señalar que desde el punto de vista geotécnico, el proyecto efectuado tiene deficiencias graves en el análisis de la estabilidad de taludes. No hace un análisis geotécnico de las propiedades de los materiales, tanto de los rellenos como de la fundación. Tampoco presenta un algún cálculo de la determinación de filtraciones.
26	Chépica	Se recomienda solicitar a los propietarios del embalse Chépica efectuar las reparaciones que aseguren la integridad del muro. Las reparaciones deberán efectuarse en conformidad con un proyecto que deberá desarrollar un Ingeniero Civil competente. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA, con la consideración especial de que se trata de un embalse que acumula relaves.
27	Las Mercedes Nuevo	Se considera que mientras no se tengan antecedentes que avalen la seguridad del muro del embalse Las Mercedes Nuevo, específicamente un estudio desarrollado por un Ingeniero Civil competente y que además cuente con la aprobación de la DGA, se deberá restringir el nivel de agua en el embalse a una altura del 50% de la altura máxima a la cota del umbral del vertedero.
28	San Gerardo	Aún cuando el embalse San Gerardo se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y aprobado por la DGA.
29	Los Maitenes 2	Aún cuando el embalse Los Maitenes 2 se aprecia en relativamente buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y aprobado por la DGA.
30	Moratelli	Aún cuando el embalse Moratelli se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y aprobado por la DGA.
VIII REGIÓN DEL BIOBÍO		
31	Aguas Verdes	Dado que la situación del embalse Aguas Verdes es incierta y que la seguridad que entregan sus muros a la estabilidad no es adecuada se considera pertinente solicitar a sus propietarios un estudio de reparaciones para los diferentes muros. El estudio deberá ser efectuado por un Ingeniero Civil competente y posteriormente aprobado por la DGA. Una vez que se cuente con la aprobación de la DGA se podrán

		efectuar las reparaciones indicadas por el estudio. En el intertanto se recomienda no autorizar la acumulación de agua en el embalse.
32	San Gerónimo	El embalse San Gerónimo se aprecia en buenas condiciones, no obstante la baja compacidad de los rellenos del muro hace aconsejable restringir su llenado hasta el 50% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero. De la revisión del proyecto de reparación efectuado por la empresa RF Consultora Limitada, se puede señalar que de los antecedentes entregados, no se encontró ningún estudio geotécnico, tampoco respecto a los materiales de relleno, a los materiales de la fundación, al estudio de la estabilidad de taludes ni al cálculo de la determinación de filtraciones.
33	Soc. Agr. Y For. Rosauro Martínez Labbe	Aún cuando el tranque se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y aprobado por la DGA.
34	Tecnofrío	Aún cuando el embalse Tecnofrío se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 80% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y aprobado por la DGA.
35	Tucapel	El embalse Tucapel se aprecia en buenas condiciones. En los antecedentes del proyecto de reparación efectuado, no se encontraron ningún tipo de estudios geotécnicos, ni estabilidad de taludes ni determinación de filtraciones.
36	Río Larqui	Aún cuando el embalse Río Larqui se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y aprobado por la DGA.
37	Santa Rosa	Se recomienda restringir el llenado del embalse hasta un nivel del agua equivalente al 50% de la altura máxima del muro, contada hasta la cota del umbral del vertedero, hasta que se efectúen reparaciones que garanticen una seguridad razonable. Las reparaciones que se efectúen deberán ser las que señale un proyecto desarrollado por un Ingeniero Civil capacitado. Previo a la materialización de las obras el proyecto deberá ser aprobado por la DGA.
38	Hacienda Rucamanqui	Aún cuando el embalse Hacienda Rucamanqui se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado

		hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente. El proyecto deberá contar con la aprobación de la DGA.
39	Las Lagunas	Muro del embalse destruido
40	Las Nieves	Se considera que el tranque Las Nieves no entrega la seguridad necesaria para su utilización normal. Se sugiere solicitar su vaciamiento hasta que se efectúen obras de mejoramiento que permitan un uso seguro. Las obras de mejoramiento que se efectúen deberán ser las indicadas en un proyecto, que para estos efectos desarrolle un Ingeniero Civil calificado. Dicho proyecto, deberá contar con la aprobación de la DGA.
41	Guairao II	Se considera que el embalse Guairao II no entrega la seguridad para su utilización de manera normal. Se recomienda definir una regla de operación que no permita que el nivel de agua supere el 50% de la altura máxima del muro, contada hasta la cota del umbral del vertedero. Para modificar la restricción de llenado se deberán efectuar las obras de mejoramiento que defina un proyecto que para estos fines desarrolle un Ingeniero Civil capacitado. Dicho proyecto deberá contar con la aprobación de la DGA.
42	Milahue	Aún cuando el embalse Milahue se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un Ingeniero Civil competente y con dicho proyecto aprobado por la DGA.
43	El Cacique	Embalse Colapsado

6. EMBALSE CHAMORRO

6.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Chamorro.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Chamorro		Nº de ficha	1
Propietario	Comunidad de aguas Valle Alegre, Héctor Cisternas, Calle Parroquia Nº 10, Valle Alegre		Fecha (dd/mm/año)	29/8/14; 14:30 hrs
	Quintero, V Región			
Año de construcción	Desconocido		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	EN REPARACIÓN			
Año de reparación				
Cuenca / Código DGA	Costera Ligua-Aconcagua/053		Capacidad > 50.000 m3	Si
Subcuenca / Código DGA	Cost. Est. Catapilco y Río Aconcagua/0532		Altura del muro > 5 m	Si
Fuente del recurso	Canal El Mauco - Río Aconcagua			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	De Valparaíso
Provincia	Valparaiso
Comuna	Quintero
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.365.837 Este=271.840
Coordenadas UTM Izq	
Datum	WGS-84, Huso 19
Altitud	54 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos: Canal con compuerta.	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	145 m.
Ancho del coronamiento	6 m
Desarrollo del talud aguas abajo	36 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas	2 m
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	35 °
Ángulo talud de aguas arriba	28 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	20
Profundidad máxima de agua en sector del muro	No medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	44.000
Ancho máximo de la poza (m)	200
Largo de la poza (m)	300
Volumen declarado o proyectado (m3)	250.000

7.A- CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7.B- ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Irregular en coronamiento y talud aguas abajo
Compacidad del material estructural	Media
Uniformidad de los taludes	Aguas arriba uniforme, aguas abajo irregular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No existen depresiones
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al coronamiento	No se aprecia saturación
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se aprecia, probablente sí por abundante vegetación
Tipo de revestimiento del muro	Geomembrana en talud aguas arriba

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**
Vertederos frontales	
Vertederos laterales	X
Vertederos de campana	

Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:	**("x")**
Vertederos libres, sin control	X
Vertederos controlados por compuertas	

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:	
Vertedero de pared delgada	
Vertedero de pared gruesa	X
Vertedero con perfil hidráulico	

Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:	
Rectangulares	X
Trapezoidales	
Triangulares	
Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Canal
Material constructivo	Excavado en roca
Estado de conservación y operatividad	Sin problemas, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Ancho 8 m, altura 4 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Tubería fierro fundido.
Mediciones estructurales	Válvula D= 450 mm.
Funcionamiento actual	Operativo, en regular estado

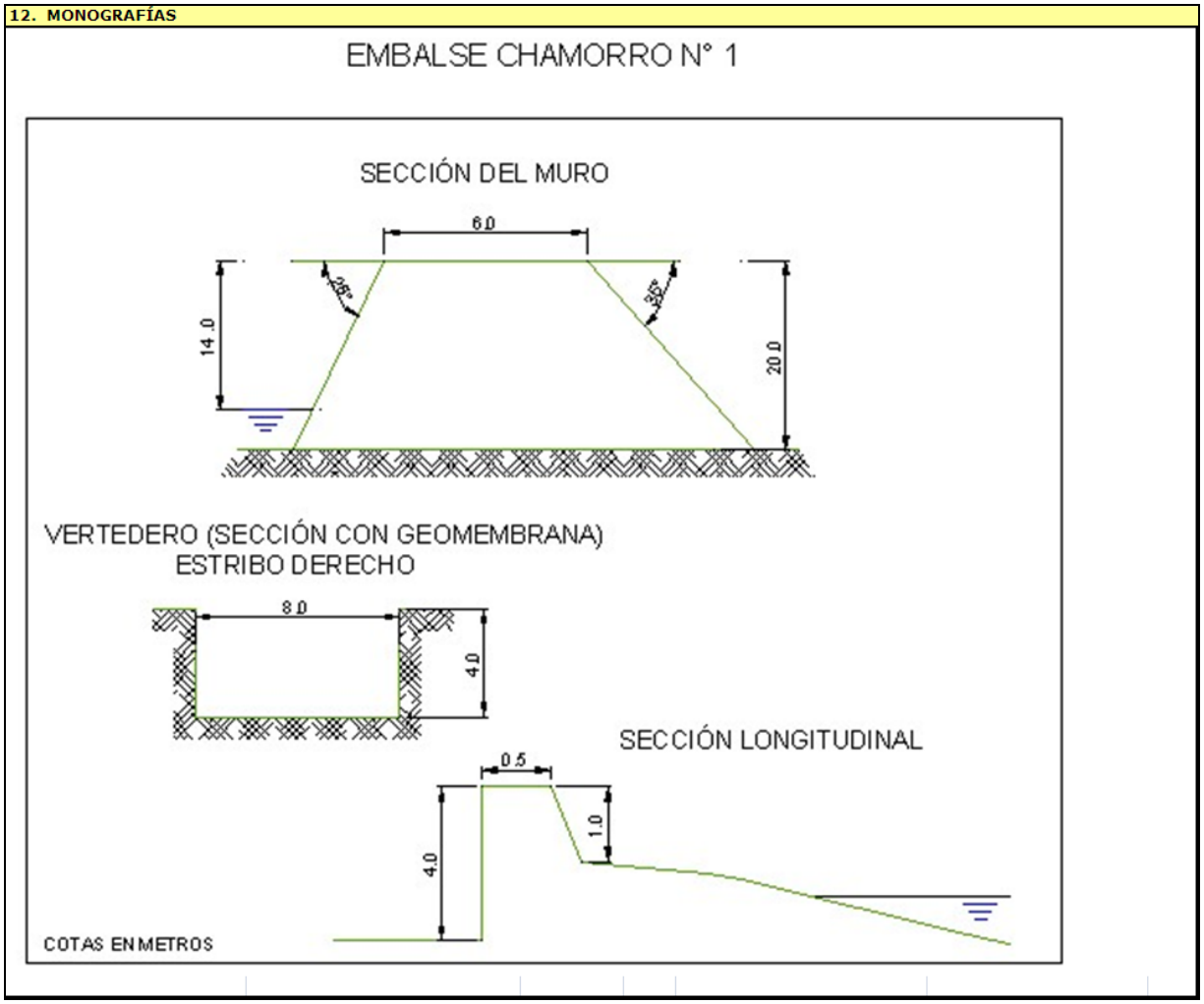
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Estero Natural.
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1,05 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	Parcelaciones a 1.0 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	1,05 km
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,05 km
Área de riego servida por el tranque analizado	Parcelas Valle Alegre

11. OBSERVACIONES

Embalse en reparación actualmente (28/8/2014);
Obra de toma en mal estado

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE CHAMORRO (1)

TALUD AGUAS ARRIBA

CORONAMIENTO

VERTEDERO

ENSAYO PENETRÓMETRO

6.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Chamorro, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado el embalse corresponden a arena limosa (tipo maicillo), de color café claro. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los que se encuentran naturalmente en el sector, es decir, arenas limosas tipo maicillo con gravas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es baja.

El muro del tranque Chamorro sufrió severos daños debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. Al momento de la visita se pudo observar que el tranque está siendo sometido a reparaciones, las que, de acuerdo con lo observado, consistieron en cubrir el talud de aguas arriba con una geomembrana. Aún cuando no se observaron grietas ni deformaciones en el muro, se desconoce si esto se debió a reparaciones efectuadas ó sólo a que estas se han borrado con el paso del tiempo.

Las mediciones del muro efectuadas en terreno son las siguientes: ancho de coronamiento 6 m; inclinación talud de aguas arriba 28°; Altura (vertical) talud aguas arriba hasta el nivel del agua 14 m (embalse casi vacío por reparaciones); inclinación talud de aguas abajo 35°; altura talud aguas abajo (vertical) 20 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

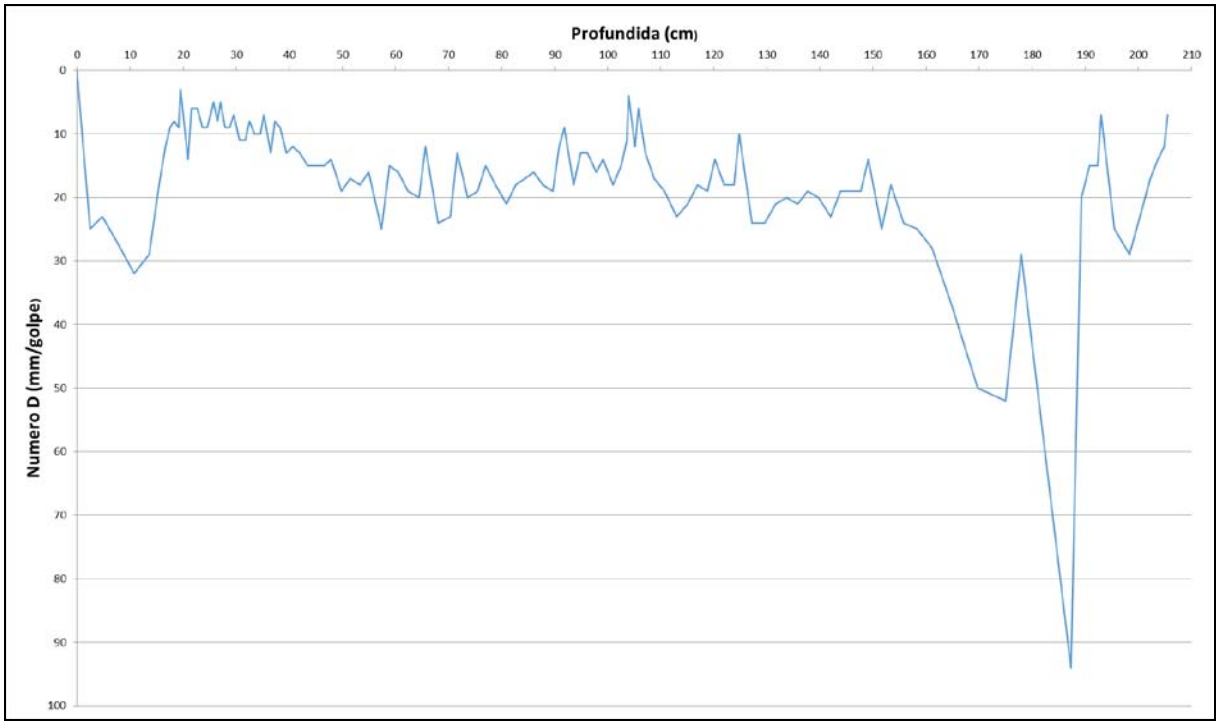
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Chamorro

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	2.5	95	120	25	6.9	41	49.8	574	593	19	9.7	81	115.1	212	233	21	8.6
2	4.8	120	143	23	7.7	42	51.5	593	610	17	11.2	82	116.9	233	251	18	10.4
3	7.5	143	170	27	6.3	43	53.3	610	628	18	10.4	83	118.8	251	270	19	9.7
4	10.7	170	202	32	5.1	44	54.9	628	644	16	12.1	84	120.2	270	284	14	14.3
5	13.6	202	231	29	5.7	45	57.4	644	669	25	6.9	85	122.0	284	302	18	10.4
6	15.4	231	249	18	10.4	46	58.9	669	684	15	13.1	86	123.8	302	320	18	10.4
7	16.6	249	261	12	17.4	47	60.5	684	700	16	12.1	87	124.8	320	330	10	21.9
8	17.5	261	270	9	25.0	48	62.4	700	719	19	9.7	88	127.2	330	354	24	7.3
9	18.3	270	278	8	29.0	49	64.4	719	739	20	9.1	89	129.6	354	378	24	7.3
10	19.2	278	287	9	25.0	50	65.6	739	751	12	17.4	90	131.7	378	399	21	8.6
11	19.5	287	290	3	99.7	51	68.0	751	775	24	7.3	91	133.7	399	419	20	9.1
12	20.9	290	304	14	14.3	52	70.3	775	798	23	7.7	92	135.8	419	440	21	8.6
13	21.5	304	310	6	41.6	53	71.6	798	811	13	15.7	93	137.7	440	459	19	9.7
14	22.1	310	316	6	41.6	54	73.6	811	831	20	9.1	94	139.7	459	479	20	9.1
15	22.7	316	322	6	41.6	55	75.5	831	850	19	9.7	95	142.0	479	502	23	7.7
16	23.6	322	331	9	25.0	56	77.0	850	865	15	13.1	96	143.9	502	521	19	9.7
17	24.5	331	340	9	25.0	57	78.8	865	883	18	10.4	97	145.8	521	540	19	9.7
18	25.2	340	347	7	34.3	58	80.9	883	904	21	8.6	98	147.7	540	559	19	9.7
19	25.7	347	352	5	52.4	59	82.7	904	922	18	10.4	99	149.1	559	573	14	14.3
20	26.5	352	360	8	29.0	60	84.4	922	939	17	11.2	100	151.6	573	598	25	6.9
21	27.0	360	365	5	52.4	61	86.0	939	955	16	12.1	101	153.4	598	616	18	10.4
22	27.9	365	374	9	25.0	62	87.8	142	160	18	10.4	102	155.8	616	640	24	7.3
23	28.8	374	383	9	25.0	63	89.7	160	179	19	9.7	103	158.3	640	665	25	6.9
24	29.5	383	390	7	34.3	64	90.9	179	191	12	17.4	104	161.1	665	693	28	6.0
25	30.6	390	401	11	19.4	65	91.8	191	200	9	25.0	105	164.8	693	730	37	4.2
26	31.7	401	412	11	19.4	66	93.6	0	18	18	10.4	106	169.8	730	780	50	2.9
27	32.5	412	420	8	29.0	67	94.9	18	31	13	15.7	107	175.0	780	832	52	2.7
28	33.5	420	430	10	21.9	68	96.2	31	44	13	15.7	108	177.9	832	861	29	5.7
29	34.5	430	440	10	21.9	69	97.8	44	60	16	12.1	109	187.3	861	955	94	1.3
30	35.2	440	447	7	34.3	70	99.2	60	74	14	14.3	110	189.3	149	169	20	9.1
31	36.5	447	460	13	15.7	71	101.0	74	92	18	10.4	111	190.8	169	184	15	13.1
32	37.3	460	468	8	29.0	72	102.5	92	107	15	13.1	112	192.3	184	199	15	13.1
33	38.2	468	477	9	25.0	73	103.6	107	118	11	19.4	113	193.0	0	7	7	34.3
34	39.5	477	490	13	15.7	74	104.0	118	122	4	69.4	114	195.5	7	32	25	6.9
35	40.7	490	502	12	17.4	75	105.2	122	134	12	17.4	115	198.4	32	61	29	5.7
36	42.0	502	515	13	15.7	76	105.8	134	140	6	41.6	116	200.6	61	83	22	8.1
37	43.5	515	530	15	13.1	77	107.1	140	153	13	15.7	117	202.3	83	100	17	11.2
38	45.0	530	545	15	13.1	78	108.8	153	170	17	11.2	118	203.7	100	114	14	14.3
39	46.5	545	560	15	13.1	79	110.7	170	189	19	9.7	119	204.9	114	126	12	17.4
40	47.9	560	574	14	14.3	80	113.0	189	212	23	7.7	120	205.6	126	133	7	34.3

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta la mayor cantidad de valores entre 10 y 20 mm/golpe. Esto se puede relacionar a suelos finos de consistencia media. Entre las profundidades 1.6 y 1.9 se encontró un estrato de suelo menos consistente, con valores de D mayores a 30 mm/golpe. Sin embargo, bajo la profundidad 1.9 metros, se vuelve a valores entre 10 y 20 mm/golpe.

6.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Ubicado en la comuna de Quintero, provincia de Valparaíso, V Región, el embalse Chamorro constituye parte del sistema de riego Peralito – Chamorro (conectados en serie), en que el segundo recibe las aguas trasvasijadas desde el primero, regando la zona agrícola de Valle Alegre.

Para llegar al embalse Chamorro, se debe tomar la ruta F-30-E (Concón-Quintero) de sur a norte, para luego orientarse hacia el oriente por la ruta F-232; al cabo de unos 3,4km, dicha ruta empalma con la F-190, la que

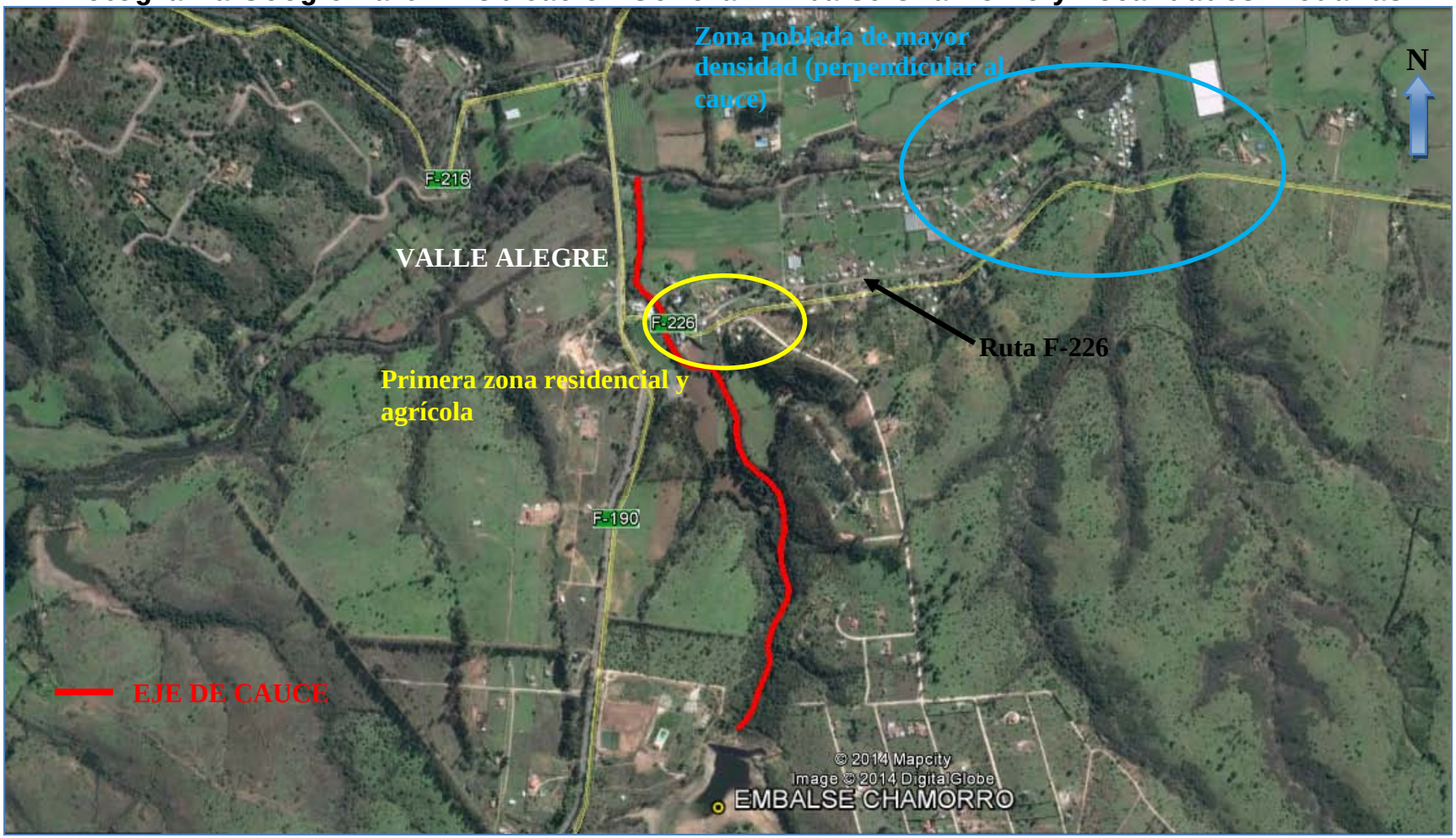
debe tomarse hacia el norte. Luego de pasar por el embalse Peralito, este camino llevará al embalse Chamorro, al cual se debe acceder a través de una parcela, en dirección nororiente.

En referencia a su cauce aguas abajo, este corresponde a un estero natural de pendiente media 2%, con alta densidad vegetal en ambas riberas; la longitud de este curso es del orden de los 1,67km, interceptando en su recorrido a la ruta F-226 a los 1,05km de su desarrollo, camino correspondiente a una carpeta pavimentada; esta sería la única infraestructura vial importante directamente afectada en caso de colapso. Cabe señalar que el cauce principal finaliza en una canalización orientada en sentido este-oeste.

Respecto de las zonas pobladas con potencial riesgo de ser afectadas en caso de falla del embalse Chamorro, el sector de Valle Alegre, destinado a la residencia y, fundamentalmente, a la actividad agrícola, posee una densidad de poblacional baja en su zona directamente expuesta, a unos 1,05km aguas abajo del muro (medido por el cauce). Esta densidad poblacional crece moderadamente por la ruta F-226 hacia el oriente, en sentido perpendicular al eje del cauce principal.

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse Chamorro respecto del principal asentamiento humano y zona agrícola, correspondiente al sector de Valle Alegre.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Chamorro y Localidades Aledañas



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Chamorro:

CUADRO 6-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS
AGUAS ABAJO – EMBALSE CHAMORRO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Chamorro	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Natural	---
	Tipo de Terreno	boscoso	---
	Pendiente Media	0,020	m/m
	Ancho medio	17	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	1,05	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,94	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	1,05	km
	Zonas Agrícolas	1,05	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

6.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Chamorro	2,560	2,822	380	62	318

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,343	0,371	1,040	0,691

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 6-2 siguiente.

CUADRO 6-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
1 Embalse Chamorro	**2**	0,700	0,302	0,248	2,665	-	2,665	2,665
	5	2,177	1,080	0,806	4,334	-	4,334	4,334
	10	3,888	1,651	1,175	5,579	-	5,579	5,579
	20	6,259	2,334	1,595	7,211	-	7,211	7,211
	25	7,231	2,635	1,780	7,523	-	7,523	7,523
	50	10,769	3,535	2,310	9,184	-	9,184	10,769
	100	15,435	4,753	3,014	11,223	-	11,223	15,435
	250	16,811	5,377	3,454	12,762	-	12,762	16,811
	500	19,368	6,143	3,929	14,256	-	14,256	19,368
	1000	21,924	6,910	4,405	15,749	-	15,749	21,924

6.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Chamorro fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Chamorro	Arena limosa (maicillo)	38	0,15	1,85	20	28	35	6

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.76
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.33
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.14

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.62
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.29

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

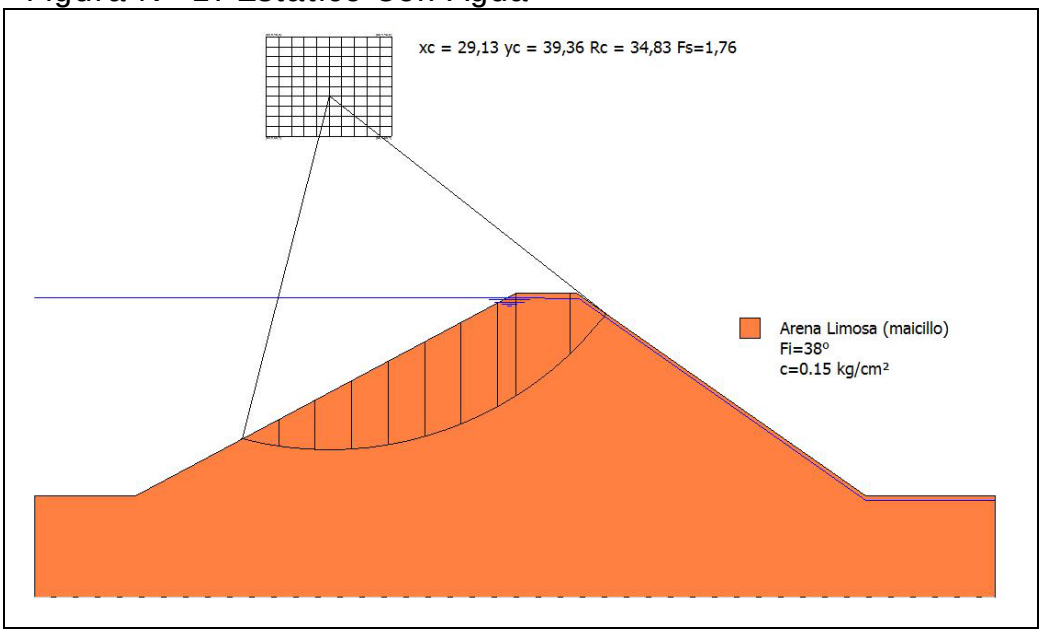


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

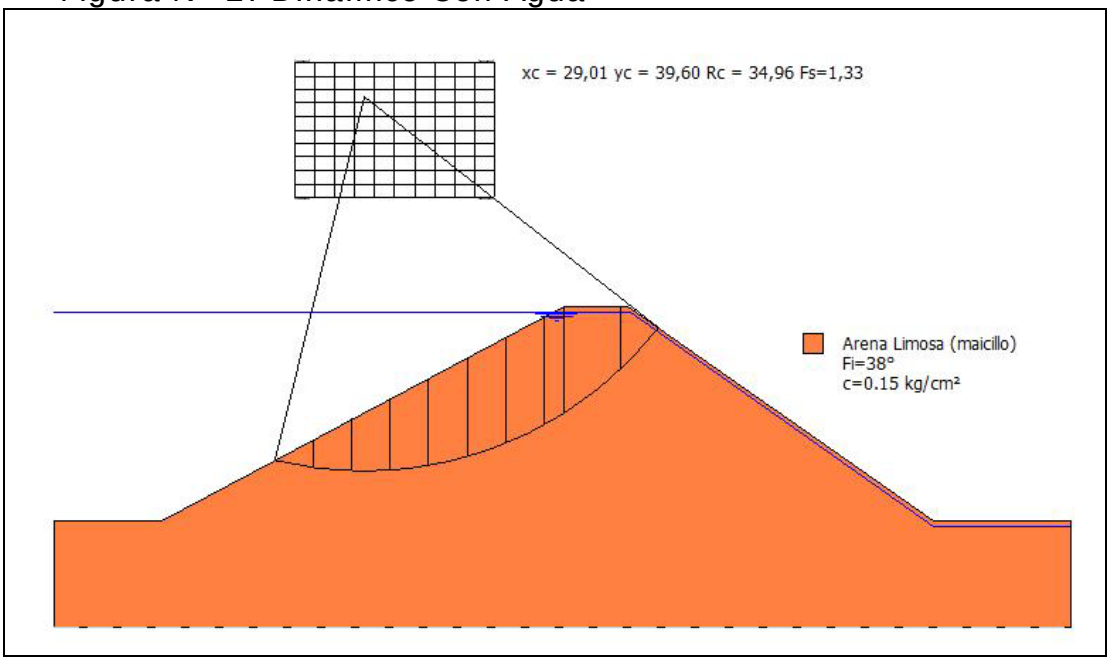
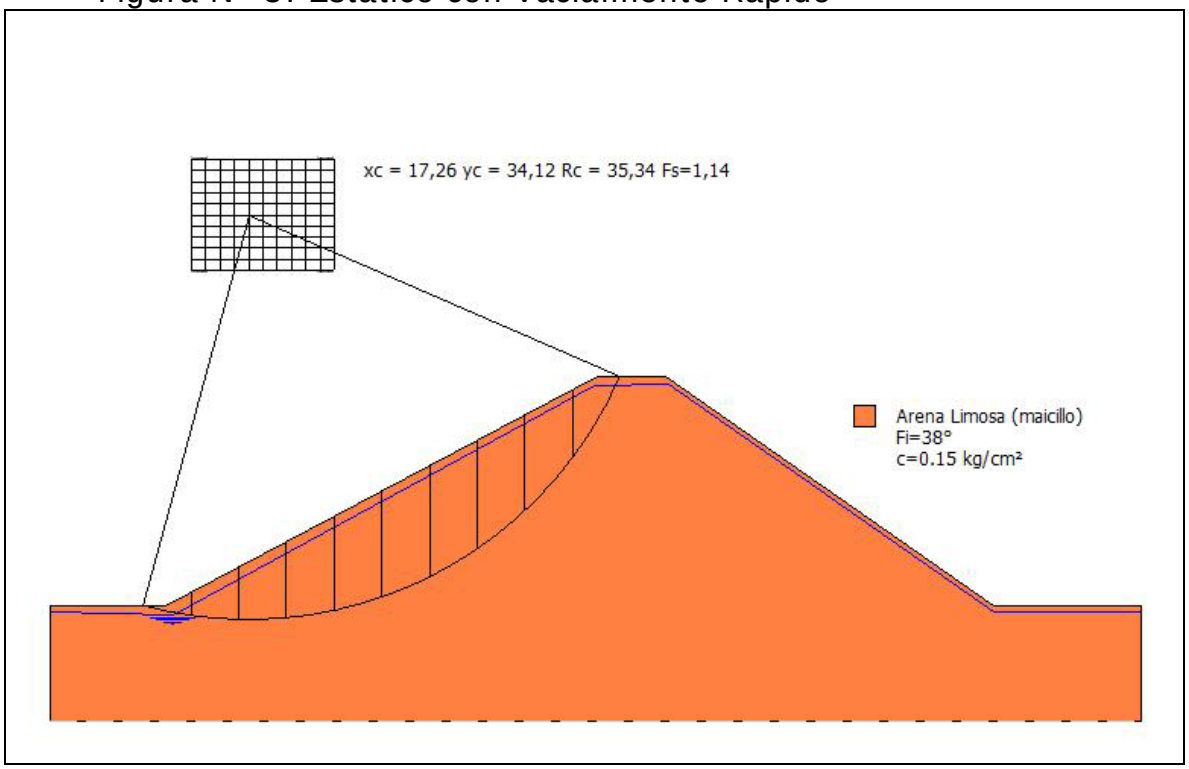


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

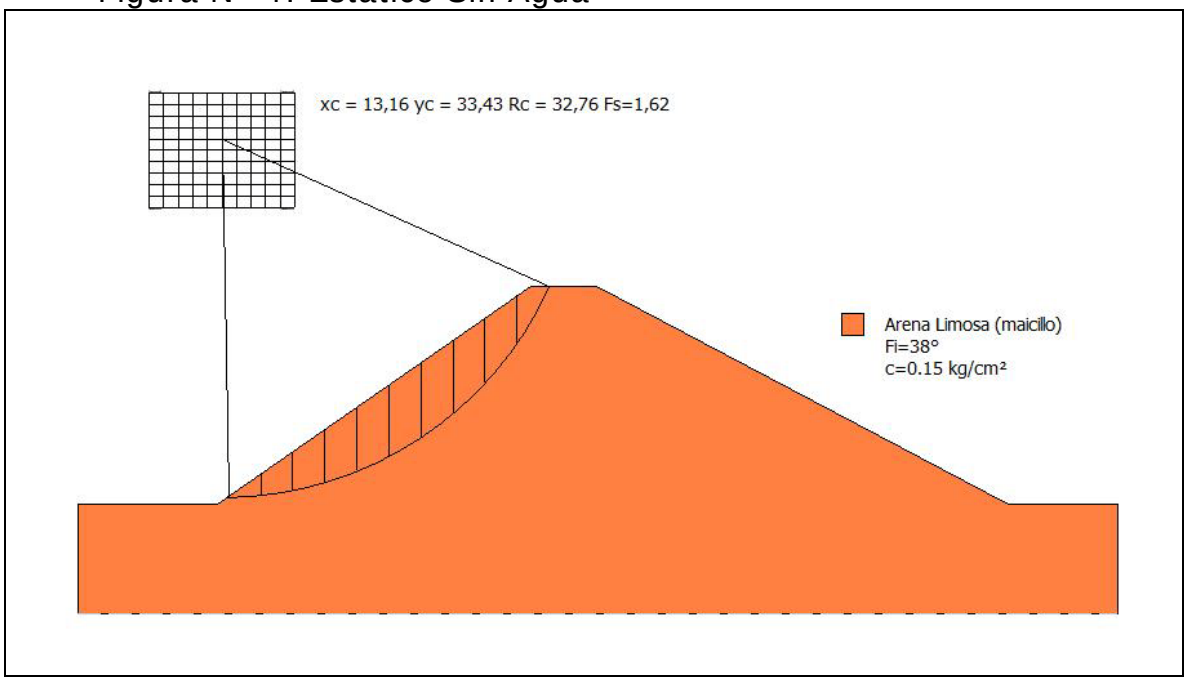
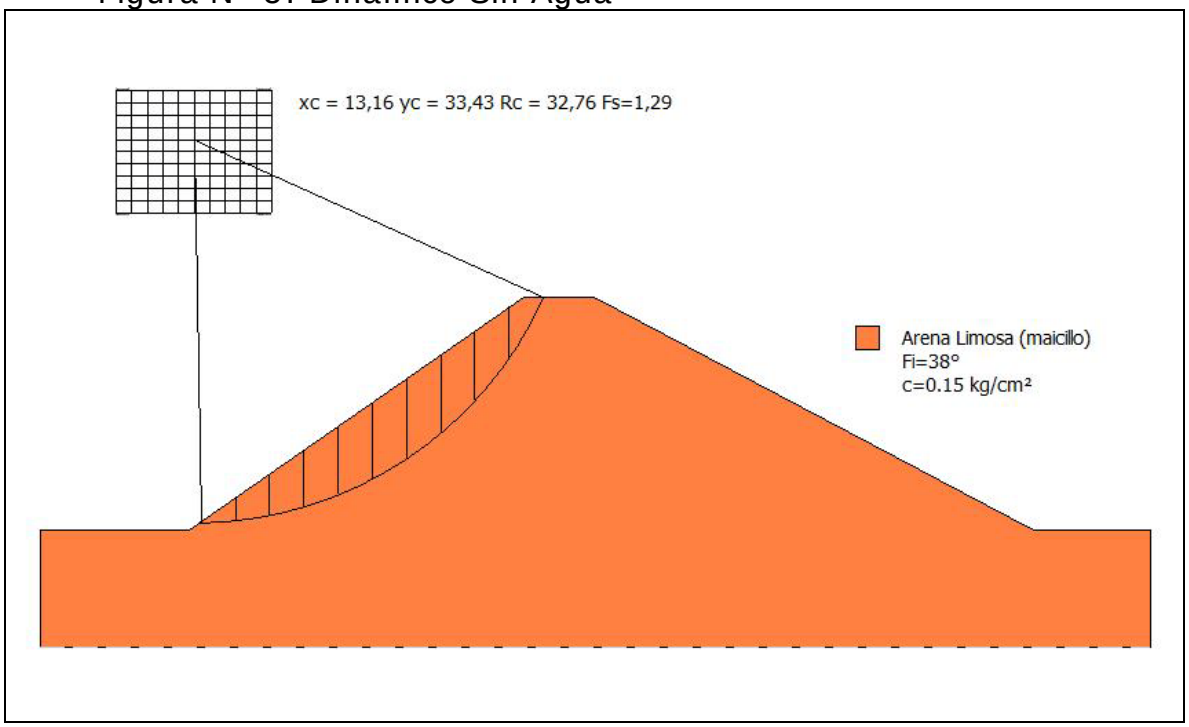


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

i) Al momento de la visita el tranque estaba siendo sometido a reparaciones, las que de acuerdo a lo observado, consistieron en cubrir el talud de aguas arriba con una geomembrana.

ii) No se observaron grietas ni deformaciones en el muro. Se desconoce si esto se debió a reparaciones efectuadas o sólo a que éstas se han borrado con el paso del tiempo.

iii) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

iv) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados, **excepto el caso estático con vaciamiento rápido.**

v) No se observaron filtraciones en el talud de aguas abajo. Sin embargo, debido a que el embalse estaba con su nivel de aguas muy bajo (prácticamente vacío), esto no asegura que con niveles de aguas mayores esto se mantenga.

vi) Se considera necesario insistir en que se presente un proyecto de reparaciones específico para este tranque.

6.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 6-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Número	Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
Embalse	Nombre del Embalse		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
1	Chamorro *	Arena Limosa con Gravas	72,3	0	24,1	5	20,0	100,0	Si

Nota: embalse con membrana en talud de aguas arriba, no debieran producirse filtraciones

6.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 6-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Chamorro	Lateral	Geomembrana; pared gruesa	8	1	5							**25,13**

6.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Chamorro, V Región

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** **g** es decir, **392,00** cm/seg2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**

(sismo intraplaca) **M=** **8,019**

A= **392,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **33,2** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R : Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,6
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor adoptado**
Canal revestido en hormigón	1	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 25,13 m3/s

Coeficiente de Capacidad= 1 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 25,13 m3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	8,5	0,05
0,002 (T= 500 años)	9,6	
0,001 (T= 1.000 años)	10,7	

Nota: Embalse Tipo A (T= 250 años)

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía (embalse Tipo A)= 0,004 (T= 250 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,6
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,03 x 0,6 x 1,0= 1,8 %

7. EMBALSE LAS CENIZAS

7.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Las Cenizas.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	EMBALSE LAS CENIZAS	Nº de ficha	2
Propietario	Fundo Las Cenizas, Puerta 2, Placilla de Peñuelas	Fecha (dd/mm/año)	29/8/14; 9:30 hrs.
	Triplante, Adm. Sr. Edgardo Apel; Luis Henríquez, 76198748		
Año de construcción	1869	Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO		
Año de reparación			
Cuenca / Código DGA	Costera entre Aconcagua y Maipo/055	Capacidad > 50.000 m3	si
Subcuenca / Código DGA	Lago Peñuelas/0551	Altura del muro > 5 m	si
Fuente del recurso			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VALPARAÍSO
Provincia	Valparaíso
Comuna	Valparaíso
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.333.894 Este= 263.123
Coordenadas UTM Izq	
Datum	WGS-84, Huso 19
Altitud	346 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	Para Incendios Forestales

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	285 m
Ancho del coronamiento	15 m
Desarrollo del talud aguas abajo	22 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas	no apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	34 °
Ángulo talud de aguas arriba	34 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	12
Profundidad máxima de agua en sector del muro	No medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	400.000
Ancho máximo de la poza (m)	250
Largo de la poza (m)	1.500
Volumen declarado o proyectado (m3)	2.000.000

7.A- CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7.B-ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Irregular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	No son Uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No
Grietas visibles y su ubicación	Sí, 2 de 3 m longitud y 1 cm de ancho
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al coronamiento	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No
Tipo de revestimiento del muro	No

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	
Material constructivo	Tierra con muro por lado derecho de enrocado consolidado
Estado de conservación y operatividad	Regular, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	12 m de ancho, 3 m y 5 m de alto a cada lado

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	No dispone (están abandonadas)
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

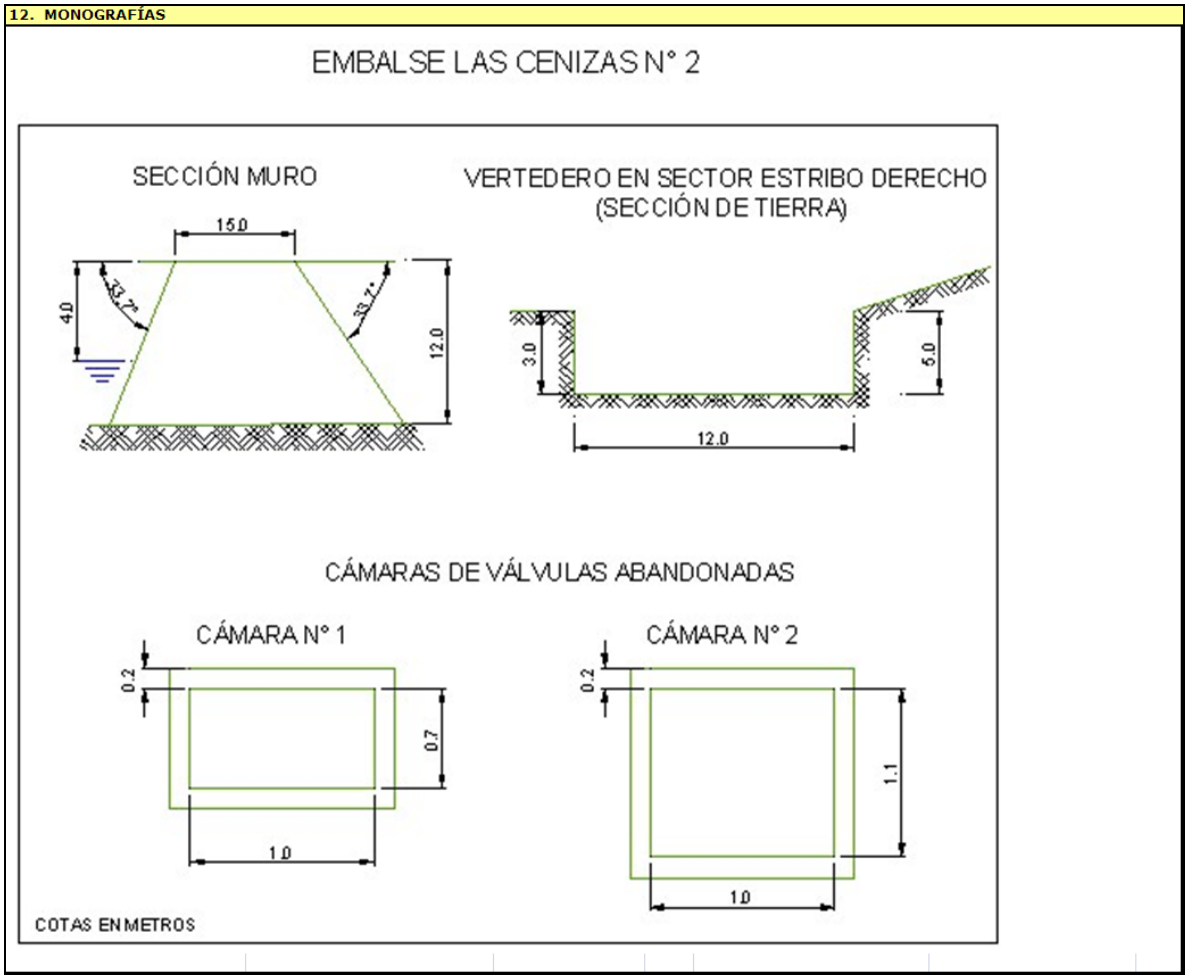
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Quebrada natural, desforestado, i= 0,0056, ancho medio 5 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	a 200 m existen 2 casas de las brigadas forestales de Conaf
Densidad de población en las cercanías del tranque	No hay
Distancia hacia zonas agrícolas	No hay
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,9 km
Área de riego servida por el tranque analizado	

11. OBSERVACIONES

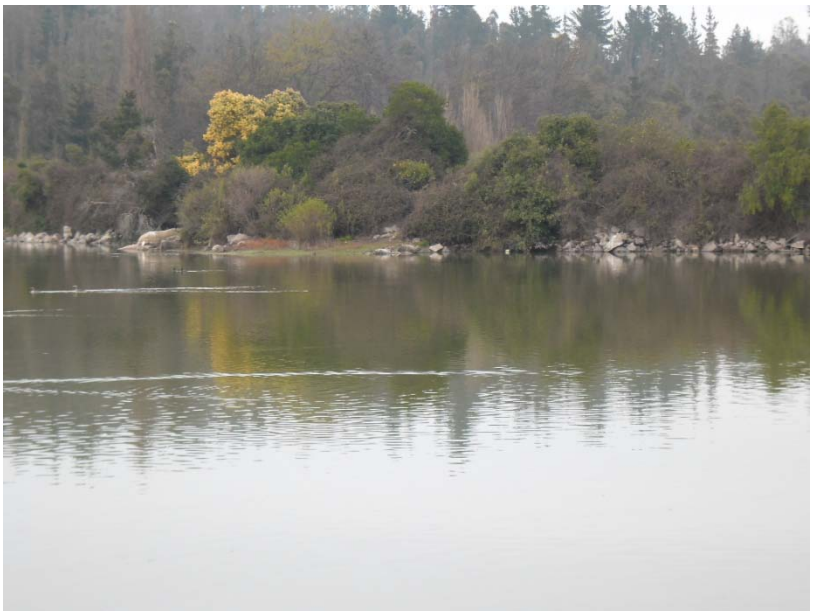
Se observaron grietas, menos que las observadas en el año 2010, posterior al terremoto
2 grietas de 3 m de longitud, 1 cm de ancho, ubicadas en el sector del coronamiento, hacia el tramo del estribo derecho del muro
El embalse no fue reparado después del terremoto

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE LAS CENIZAS (2)

TALUD AGUAS ARRIBA



CORONAMIENTO

VERTEDERO

ENSAYO PENETRÓMETRO

7.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Las Cenizas, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado el embalse corresponden a arena limosa (tipo maicillo), de color café claro. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los que se encuentran naturalmente en el sector, es decir, arenas limosas tipo maicillo con gravas dispersas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es baja.

El muro del tranque Las Cenizas sufrió severos daños debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. Al momento de la visita se pudo observar que, aunque la mayoría de las grietas han desaparecido, aún quedan rastros de ellas, lo que demuestra que no se efectuaron reparaciones en el tranque.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: ancho de coronamiento 15 m; inclinación talud aguas arriba 34°; altura talud aguas arriba hasta el nivel del agua 4 m; inclinación talud aguas abajo 34°; altura talud aguas abajo 12 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

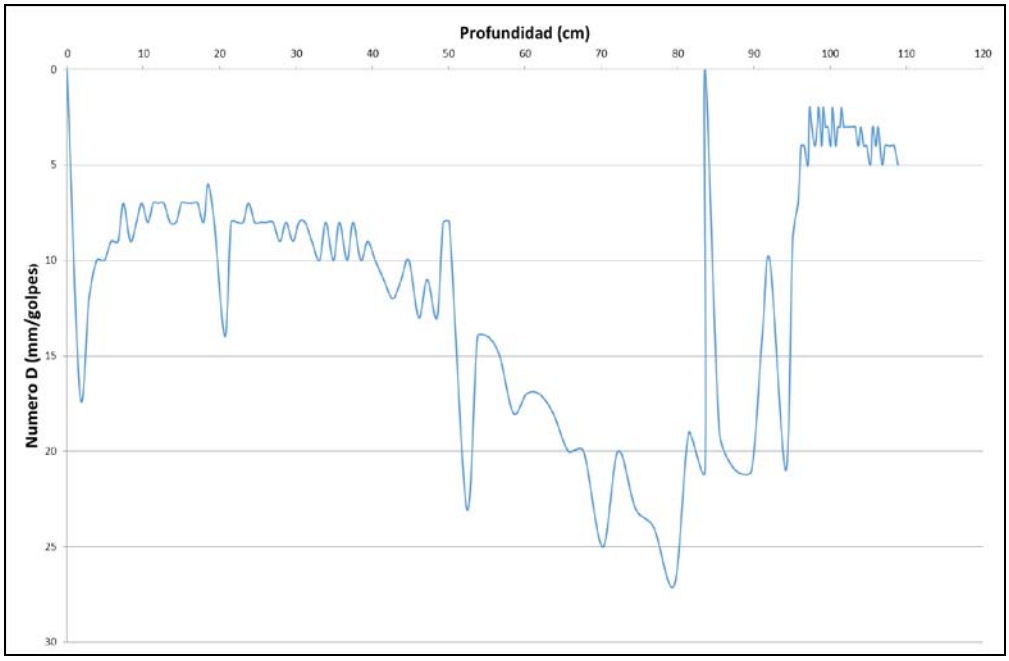
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Las Cenizas

Nº de Golpe	Profundidad	Lectura inic.	Lectura Final	Ind de Penetrac	CBR Est	Nº de Golpe	Profundidad	Lectura inic.	Lectura Final	Ind de Penetrac	CBR Est	Nº de Golpe	Profundidad	Lectura inic.	Lectura Final	Ind de Penetrac	CBR Est	Nº de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Ind de Penetrac	CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	1,7	108	125	17	11,2	41	34,9	447	457	10	21,9	81	115,1	311	40	9	25,0	121	129,3	178	182	4	69,4
2	2,9	125	137	12	17,4	42	35,7	457	465	8	29,0	82	115,8	40	47	7	34,3	122	129,9	182	188	6	41,6
3	3,9	137	147	10	21,9	43	36,7	465	475	10	21,9	83	116,2	47	51	4	69,4	123	130,3	188	192	4	69,4
4	4,9	147	157	10	21,9	44	37,5	475	483	8	29,0	84	116,6	51	55	4	69,4	124	130,8	192	197	5	52,4
5	5,8	157	166	9	25,0	45	38,5	483	493	10	21,9	85	117,1	55	60	5	52,4	125	131,3	197	202	5	52,4
6	6,7	166	175	9	25,0	46	39,4	493	502	9	25,0	86	117,3	60	62	2	166,2	126	131,7	202	206	4	69,4
7	7,4	175	182	7	34,3	47	40,4	502	512	10	21,9	87	117,6	62	65	3	99,7	127	132,2	206	211	5	52,4
8	8,3	182	191	9	25,0	48	41,5	512	523	11	19,4	88	118,0	65	69	4	69,4	128	132,7	211	216	5	52,4
9	9,1	191	199	8	29,0	49	42,7	523	535	12	17,4	89	118,3	69	72	3	99,7	129	133,2	216	221	5	52,4
10	9,8	199	206	7	34,3	50	43,8	535	546	11	19,4	90	118,5	72	74	2	166,2	130	133,7	221	226	5	52,4
11	10,6	206	214	8	29,0	51	44,8	546	556	10	21,9	91	118,9	74	78	4	69,4	131	134,2	226	231	5	52,4
12	11,3	214	221	7	34,3	52	46,1	556	569	13	15,7	92	119,1	78	80	2	166,2	132	134,8	231	237	6	41,6
13	12,0	221	228	7	34,3	53	47,2	569	580	11	19,4	93	119,4	80	83	3	99,7	133	135,3	237	242	5	52,4
14	12,7	228	235	7	34,3	54	48,5	580	593	13	15,7	94	119,7	83	86	3	99,7	134	136,0	242	249	7	34,3
15	13,5	235	243	8	29,0	55	49,3	593	601	8	29,0	95	120,1	86	90	4	69,4	135	136,4	249	253	4	69,4
16	14,3	243	251	8	29,0	56	50,1	601	609	8	29,0	96	120,3	90	92	2	166,2	136	137,0	253	259	6	41,6
17	15,0	251	258	7	34,3	57	52,4	609	632	23	7,7	97	120,7	92	96	4	69,4	137	137,4	259	263	4	69,4
18	15,7	258	265	7	34,3	58	53,8	632	646	14	14,3	98	121,0	96	99	3	99,7	138	138,1	263	270	7	34,3
19	16,4	265	272	7	34,3	59	55,2	646	660	14	14,3	99	121,3	99	102	3	99,7	139	138,6	270	275	5	52,4
20	17,1	272	279	7	34,3	60	56,7	660	675	15	13,1	100	121,5	102	104	2	166,2	140	139,4	275	283	8	29,0
21	17,9	279	287	8	29,0	61	58,5	675	693	18	10,4	101	121,8	104	107	3	99,7	141	140,0	283	289	6	41,6
22	18,5	287	293	6	41,6	62	60,2	693	710	17	11,2	102	122,1	107	110	3	99,7	142	140,5	289	294	5	52,4
23	19,3	293	301	8	29,0	63	61,9	710	727	17	11,2	103	122,4	110	113	3	99,7	143	141,1	294	300	6	41,6
24	20,7	301	315	14	14,3	64	63,7	727	745	18	10,4	104	122,7	113	116	3	99,7	144	142,1	300	310	10	21,9
25	21,5	315	323	8	29,0	65	65,7	745	765	20	9,1	105	123,0	116	119	3	99,7	145	142,6	310	315	5	52,4
26	22,3	323	331	8	29,0	66	67,7	765	785	20	9,1	106	123,3	119	122	3	99,7	146	143,2	315	321	6	41,6
27	23,1	331	339	8	29,0	67	70,2	785	810	25	6,9	107	123,7	122	126	4	69,4	147	144,0	321	329	8	29,0
28	23,8	339	346	7	34,3	68	72,2	810	830	20	9,1	108	124,0	126	129	3	99,7	148	144,5	329	334	5	52,4
29	24,6	346	354	8	29,0	69	74,5	830	853	23	7,7	109	124,4	129	133	4	69,4	149	145,0	334	339	5	52,4
30	25,4	354	362	8	29,0	70	76,9	853	877	24	7,3	110	124,8	133	137	4	69,4	150	145,6	339	345	6	41,6
31	26,2	362	370	8	29,0	71	79,6	877	904	27	6,3	111	125,3	137	142	5	52,4	151	146,1	345	350	5	52,4
32	27,0	370	378	8	29,0	72	81,5	904	923	19	9,7	112	125,6	142	145	3	99,7	152	146,5	350	354	4	69,4
33	27,9	378	387	9	25,0	73	83,6	923	944	21	8,6	113	126,0	145	149	4	69,4	153	146,5	354	354	0	0,0
34	28,7	387	395	8	29,0	74	83,6	944	944	0	0,0	114	126,3	149	152	3	99,7						
35	29,6	395	404	9	25,0	75	85,5	135	154	19	9,7	115	126,8	152	157	5	52,4						
36	30,4	404	412	8	29,0	76	87,6	154	175	21	8,6	116	127,2	157	161	4	69,4						
37	31,2	412	420	8	29,0	77	89,7	175	196	21	8,6	117	127,6	161	165	4	69,4						
38	32,1	420	429	9	25,0	78	91,1	196	210	14	14,3	118	128,0	165	169	4	69,4						
39	33,1	429	439	10	21,9	79	112,1	0	210	210	0,5	119	128,4	169	173	4	69,4						
40	33,9	439	447	8	29,0	80	114,2	10	31	21	8,6	120	128,9	173	178	5	52,4						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el muro del tranque presenta un índice de penetración compuesta tanto por valores medios como bajos (especialmente entre 0.5 y 0.8 metros de profundidad), lo que implica que el muro presente una compacidad media, que aparentemente mejora bajo el metro de profundidad.

7.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Ubicado en la comuna de Valparaíso, el embalse Las Cenizas se emplaza al oriente de la ruta 68 y al norte de la localidad de Placilla.

Para llegar al embalse Las Cenizas, se debe tomar la ruta 68 (Santiago-Valparaíso) en dirección a la costa y virar hacia el oriente por un camino de tierra, luego del cruce que deriva al camino La Pólvora; al continuar por dicho camino de tierra hacia el oriente, se llegará a un portón cerrado con candado, el cual da acceso al recinto del embalse en cuestión.

En referencia a su cauce aguas abajo, este corresponde a una quebrada natural alterada de pendiente media 6 ‰, y baja densidad vegetal en ambas riberas; la longitud de este curso es del orden de los 0,9km,

interceptando en su recorrido a la ruta 68 al término de su desarrollo, infraestructura de gran importancia; esta sería la única infraestructura vial significativa directamente afectada en caso de colapso.

En cuanto a zonas pobladas potencialmente en riesgo por falla del embalse, el único asentamiento existente corresponde a un campamento de la Conaf, ubicado a una distancia de 230m, perpendicular al eje del cauce (densidad poblacional baja). No existen zonas agrícolas asociadas al embalse, ya que éste cumple funciones de reservorio de agua para el combate de incendios forestales.

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse Las Cenizas respecto de la ruta 68 y el campamento de la Conaf.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Las Cenizas y Ruta 68

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Las Cenizas:

CUADRO 7-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS
AGUAS ABAJO – EMBALSE LAS CENIZAS

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Las Cenizas	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada Natural / Alterado	---
	Tipo de Terreno	Desforestado	---
	Pendiente Media	0,0056	m/m
	Ancho medio	5	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,23	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,9	km
	Zonas Agrícolas	No hay	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

7.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Las Cenizas	6,427	4,446	488	358	130

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,817	0,899	1,914	1,365

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 7-2 siguiente.

CUADRO 7-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
2 Embalse Las Cenizas	**2**	7,400	1,175	0,662	6,731	-	6,731	7,400
	5	23,021	4,197	2,154	11,439	-	11,439	23,021
	10	41,109	6,419	3,138	14,906	-	14,906	41,109
	20	66,186	9,073	4,262	19,432	-	19,432	66,186
	25	76,463	10,245	4,755	20,430	-	20,430	76,463
	50	113,873	13,743	6,171	25,066	-	25,066	113,873
	100	163,204	18,478	8,053	30,754	-	30,754	163,204
	250	177,762	20,903	9,229	35,091		35,091	177,762
	500	204,790	23,882	10,499	39,285		39,285	204,790
	1000	231,818	26,860	11,770	43,480		43,480	231,818

7.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Las Cenizas fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Las Cenizas	Arena limosa (maicillo)	38	0,15	1,85	12	34	34	15

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.50
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.16
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.13

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.89
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.49

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

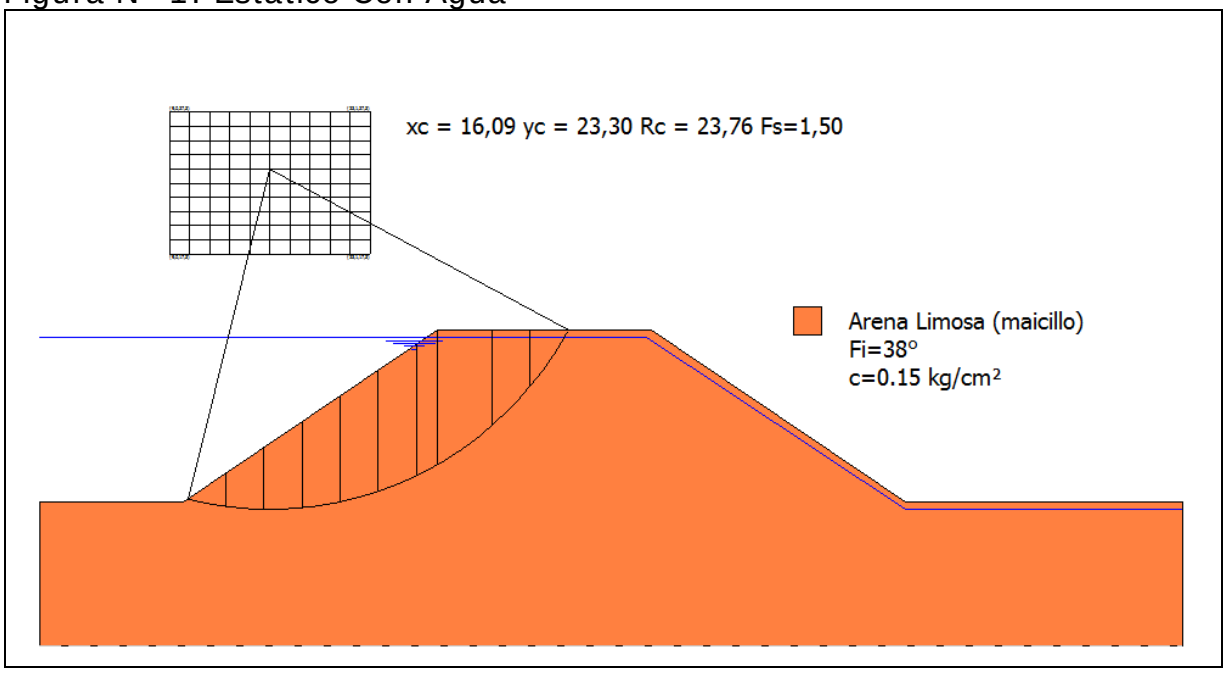


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

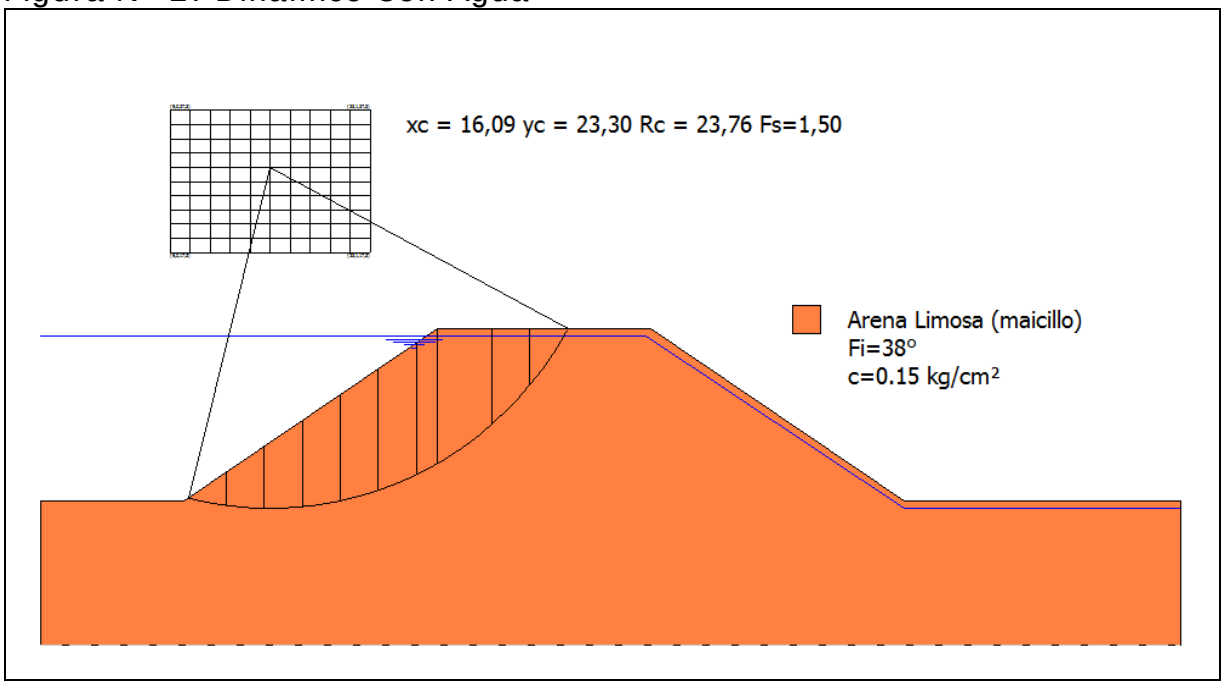
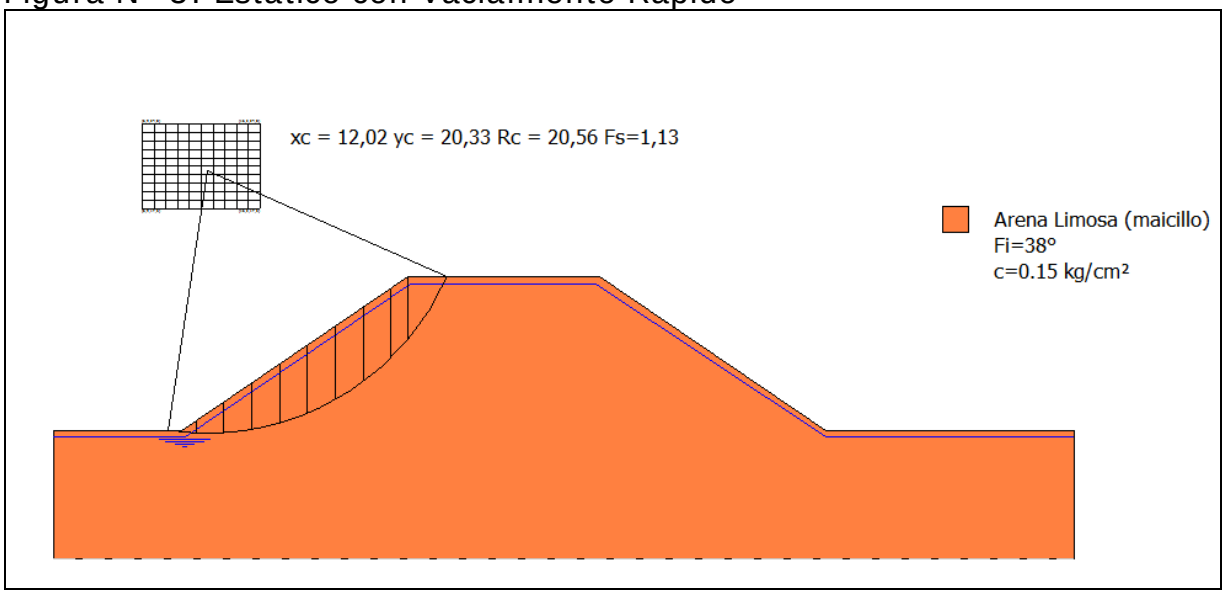


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

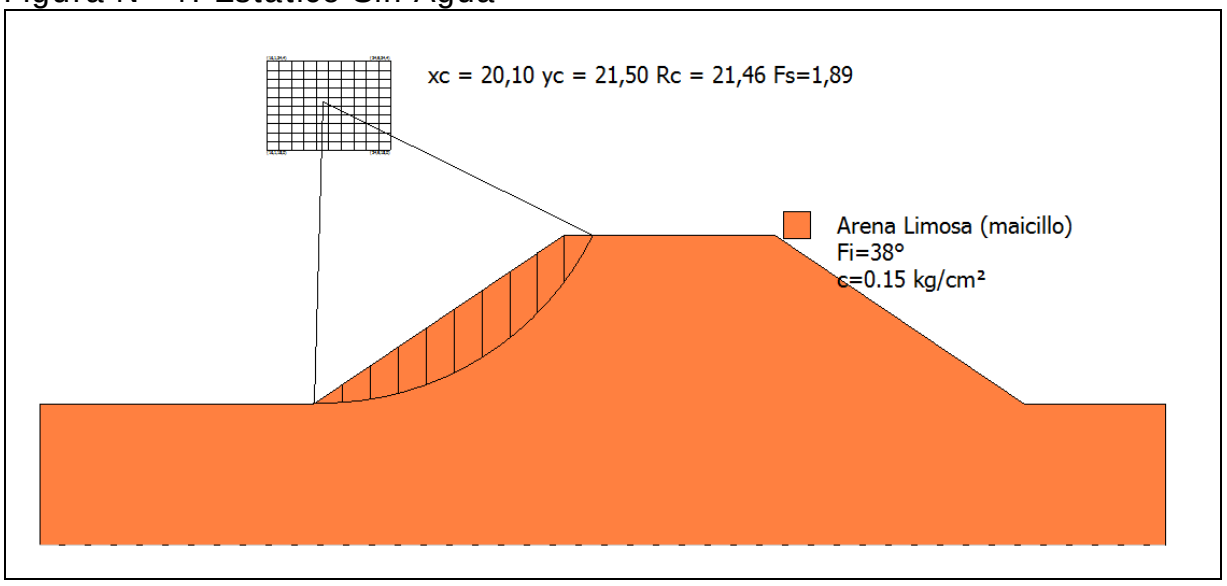
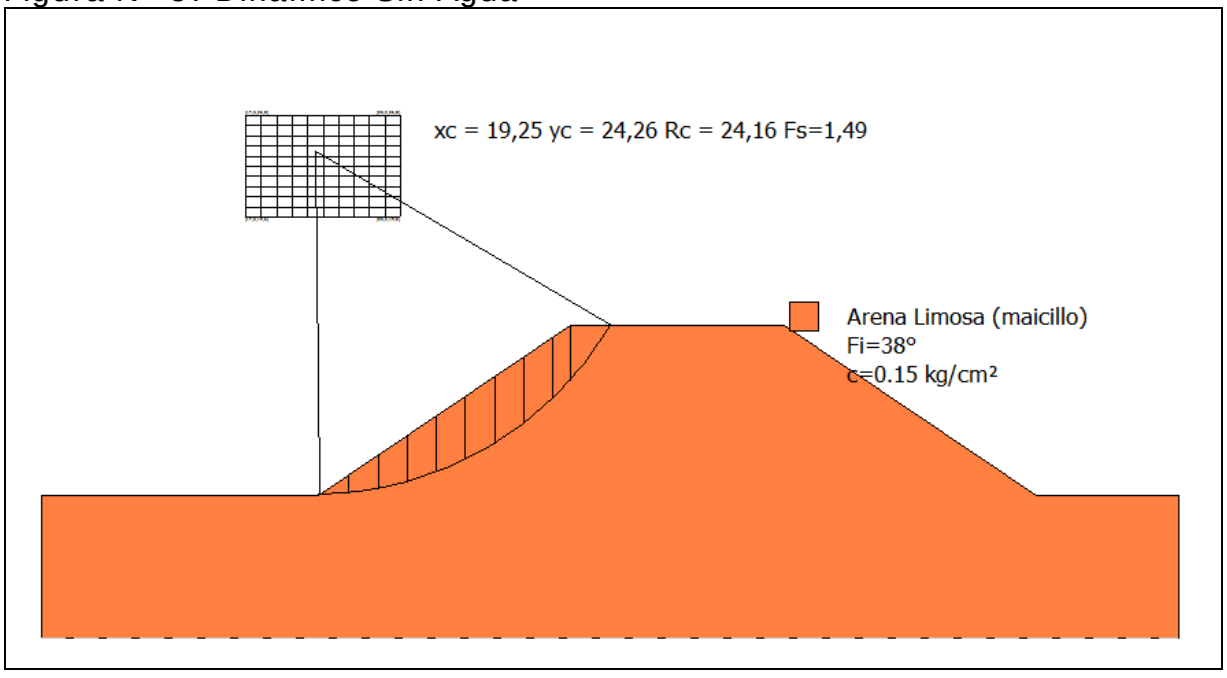


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) Al momento de la visita al tranque la mayoría de las grietas habían desaparecido, aunque aún quedaban rastros de ellas. Esto demuestra que no se efectuaron reparaciones.

ii) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

iii) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados, **excepto el caso estático con vaciamiento rápido.**

Este embalse, al parecer, no ha sido reparado, de modo que es necesario insistir en que se presente un proyecto de reparaciones específico para este tranque, y que a su vez, sea reparado.

7.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 7-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
Nombre del Embalse		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Las Cenizas	Arena Limosa con Gravas	89,4	0	29,8	5	12,0	60,0	Si

7.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 7-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	Caudal
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		(m3/s)
Nombre del Embalse	Vertedero	Obra y Tipo de Vertedero	L	h	H	B	i	n	a	m	D	Q
Las Cenizas	Lateral	Canal de Tierra		3		12	0,002	0,035				**73,02**

7.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Las Cenizas, V Región

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** **g** es decir, **392,00** cm/seg2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 (sismo intraplaca)

R= **150** **km**

M= **8,019**

A= **392,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **33,2** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,6
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	0,6

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	0,8
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor**

		adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 73,02 m3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,336 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 24,53 m3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	35,091	
0,002 (T= 500 años)	39,285	0,95
0,001 (T= 1.000 años)	43,480	

Como la capacidad efectiva es de 24,53 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 500 años (embalse tipo B), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 47 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,021.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	0,3

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,021 (T= 47 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,6
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,03 x 0,6 x 1,0= 1,8 %

8. EMBALSE EL RECREO

8.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse El Recreo.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	El Recreo	Nº de ficha	3
Propietario	Hernán Cueto Molina, Agrícola El Recreo	Fecha (dd/mm/año)	29/8/2014; 17:00 hrs.
	Camino Marga Marga S/N Fundo El Recreo,		
	comuna de Quilpué, casilla 307, Quilpué		
Año de construcción	Aprox. 100 años de antigüedad	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Cuenca / Código DGA	Cost. Entre Aconcagua y Maipo/055	Capacidad > 50.000 m3	si
Subcuenca / Código DGA	Estero Marga Marga/0550	Altura del muro > 5 m	si
Fuente del recurso	Cuenca aportante Estero Moscoso		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	V Región de Valparaíso	
Provincia	Marga Marga	
Comuna	Villa Alemana	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.336.749	E = 277.811
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	184 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	250 m
Ancho del coronamiento	3 m
Desarrollo del talud aguas abajo	20 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	No apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	28 °
Ángulo talud de aguas arriba	23 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	41.920
Profundidad máxima de agua en sector del muro	No medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	56.000
Ancho máximo de la poza (m)	280
Largo de la poza (m)	430
Volumen declarado o proyectado (m3)	1.860.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Muro de tierra con ancho de coronamiento variable
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Taludes irregulares
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, de no más de 0,2 m
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	Podría haber algo, se observa cambio de ángulo de talud)
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se apreciaron
Tipo de revestimiento del muro	No tiene

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Lateral, canal irregular
Material constructivo	Tierra
Estado de conservación y operatividad	Regular
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	L = 7 m ; H = 3 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	No dispone
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

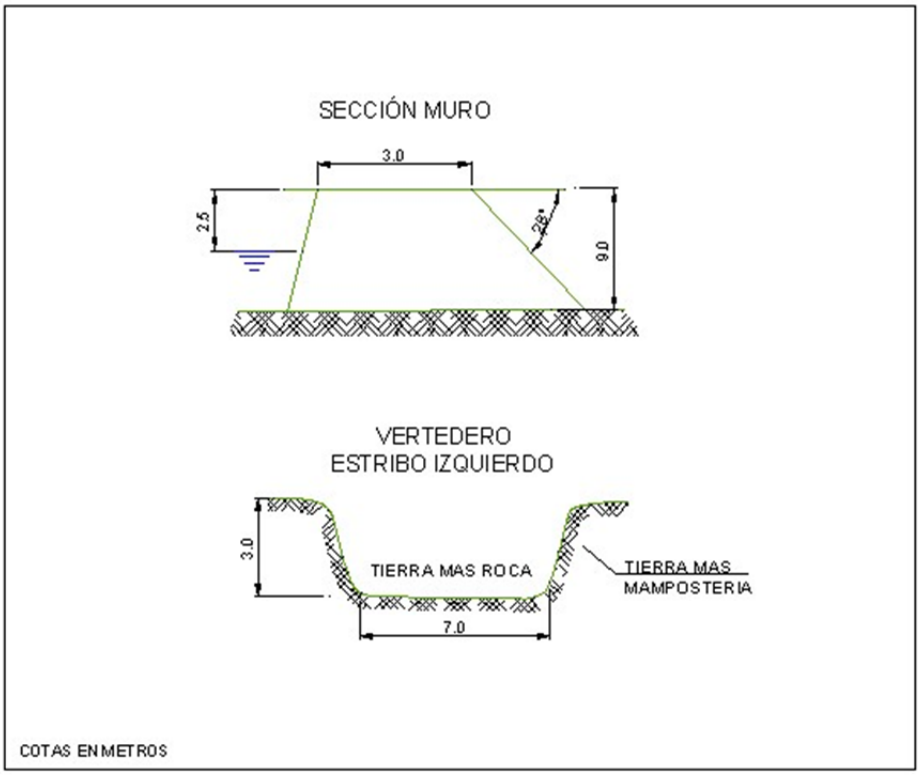
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente	Estero natural semiboscoso, i= 0,01, ancho medio 15 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1,3 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,4 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media
Distancia hacia zonas agrícolas	1,7 km
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	100 m desde cauce hasta Ruta F-50
Área de riego servida por el tranque analizado	1,7 km

11. OBSERVACIONES

Embalse que aparentemente no fue reparado
Está en buenas condiciones

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE EL RECREO N° 3



EMBALSE EL RECREO (3)

TALUD AGUAS ARRIBA

CORONAMIENTO

VERTEDERO

ENSAYO PENETRÓMETRO

8.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse El Recreo, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado el embalse corresponden a arena limosa (tipo maicillo), de color café claro. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los que se encuentran naturalmente en el sector, es decir, arenas limosas tipo maicillo con gravas dispersas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es baja.

El muro del tranque El Recreo sufrió daños debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. Al momento de la visita se pudo observar que no existen grietas visibles en el muro, aunque si se aprecian algunos desniveles en el coronamiento, así como cárcavas en los taludes debido al escurrimiento de aguas lluvias y al paso de animales. Para el nivel de aguas existente no se apreciaron filtraciones. Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud del muro 250 m; ancho de coronamiento 3 m; inclinación talud aguas arriba 23°; altura talud aguas arriba hasta el nivel del agua 2.5 m; inclinación talud aguas abajo 28°; altura talud aguas abajo 9 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

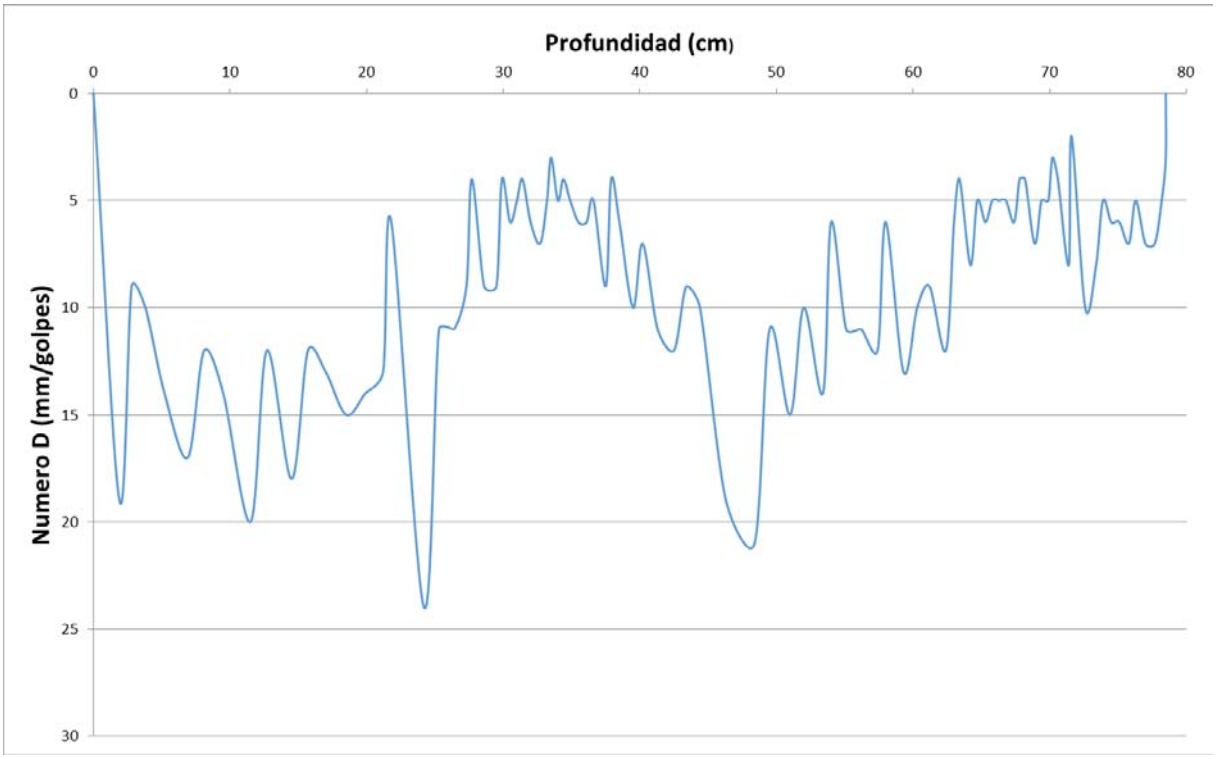
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse El Recreo

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1,9	105	124	19	9,7	41	39,5	490	500	10	21,9	81	73,4	831	839	8	29,0
2	2,8	124	133	9	25,0	42	40,2	500	507	7	34,3	82	73,9	839	844	5	52,4
3	3,8	133	143	10	21,9	43	41,3	507	518	11	19,4	83	74,5	844	850	6	41,6
4	5,2	143	157	14	14,3	44	42,5	518	530	12	17,4	84	75,1	850	856	6	41,6
5	6,9	157	174	17	11,2	45	43,4	530	539	9	25,0	85	75,8	856	863	7	34,3
6	8,1	174	186	12	17,4	46	44,4	539	549	10	21,9	86	76,3	863	868	5	52,4
7	9,5	186	200	14	14,3	47	46,3	549	568	19	9,7	87	77,0	868	875	7	34,3
8	11,5	200	220	20	9,1	48	48,4	568	589	21	8,6	88	77,7	875	882	7	34,3
9	12,7	220	232	12	17,4	49	49,5	589	600	11	19,4	89	78,2	882	887	5	52,4
10	14,5	232	250	18	10,4	50	51,0	600	615	15	13,1	90	78,5	887	890	3	99,7
11	15,7	250	262	12	17,4	51	52,0	615	625	10	21,9	91	78,5	890	890	0	0,0
12	17,0	262	275	13	15,7	52	53,4	625	639	14	14,3						
13	18,5	275	290	15	13,1	53	54,0	639	645	6	41,6						
14	19,9	290	304	14	14,3	54	55,1	645	656	11	19,4						
15	21,2	304	317	13	15,7	55	56,2	656	667	11	19,4						
16	21,8	317	323	6	41,6	56	57,4	667	679	12	17,4						
17	24,2	323	347	24	7,3	57	58,0	679	685	6	41,6						
18	25,3	347	358	11	19,4	58	59,3	685	698	13	15,7						
19	26,4	358	369	11	19,4	59	60,3	698	708	10	21,9						
20	27,3	369	378	9	25,0	60	61,2	708	717	9	25,0						
21	27,7	378	382	4	69,4	61	62,4	717	729	12	17,4						
22	28,6	382	391	9	25,0	62	63,0	729	735	6	41,6						
23	29,5	391	400	9	25,0	63	63,4	735	739	4	69,4						
24	29,9	400	404	4	69,4	64	64,2	739	747	8	29,0						
25	30,5	404	410	6	41,6	65	64,7	747	752	5	52,4						
26	31,0	410	415	5	52,4	66	65,3	752	758	6	41,6						
27	31,4	415	419	4	69,4	67	65,8	758	763	5	52,4						
28	32,0	419	425	6	41,6	68	66,3	763	768	5	52,4						
29	32,7	425	432	7	34,3	69	66,8	768	773	5	52,4						
30	33,2	432	437	5	52,4	70	67,4	773	779	6	41,6						
31	33,5	437	440	3	99,7	71	67,8	779	783	4	69,4						
32	34,0	440	445	5	52,4	72	68,2	783	787	4	69,4						
33	34,4	445	449	4	69,4	73	68,9	787	794	7	34,3						
34	34,9	449	454	5	52,4	74	69,4	794	799	5	52,4						
35	35,5	454	460	6	41,6	75	69,9	799	804	5	52,4						
36	36,1	460	466	6	41,6	76	70,2	804	807	3	99,7						
37	36,6	466	471	5	52,4	77	70,6	807	811	4	69,4						
38	37,5	471	480	9	25,0	78	71,4	811	819	8	29,0						
39	37,9	480	484	4	69,4	79	71,6	819	821	2	166,2						
40	38,5	484	490	6	41,6	80	72,6	821	831	10	21,9						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el muro del tranque presenta una compacidad media a alta, ya que como se puede apreciar en el gráfico, la curva del índice de penetración presenta tanto valores medios, hasta los 0.2 metros de profundidad (D entre 10 y 20 mm/golpe), para ir subiendo hasta llegar a valores de entre 5 y 10 mm/golpe a los 0.8 metros de profundidad.

8.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Ubicado en la comuna de Villa Alemana, provincia del Marga Marga, Región de Valparaíso, el embalse El Recreo se emplaza al sur de dicha comuna.

Para llegar al embalse El Recreo desde Santiago, se puede tomar la ruta 68 en dirección a la costa, para luego empalmar la ruta F-50 (camino Lo Orozco, pasado Casablanca) hacia el norte. Continuando por este camino, en el cruce con la ruta F-560 se encuentra el embalse Las Cenizas.

Desde la costa, se puede llegar a través de la autopista Troncal Sur (ruta CH-60) en dirección oriente, para luego tomar la ruta F-560 hacia el sur.

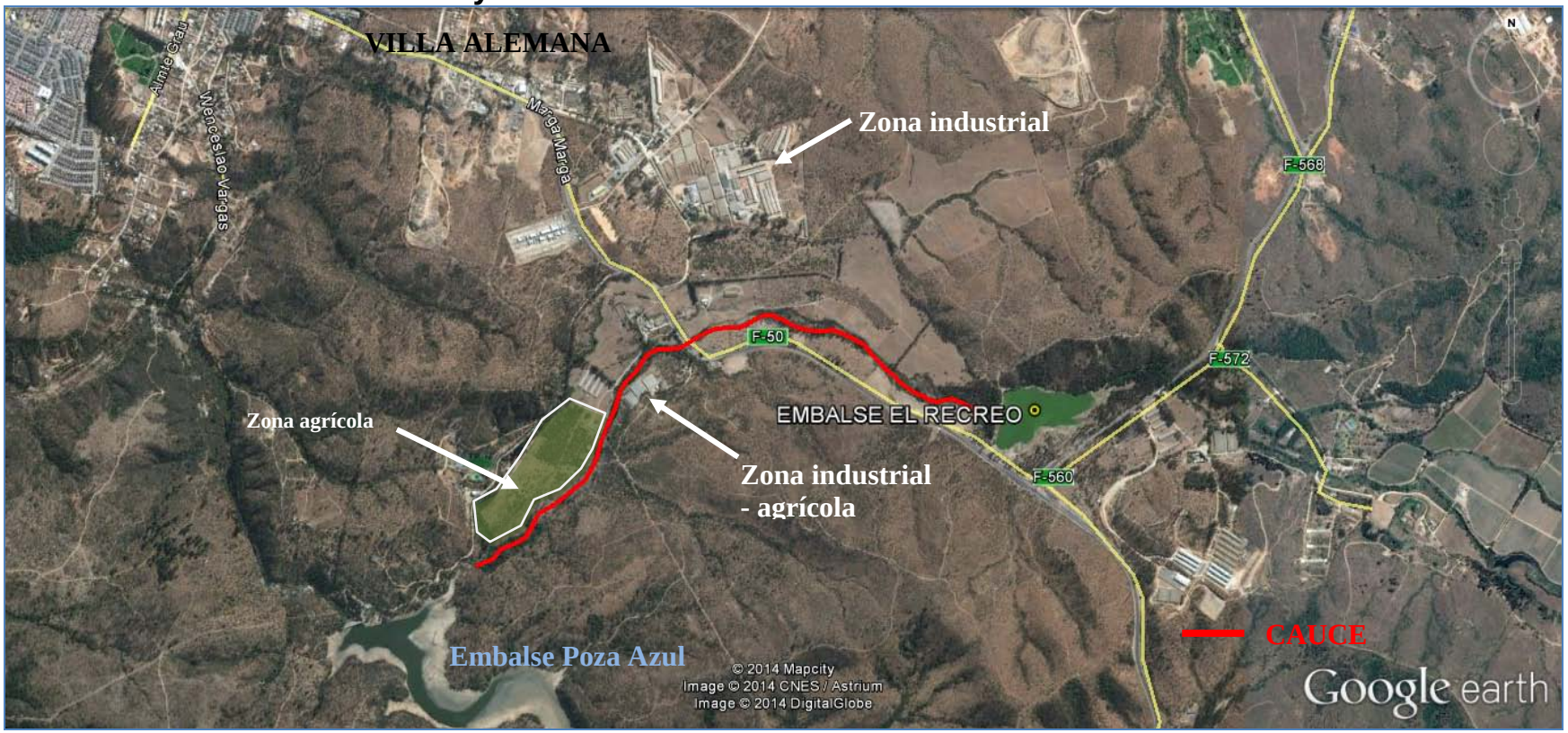
En referencia a su cauce aguas abajo, este corresponde a un estero natural de pendiente media 1,06%, y alta densidad vegetal en ambas riberas, en su primer kilómetro de desarrollo; la longitud de este curso es del orden de los 2,64km, interceptando en su recorrido a la ruta F-50 en su km 1+300, infraestructura importante, ya que da conectividad directa con la ruta 68 y la autopista Troncal Sur.

Es importante señalar que en su punto de término, el cauce analizado descarga parte de sus aguas al embalse Poza Azul, ubicado al sur poniente del embalse El Recreo.

En cuanto a zonas pobladas potencialmente en riesgo por falla del embalse, directamente no se encuentran zonas de densidad poblacional media o alta; no obstante, colindantes al lecho del cauce en estudio, se pueden observar tanto zonas agrícolas como recintos industriales, por lo que la densidad poblacional es media (estimada conservadoramente).

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse El Recreo respecto a infraestructura urbana, agrícola e industrial.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse El Recreo y Zonas e Infraestructuras Aledañas



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse El Recreo:

CUADRO 8-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE EL RECREO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		El Recreo	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Estero Natural	---
	Tipo de Terreno	Semi-boscoso	---
	Pendiente Media	0,0106	m/m
	Ancho medio	15	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	1,31	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,439	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,1	km
	Zonas Agrícolas	1,67	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Media	---

8.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
El Recreo	20,728	11,379	933	203	730

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
1,245	1,289	3,267	2,256

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 8-2 siguiente.

CUADRO 8-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
3 Embalse El Recreo	**2**	10,55	2,54	1,58	16,07	18,15	17,11	18,15
	5	32,81	9,08	5,14	27,31	30,66	28,98	32,81
	10	58,59	13,88	7,49	35,59	39,64	37,61	58,59
	20	94,33	19,62	10,18	46,40	48,63	47,51	94,33
	25	108,97	22,16	11,35	48,78	51,67	50,23	108,97
	50	162,29	29,72	14,73	59,85	60,85	60,35	162,29
	100	232,60	39,96	19,23	73,43	70,38	71,90	232,60
	250	253,34	45,21	22,03	83,78	82,35	83,07	253,34
	500	291,86	51,65	25,07	93,80	91,55	92,68	291,86
	1000	330,38	58,09	28,10	103,81	100,76	102,29	330,38

8.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse El Recreo fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
El Recreo	Arena limosa (maicillo)	38	0,15	1,85	9	23	28	3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.15
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.61
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.66

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.43
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.86

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

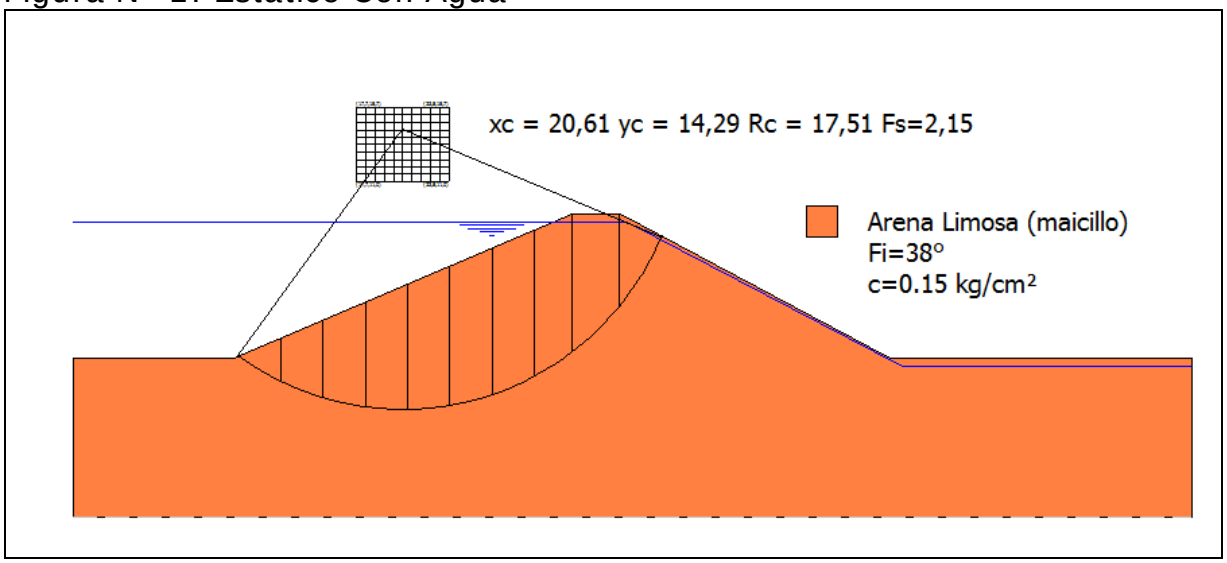


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

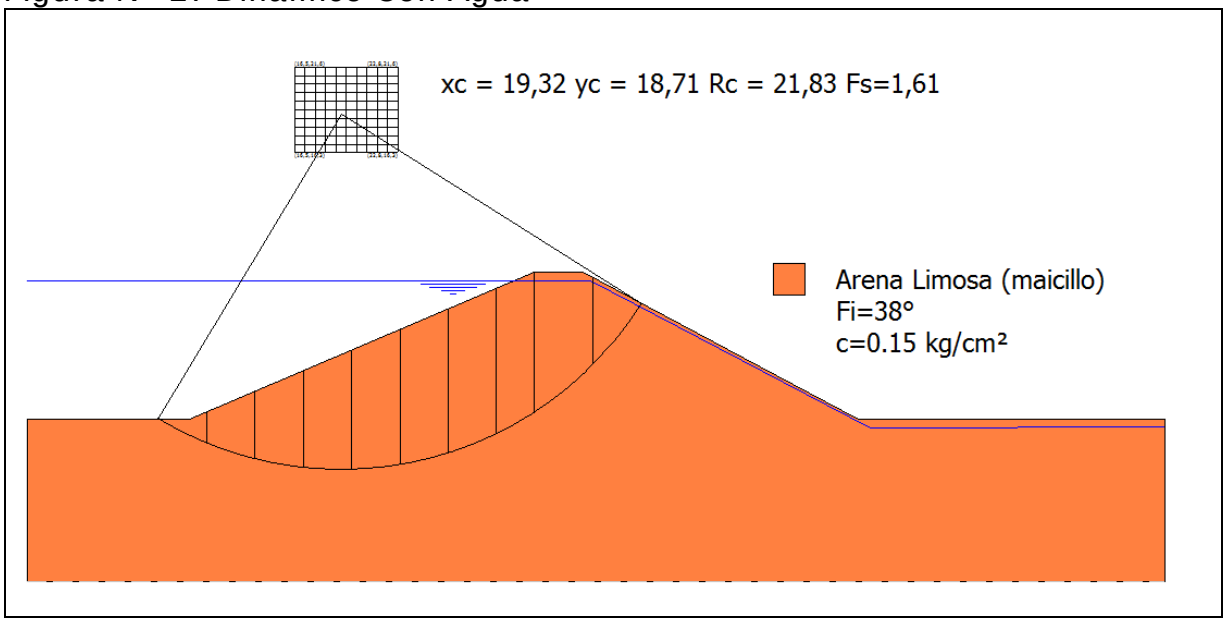
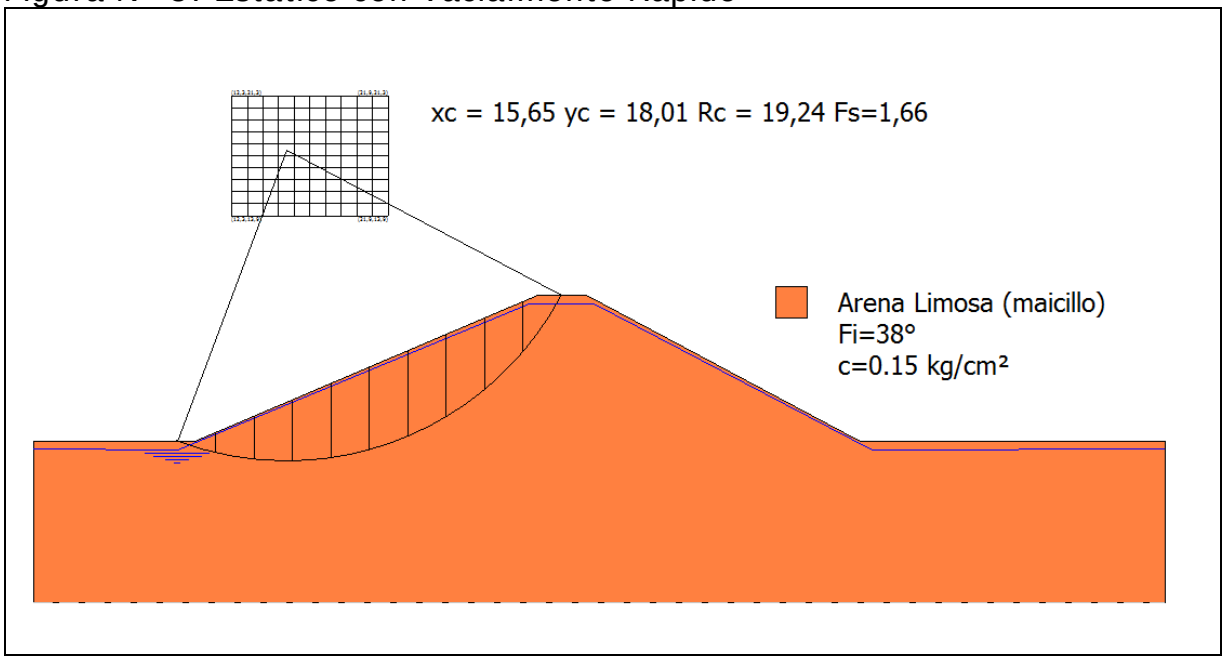


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

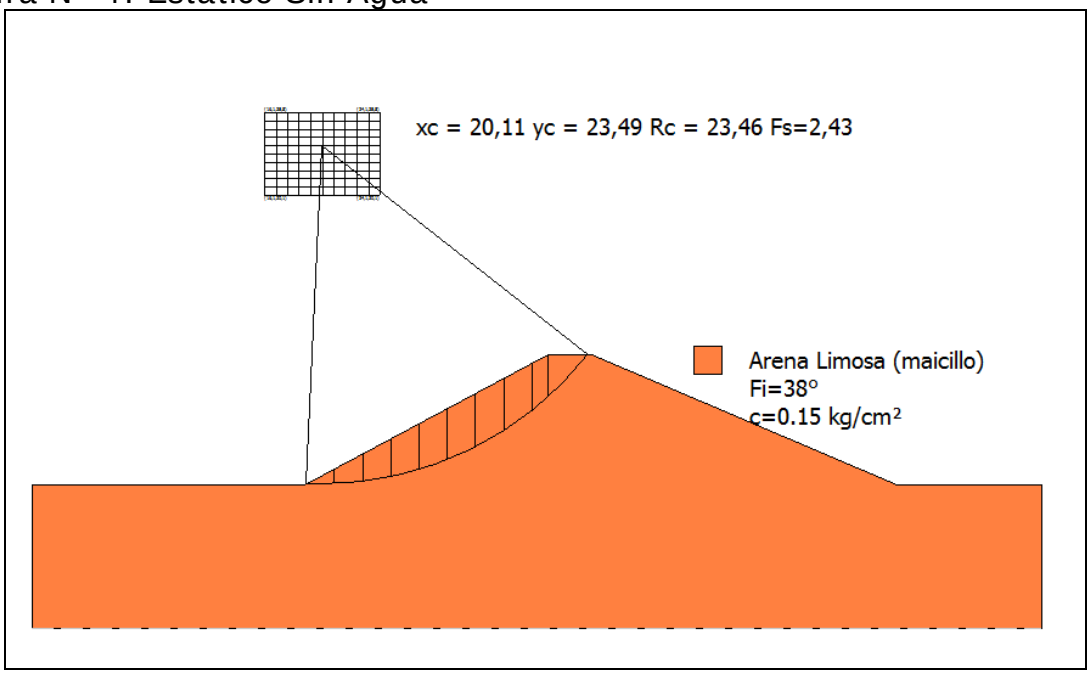
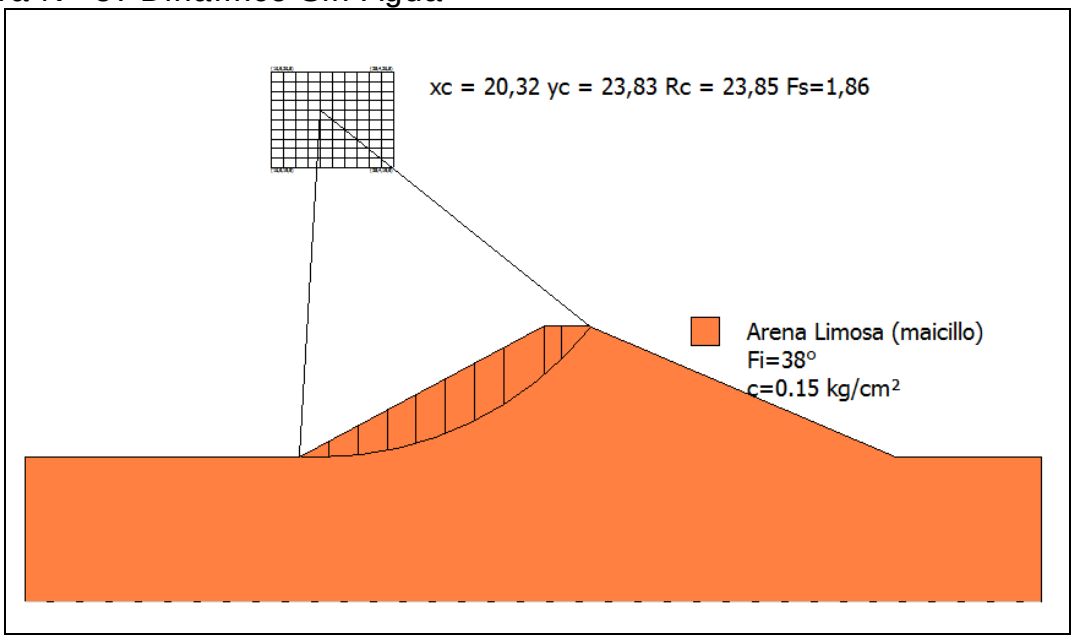


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) Al momento de la visita se observó que no existen grietas visibles en el muro. Sí se aprecian algunos desniveles en el coronamiento, así como cárcavas en los taludes debido al escurrimiento de aguas lluvias y al paso de animales.

ii) Para el nivel de aguas existentes al momento de la visita no se apreciaron filtraciones.

iii) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

iv) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados.

v) Aparentemente el muro del embalse El Recreo no fue sometido a reparaciones. Se recomienda insistir en solicitar que se efectúe un proyecto para reparar el muro.

8.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 8-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
El Recreo	Arena Limosa	36,9	0	12,3	5	9,0	45,0	Si

8.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 8-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	Caudal
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		(m3/s)
Nombre del Embalse	Vertedero	Obra y Tipo de Vertedero	L	h	H	B	i	n	a	m	D	Q
El Recreo	Lateral	Canal Tierra más mampostería		3		7	0,002	0,03				**43,10**

8.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: El Recreo, V Región

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** **g** es decir, **392,00** cm/seg2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **8,019**

A= **392,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **33,2** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	0,6

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	0,8
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 43,1 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,336 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 14,5 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	83,066	
0,002 (T= 500 años)	92,676	0,95
0,001 (T= 1.000 años)	102,286	

Como la capacidad efectiva es de 14,5 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 500 años (embalse tipo B), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 1,3 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,75.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	0,3

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,75 (T= 1,3 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,75
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,75 x 0,95 x 1,0= 71 %

9. EMBALSE EL CAJÓN

9.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse El Cajón.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	El Cajón	Nº de ficha	4
Propietario	Agrícola San Juan Marín y Cía Ltda.	Fecha (dd/mm/año)	4/9/2014; 9:30 hrs
	Fundo Lo Orosco S/N, Casablanca		
Año de construcción	Más de 100 años de antigüedad	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Cost. Entre Aconcagua y Maipo/055		
Subcuenca / Código DGA	E.Casablanca y E.San Jeronimo/0552		
Fuente del recurso	Cuenca aportante		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	V Región de Valparaíso	
Provincia	Valparaíso	
Comuna	Casablanca	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.318,935	E = 275.508
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud	316 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	220 m
Ancho del coronamiento (m)	3 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	17 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	No apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	33 °
Ángulo talud de aguas arriba	34 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	9
Profundidad máxima de agua en sector del muro	No medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	16.000
Ancho máximo de la poza (m)	218
Largo de la poza (m)	130
Volumen declarado o proyectado (m3)	80.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Irregular
Compacidad del material estructural	Baja
Uniformidad de los taludes	Irregular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, de 0,4 m aprox.
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	Posiblemente
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Posiblemente, no es posible apreciar
Tipo de revestimiento del muro	No tiene

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada	X	Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Lateral
Material constructivo	Hormigón armado
Estado de conservación y operatividad	Regular y operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	L = 7 m, 1,2 m de altura, carga máxima 0,8 m aprox.

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Dos aducciones controladas por válvulas. Tomas corresponden a agujero de aprox. 15 cm de diámetro. Primera obra de descarga corresponde a válvula de compuerta que da a canal rectangular de tierra.
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativa

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL

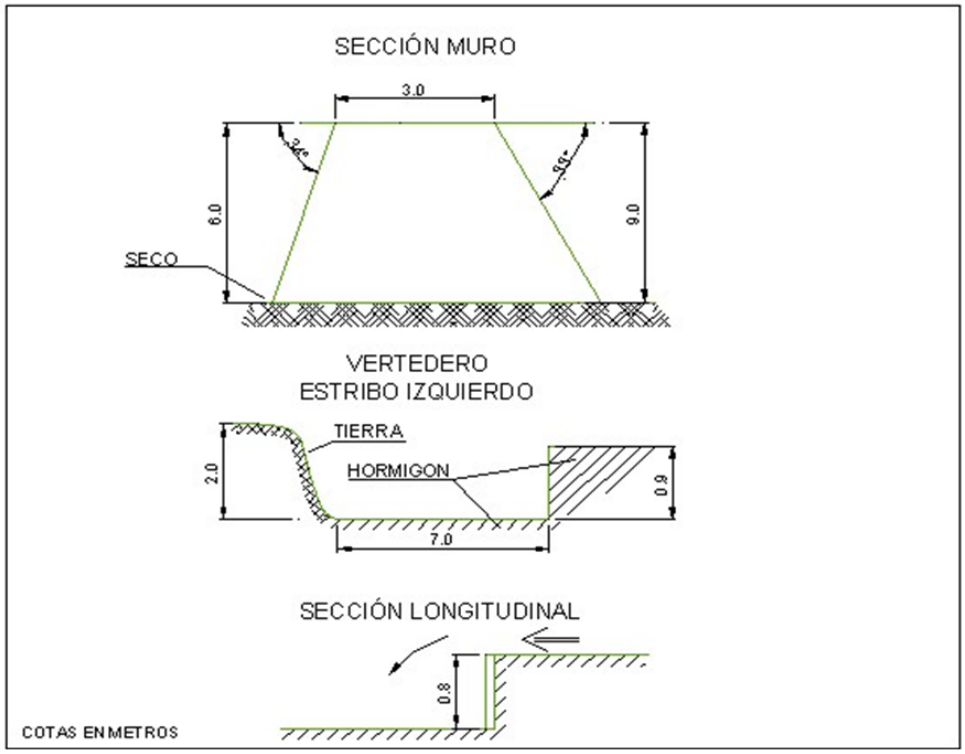
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno,	Estero natural boscoso, i= 0,018, ancho medio 10 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	280 m
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	Al costado del cauce
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media
Distancia hacia zonas agrícolas	0,5 km
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,4 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

La única reparación que se hizo fue la obra de captación, nada más
Se señaló que se había presentado un informe hecho por el ingeniero Jaime Huidobro a la DGA, pero que se había perdido en la DGA (¿?)
El embalse se encuentra seco

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE EL CAJÓN N° 4



EMBALSE EL CAJÓN (4)

CORONAMIENTO MURO

TALUD DE AGUAS ABAJO

TALUD DE AGUAS ARRIBA

VERTEDERO

ENSAYO PENETRÓMETRO Y SECTOR CORONAMIENTO

9.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse El Cajón, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado el embalse corresponden a arena limo arcillosa, de color café claro. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los que se encuentran naturalmente en el sector, es decir, arenas limo arcillosas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque El Cajón sufrió daños importantes debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. Al momento de la visita se pudo observar que no existen grietas visibles en el muro, aunque si se aprecian algunos desniveles en el coronamiento y protuberancias en el talud de aguas arriba. Para el nivel de aguas existente (embalse vació) no se apreciaron filtraciones.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud del muro 220 m; ancho de coronamiento 3 m; inclinación talud aguas arriba 34°; altura talud aguas arriba hasta el nivel de suelo natural 6 m; inclinación talud aguas abajo 33°; altura talud aguas abajo 9 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

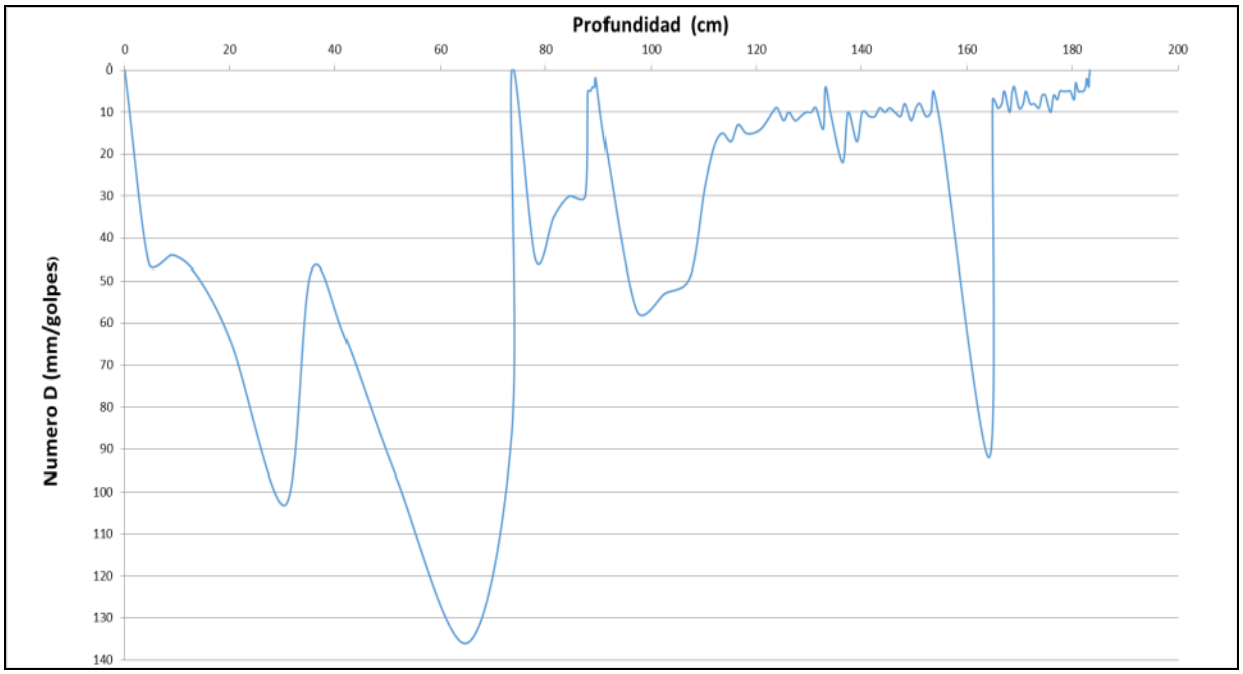
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse El Cajon

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	4,6	124	170	46	3,2	41	130,5	405	415	10	21,9	81	175,9	772	782	10	21,9
2	9,0	170	214	44	3,4	42	131,4	415	424	9	25,0	82	176,5	782	788	6	41,6
3	13,9	214	263	49	3,0	43	132,8	424	438	14	14,3	83	177,2	788	795	7	34,3
4	20,4	263	328	65	2,1	44	133,2	438	442	4	69,4	84	177,7	795	800	5	52,4
5	30,7	328	431	103	1,2	45	134,3	442	453	11	19,4	85	178,2	800	805	5	52,4
6	35,5	431	479	48	3,0	46	136,5	453	475	22	8,1	86	178,7	805	810	5	52,4
7	41,8	479	542	63	2,2	47	137,5	475	485	10	21,9	87	179,2	810	815	5	52,4
8	51,4	542	638	96	1,3	48	139,2	485	502	17	11,2	88	179,7	815	820	5	52,4
9	65,0	638	774	136	0,8	49	140,2	502	512	10	21,9	89	180,4	820	827	7	34,3
10	73,6	774	860	86	1,5	50	141,3	512	523	11	19,4	90	180,7	827	830	3	99,7
11	73,6	860	860	0	0,0	51	142,4	523	534	11	19,4	91	181,2	830	835	5	52,4
12	78,1	50	95	45	3,3	52	143,3	534	543	9	25,0	92	181,7	835	840	5	52,4
13	81,6	95	130	35	4,5	53	144,3	543	553	10	21,9	93	182,2	840	845	5	52,4
14	84,6	130	160	30	5,5	54	145,2	553	562	9	25,0	94	182,6	845	849	4	69,4
15	87,6	160	190	30	5,5	55	146,2	562	572	10	21,9	95	182,8	849	851	2	166,2
16	88,1	190	195	5	52,4	56	147,3	572	583	11	19,4	96	183,2	851	855	4	69,4
17	88,6	195	200	5	52,4	57	148,1	583	591	8	29,0	97	183,3	855	856	1	398,1
18	89,0	200	204	4	69,4	58	149,3	591	603	12	17,4	98	183,4	856	857	1	398,1
19	89,4	0	4	4	69,4	59	150,2	603	612	9	25,0	99	183,4	857	857	0	0,0
20	89,6	4	6	2	166,2	60	151,0	612	620	8	29,0	100	183,4	857	857	0	0,0
21	91,5	6	25	19	9,7	61	152,1	620	631	11	19,4						
22	97,2	25	82	57	2,4	62	153,1	631	641	10	21,9						
23	102,5	82	135	53	2,7	63	153,6	641	646	5	52,4						
24	107,4	135	184	49	3,0	64	155,0	646	660	14	14,3						
25	110,2	184	212	28	6,0	65	164,2	660	752	92	1,3						
26	112,0	212	230	18	10,4	66	164,9	665	672	7	34,3						
27	113,5	230	245	15	13,1	67	165,8	672	681	9	25,0						
28	115,2	245	262	17	11,2	68	166,6	681	689	8	29,0						
29	116,5	262	275	13	15,7	69	167,1	689	694	5	52,4						
30	118,0	275	290	15	13,1	70	168,1	694	704	10	21,9						
31	119,5	290	305	15	13,1	71	168,6	704	709	5	52,4						
32	120,9	305	319	14	14,3	72	169,0	709	713	4	69,4						
33	122,1	319	331	12	17,4	73	169,9	713	722	9	25,0						
34	123,1	331	341	10	21,9	74	170,7	722	730	8	29,0						
35	124,0	341	350	9	25,0	75	171,2	730	735	5	52,4						
36	125,2	350	362	12	17,4	76	172,0	735	743	8	29,0						
37	126,2	362	372	10	21,9	77	172,8	743	751	8	29,0						
38	127,4	372	384	12	17,4	78	173,7	751	760	9	25,0						
39	128,5	384	395	11	19,4	79	174,3	760	766	6	41,6						
40	129,5	395	405	10	21,9	80	174,9	766	772	6	41,6						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el muro de tranque presenta una compacidad bastante baja hasta los 0.7 m de profundidad (D entre 50 y 135 mm/golpe). Bajo este nivel la compacidad comienza a mejorar, llegando a partir de 1.4 metros de profundidad a valores menores a 10 mm/golpe, valor que puede considerarse como de compacidad de media a alta o también que se ha topado con una piedra u otro obstáculo.

9.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Ubicado en la comuna de Casablanca, provincia de Valparaíso, el embalse El Cajón se emplaza al nororiente de dicha comuna y sirve para la acumulación de recursos hídricos para fines agrícolas.

Para llegar al embalse El Recreo desde Santiago, se puede tomar la ruta 68 en dirección a la costa, para luego empalmar la ruta F-50 (camino Lo Orozco, pasado Casablanca) hacia el norte. Continuando por este camino, a la altura del embalse Lo Orozco, se debe tomar un camino privado de ripio en dirección suroriente, camino que lleva directo al embalse El Cajón.

En referencia a su cauce aguas abajo, este corresponde a un estero natural de pendiente media 1,78%, y alta densidad vegetal en ambas riberas; la longitud de este curso es del orden de los 0,281km, interceptando al final de su recorrido al primer asentamiento humano, de baja densidad poblacional. Aguas abajo de esta zona poblada, a una distancia radial aproximada de 1,33km respecto del muro del embalse, se encuentra al borde de la ruta F-50 otro sector poblado, pero de mayor densidad.

En su conjunto, la zona habitada aguas abajo del embalse constituye una densidad poblacional media.

En referencia a otras zonas, sectores expuestos o infraestructura importante aguas abajo del embalse, se observa lo siguiente:

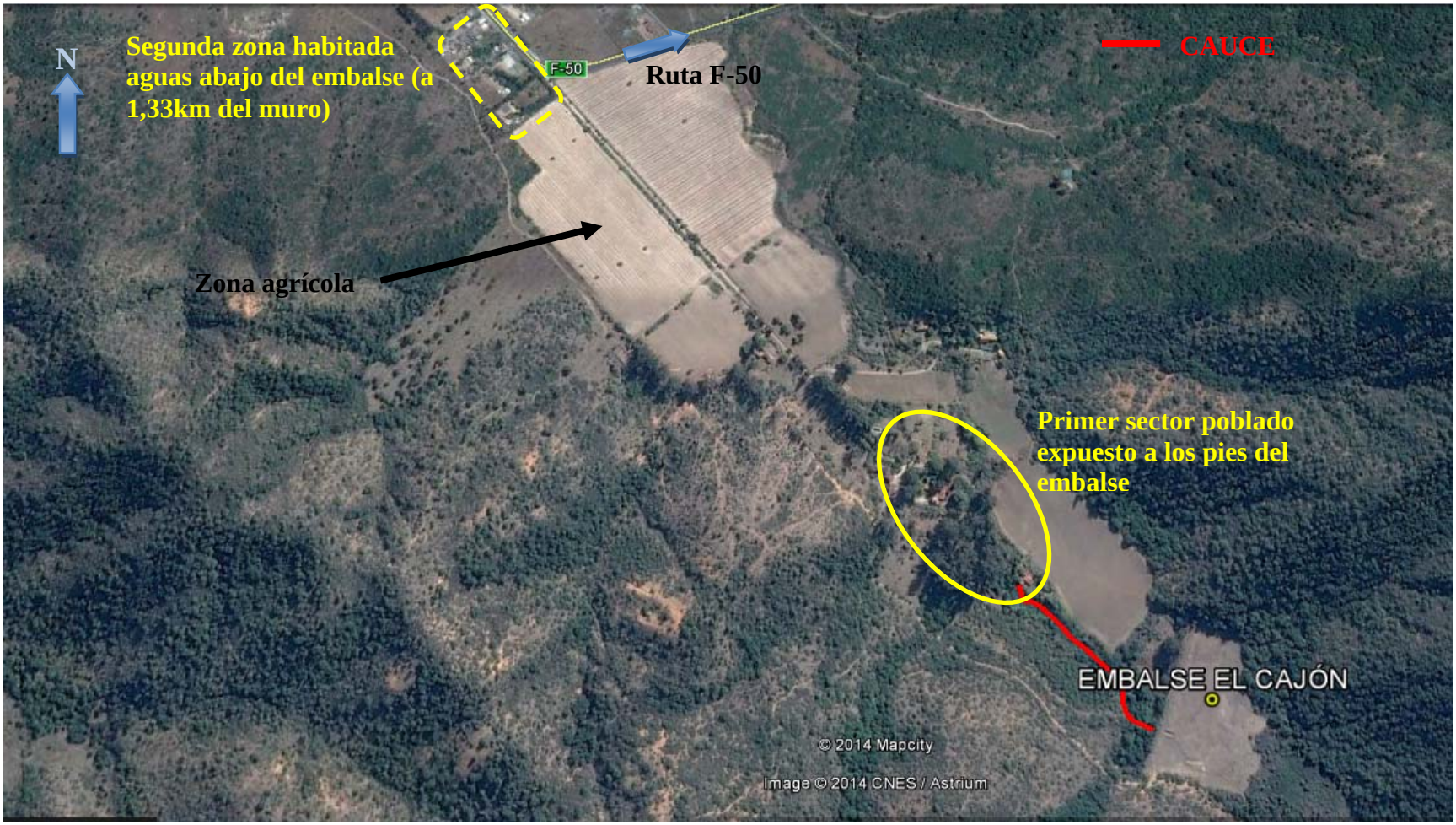
- Zonas agrícolas: se encuentran a una distancia en línea recta de 740m, medida desde el centro del muro del embalse.

- Infraestructura vial u otras importantes: se ubica la ruta F-50 a una distancia en línea recta de 1,37km, medida desde el centro del muro del embalse.

- Zonas industriales u otras relevantes: no hay.

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse El Cajón respecto a su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse El Cajón y Zonas e Infraestructuras Aledañas



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse El Cajón:

CUADRO 9-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS
AGUAS ABAJO – EMBALSE EL CAJÓN

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		El Cajón	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Estero Natural	---
	Tipo de Terreno	Boscoso	---
	Pendiente Media	0,0178	m/m
	Ancho medio	10	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,281	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	Al costado del cauce	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	1,37	km
	Zonas Agrícolas	0,47	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Media	---

9.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
El Cajón	2,911	2,312	675	332	343

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,264	0,281	0,841	0,553

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 9-2 siguiente.

CUADRO 9-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
4 Embalse El Cajón	2	0,67	0,32	0,28	2,90	-	2,90	2,90
	5	2,08	1,14	0,93	4,92	-	4,92	4,92
	10	3,71	1,74	1,35	6,42	-	6,42	6,42
	20	5,97	2,46	1,83	8,36	-	8,36	8,36
	25	6,90	2,78	2,05	8,79	-	8,79	8,79
	50	10,27	3,73	2,66	10,79	-	10,79	10,79
	100	14,73	5,01	3,47	13,24	-	13,24	14,73
	250	16,04	5,67	3,97	15,10	-	15,10	16,04
	500	18,48	6,48	4,52	16,91	-	16,91	18,48
	1000	20,92	7,29	5,07	18,71	-	18,71	20,92

9.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse El Cajón fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
El Cajón	Arena limo arcillosa	28	0,15	1,85	9	34	33	3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.31
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.03
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.06

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.67
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.31

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

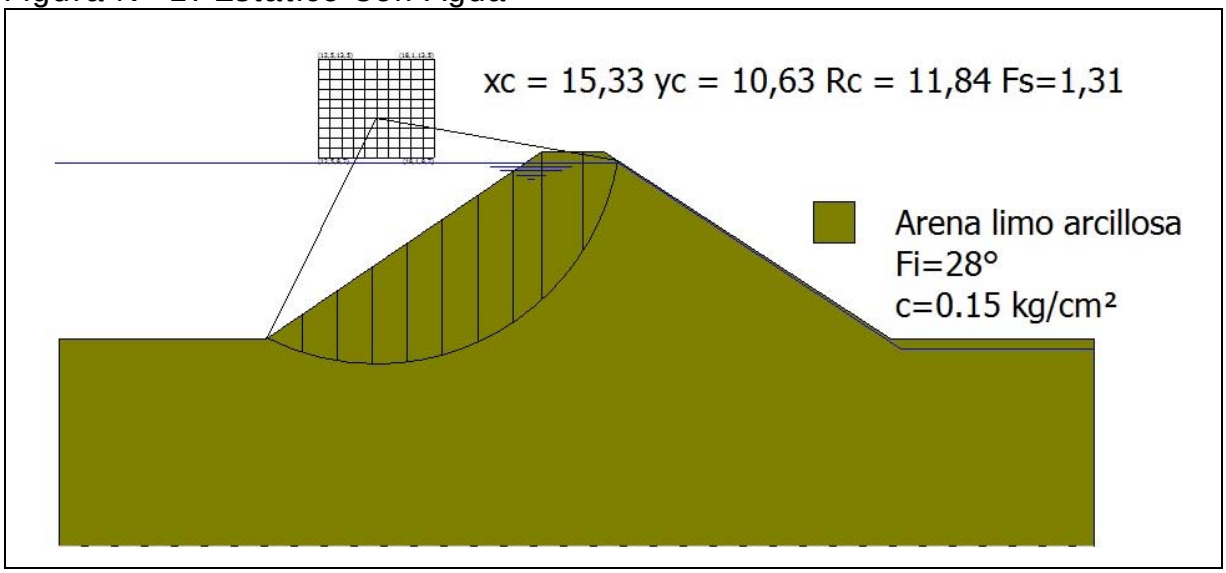


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

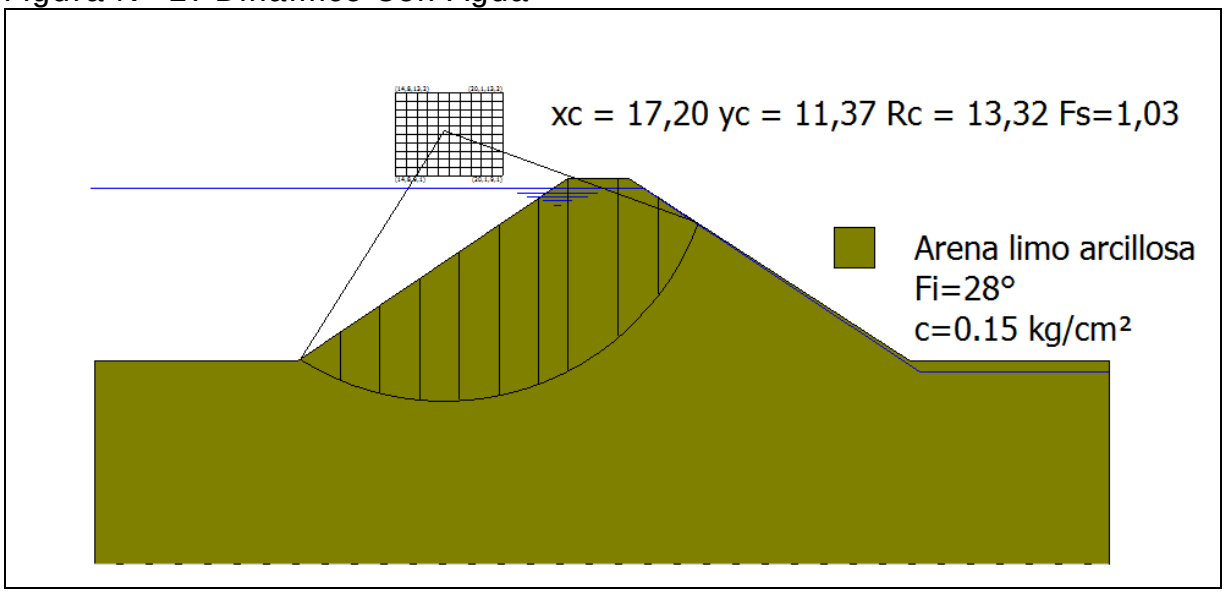
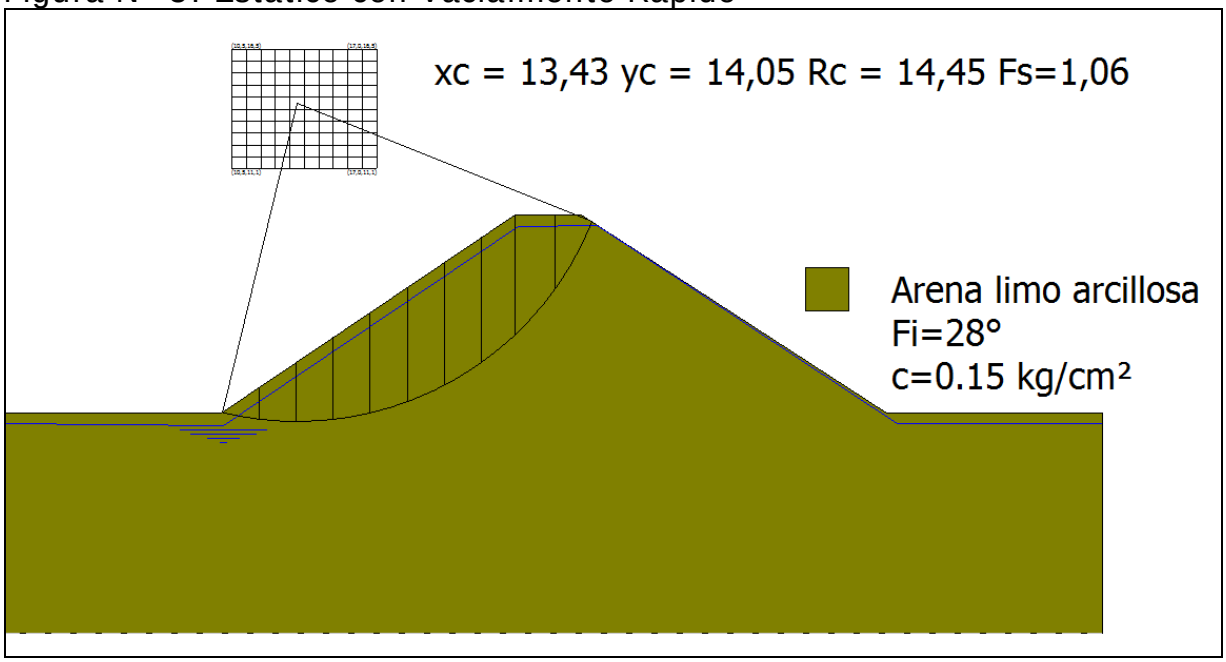


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

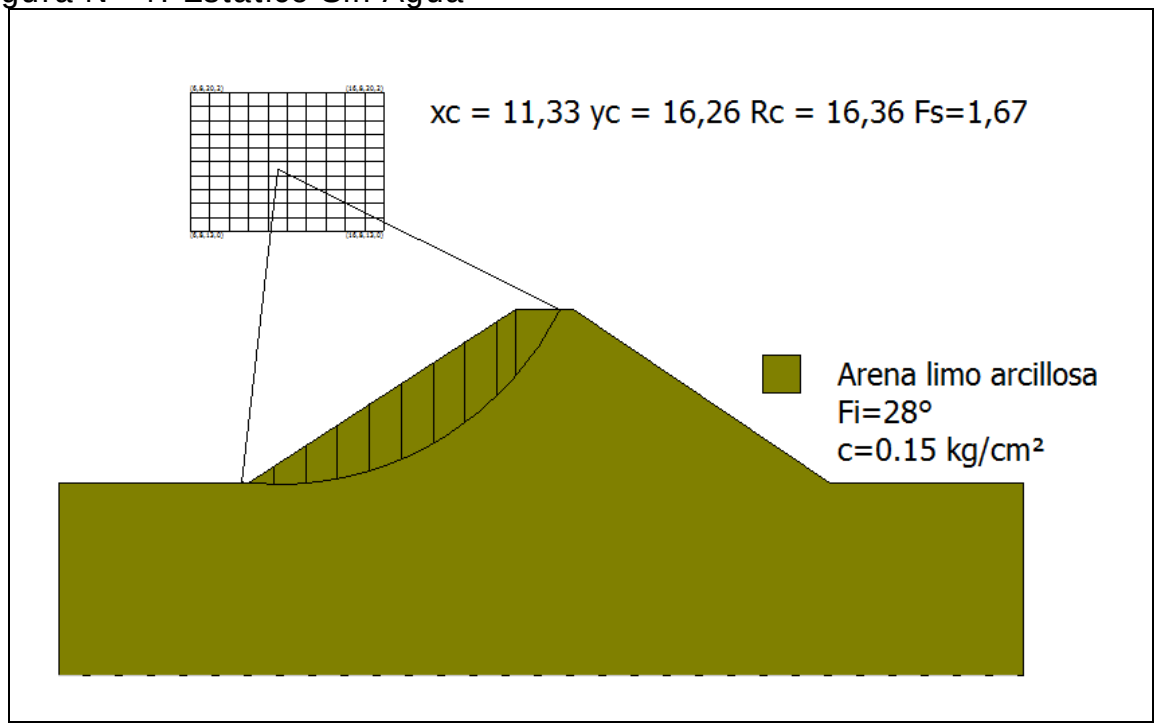
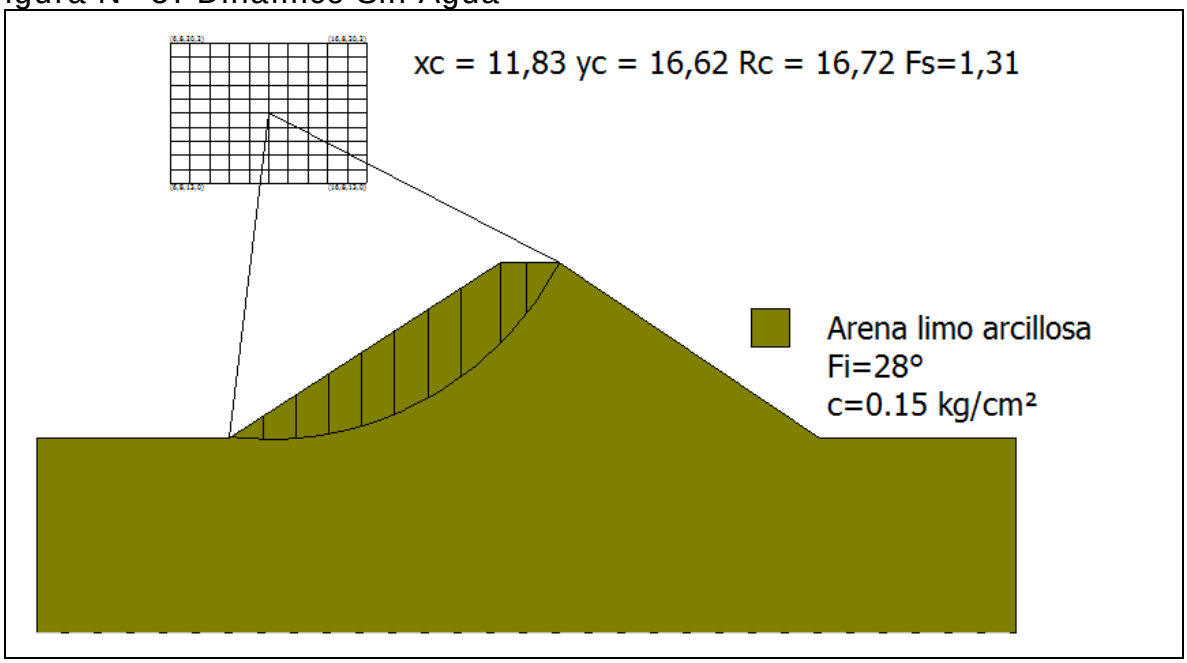


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) Al momento de la visita se pudo observar que no existen grietas visibles en el muro. Sí se aprecian algunos desniveles en el coronamiento y protuberancias en el talud de aguas arriba.

ii) Para el nivel de aguas existentes al momento de la visita (embalse vacío) no se apreciaron filtraciones.

iii) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

iv) Con relación los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

v) Según se pudo apreciar no se han efectuado reparaciones al muro después del terremoto del año 2010. Aparentemente los propietarios han efectuado un estudio pero este no ha sido entregado a la DGA.

vi) Se recomienda que mientras no se entregue un estudio de reparaciones efectuado por un Ingeniero Civil Calificado, este sea aprobado por la DGA y se efectúen las reparaciones proyectadas, no se permita que el tranque El Cajón se llene más allá de la mitad de su altura máxima a nivel de vertedero.

9.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 9-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
El Cajón	Arena Limo Arcillosa	30,0	0	10,0	5	6,0	30,0	Si

9.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 9-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
El Cajón	Lateral	Hormigón, pared gruesa	7	0,9	0,9							**18,78**

9.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores "p" y "V" son independientes por evento, y el valor "E" es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: El Cajón, Casablanca

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** **g** es decir, **392,00** cm/seg2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **8,019**

A= **392,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **33,2** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	Riesgo "p"	Valor adoptado
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	0,95

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	C1	Valor adoptado
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	C2	Valor adoptado
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	0,8
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 18,78 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,56 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 10,52 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	15,102	
0,002 (T= 500 años)	16,907	0,95
0,001 (T= 1.000 años)	18,712	

Como la capacidad efectiva es de 10,52 m3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 47 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,021.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,021 (T= 47 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,03 x 0,95 x 1,0= 2,9 %

10. EMBALSE CAMPO LINDO

10.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Campo Lindo.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	CAMPO LINDO		Nº de ficha	5
Propietario	Carlos Gatica (Sucesión Carlos Gatica Cañas)		Fecha (dd/mm/año)	12-03-2010
	Fundo Campo Lindo S/N, Casablanca			
	Alejandra Gatica, 92218701			
Año de construcción	se desconoce		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO PARCIALMENTE			
Año de reparación				
Cuenca / Código DGA	Cost. Entre Aconcagua y Maipo/055		Capacidad > 50.000 m3	si
Subcuenca / Código DGA	E.Casablanca y E.San Jeronimo/0552		Altura del muro > 5 m	si
Fuente del recurso	Cuenca			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	V REGION DE VALPARAISO
Provincia	Valparaiso
Comuna	Casablanca
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	N:6.319.659 ; E: 286.742
Coordenadas UTM Izq	
Datum	WGS-84, Huso 19
Altitud	349 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	330 m
Ancho del coronamiento	2 a 5 m
Desarrollo del talud aguas abajo	16 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas	No apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	31 °
Ángulo talud de aguas arriba	28 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	8
Profundidad máxima de agua en sector del muro	Seco
Área estimada o calculada de la poza (m2)	60.000
Ancho máximo de la poza (m)	290
Largo de la poza (m)	260
Volumen declarado o proyectado (m3)	500.000

7.A- CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7.B-ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Irregular
Compacidad del material estructural	Media
Uniformidad de los taludes	Irregular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Sí, de 0,5 m
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No
Tipo de revestimiento del muro	Sin revestimiento

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada	X	Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	
Material constructivo	HORMIGÓN
Estado de conservación y operatividad	REGULAR
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	LARGO: 18 m; CARGA MÁXIMA: 0,65 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Hoy hay tubería que se bombea desde la poza de agua que hay
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

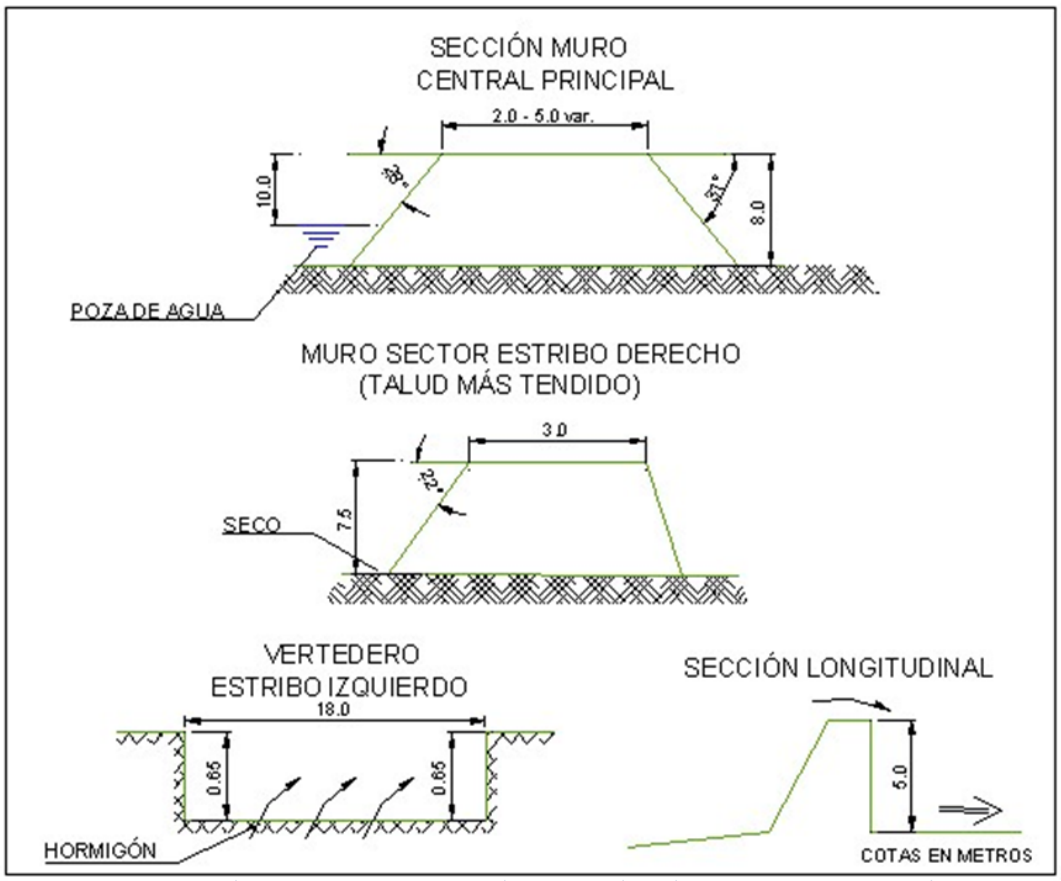
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno,	Estero natural boscoso, i= 0,015, ancho medio 14 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,4 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	100 m
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	100 m
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse seco, sólo hay una pequeña posa de agua desde donde se bombea para el riego de nogales y olivos
Posterior al terremoto se hizo una reparación del muro; se excavó en sector de coronamiento y luego se rellenó y compactó
Se repararon los sectores donde había habido grietas, producidas por el terremoto del 2010

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE CAMPO LINDO N° 5



EMBALSE CAMPO LINDO (5)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ARRIBA (desde otro ángulo)

CORONAMIENTO

VERTEDERO

PRUEBA DE PENETRACIÓN

10.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Campo Lindo, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado el embalse corresponden a arcillas arenosas, de color café claro. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los que se encuentran naturalmente en el sector, es decir, arcillas arenosas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Campo Lindo sufrió daños importantes debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. Al momento de la visita se pudo observar que no existen grietas ni depresiones visibles en el muro. Sin embargo es posible notar que la zona central de éste (la más afectada por el sismo) presenta una inclinación del talud de aguas arriba más tendida que la del resto del muro. Aparentemente esto se debe a que, siendo ésta la zona más dañada por el terremoto, fue sometida a reparaciones, cuyo detalle se desconoce. Para el nivel de aguas existente (embalse vació) no se apreciaron filtraciones.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud del muro 330 m; ancho de coronamiento variable entre 2 y 5 m; inclinación talud aguas arriba 28° en zona antigua y 22° en zona reparada; altura talud aguas arriba hasta el nivel de agua 10 m; inclinación talud aguas abajo 31°; altura talud aguas abajo 10 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

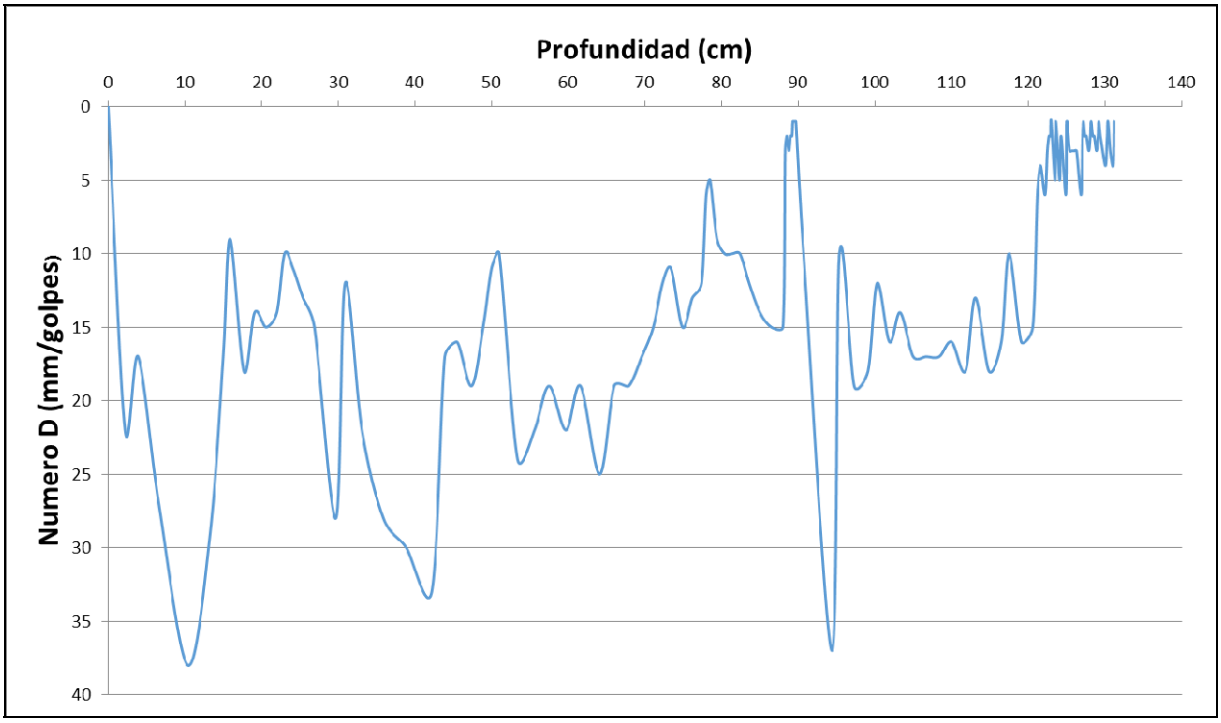
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Campo Lindo

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	2,2	148	170	22	8,1	41	76,2	870	883	13	15,7	81	120,6	320	335	15	13,1
2	3,9	143	160	17	11,2	42	77,4	883	895	12	17,4	82	121,2	335	341	6	41,6
3	6,6	160	187	27	6,3	43	78,0	84	90	6	41,6	83	121,6	341	345	4	69,4
4	10,4	187	225	38	4,1	44	78,5	90	95	5	52,4	84	122,2	345	351	6	41,6
5	13,3	225	254	29	5,7	45	79,4	95	104	9	25,0	85	122,5	351	354	3	99,7
6	15,0	254	271	17	11,2	46	80,4	104	114	10	21,9	86	122,7	354	356	2	166,2
7	15,9	271	280	9	25,0	47	81,4	114	124	10	21,9	87	122,9	356	358	2	166,2
8	17,7	280	298	18	10,4	48	82,4	124	134	10	21,9	88	123,0	358	359	1	398,1
9	19,1	298	312	14	14,3	49	83,6	134	146	12	17,4	89	123,5	359	364	5	52,4
10	20,6	312	327	15	13,1	50	85,0	146	160	14	14,3	90	123,6	364	365	1	398,1
11	22,0	327	341	14	14,3	51	86,5	160	175	15	13,1	91	124,1	365	370	5	52,4
12	23,0	341	351	10	21,9	52	88,0	175	190	15	13,1	92	124,3	370	372	2	166,2
13	24,1	351	362	11	19,4	53	88,3	190	193	3	99,7	93	124,9	372	378	6	41,6
14	25,4	362	375	13	15,7	54	88,5	193	195	2	166,2	94	125,0	378	379	1	398,1
15	26,9	375	390	15	13,1	55	88,8	195	198	3	99,7	95	125,1	379	380	1	398,1
16	29,7	390	418	28	6,0	56	89,0	198	200	2	166,2	96	125,4	380	383	3	99,7
17	30,9	418	430	12	17,4	57	89,2	0	2	2	166,2	97	125,7	383	386	3	99,7
18	33,1	430	452	22	8,1	58	89,3	2	3	1	398,1	98	126,0	386	389	3	99,7
19	35,9	452	480	28	6,0	59	89,4	3	4	1	398,1	99	126,3	389	392	3	99,7
20	38,9	480	510	30	5,5	60	89,5	2	3	1	398,1	100	126,9	392	398	6	41,6
21	42,2	510	543	33	4,9	61	89,6	3	4	1	398,1	101	127,1	398	400	2	166,2
22	43,9	543	560	17	11,2	62	89,7	4	5	1	398,1	102	127,2	400	401	1	398,1
23	45,5	560	576	16	12,1	63	90,7	5	15	10	21,9	103	127,4	401	403	2	166,2
24	47,4	576	595	19	9,7	64	94,4	15	52	37	4,2	104	127,6	403	405	2	166,2
25	48,9	595	610	15	13,1	65	95,4	52	62	10	21,9	105	127,9	405	408	3	99,7
26	50,0	610	621	11	19,4	66	97,3	75	94	19	9,7	106	128,1	408	410	2	166,2
27	51,0	621	631	10	21,9	67	99,1	94	112	18	10,4	107	128,2	410	411	1	398,1
28	53,4	631	655	24	7,3	68	100,3	112	124	12	17,4	108	128,4	411	413	2	166,2
29	55,6	655	677	22	8,1	69	101,9	124	140	16	12,1	109	128,6	413	415	2	166,2
30	57,5	677	696	19	9,7	70	103,3	140	154	14	14,3	110	128,9	415	418	3	99,7
31	59,7	696	718	22	8,1	71	105,0	154	171	17	11,2	111	129,1	418	420	2	166,2
32	61,6	718	737	19	9,7	72	106,7	171	188	17	11,2	112	129,2	420	421	1	398,1
33	64,1	737	762	25	6,9	73	108,4	188	205	17	11,2	113	129,4	421	423	2	166,2
34	66,0	762	781	19	9,7	74	110,0	205	221	16	12,1	114	129,7	423	426	3	99,7
35	67,9	781	800	19	9,7	75	111,8	221	239	18	10,4	115	130,1	426	430	4	69,4
36	69,6	800	817	17	11,2	76	113,1	239	252	13	15,7	116	130,3	430	432	2	166,2
37	71,1	817	832	15	13,1	77	114,9	252	270	18	10,4	117	130,4	432	433	1	398,1
38	72,3	832	844	12	17,4	78	116,5	270	286	16	12,1	118	130,7	433	436	3	99,7
39	73,4	844	855	11	19,4	79	117,5	286	296	10	21,9	119	131,1	436	440	4	69,4
40	74,9	855	870	15	13,1	80	119,1	304	320	16	12,1	120	131,2	440	441	1	398,1

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el muro del tranque presenta una compacidad media, con valores máximos de D del orden de 35 mm/golpe, pero con un promedio cercano a 15. Al final del ensayo, esto es bajo 1.2 metros, la punta de penetración aparentemente topó con una piedra.

10.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse destinado a riego se encuentra ubicado dentro de la comuna de Casablanca, provincia de Valparaíso, V Región.

Para llegar al embalse, se debe tomar la ruta 68 en dirección a la costa, para luego empalmar la ruta F-850 en dirección nororiente. Al llegar al punto de bifurcación del camino, se debe tomar la ruta F-856 en dirección al oeste, la que finaliza en camino rural no enrolado cuyo ramal principal lleva al embalse Campo Lindo.

En referencia a su cauce aguas abajo, éste corresponde a un estero natural de pendiente media 1,53%, y alta densidad vegetal en ambas riberas; la longitud de este curso es del orden de los 2,75km, terminando en entregas a derivaciones de riego.

La superficie del valle está fundamentalmente destinada a la actividad agrícola, con escasa presencia de viviendas. De hecho, los suelos cultivados se encuentran prácticamente al pie del embalse, a unos 85m medidos por el cauce desde su punto inicial.

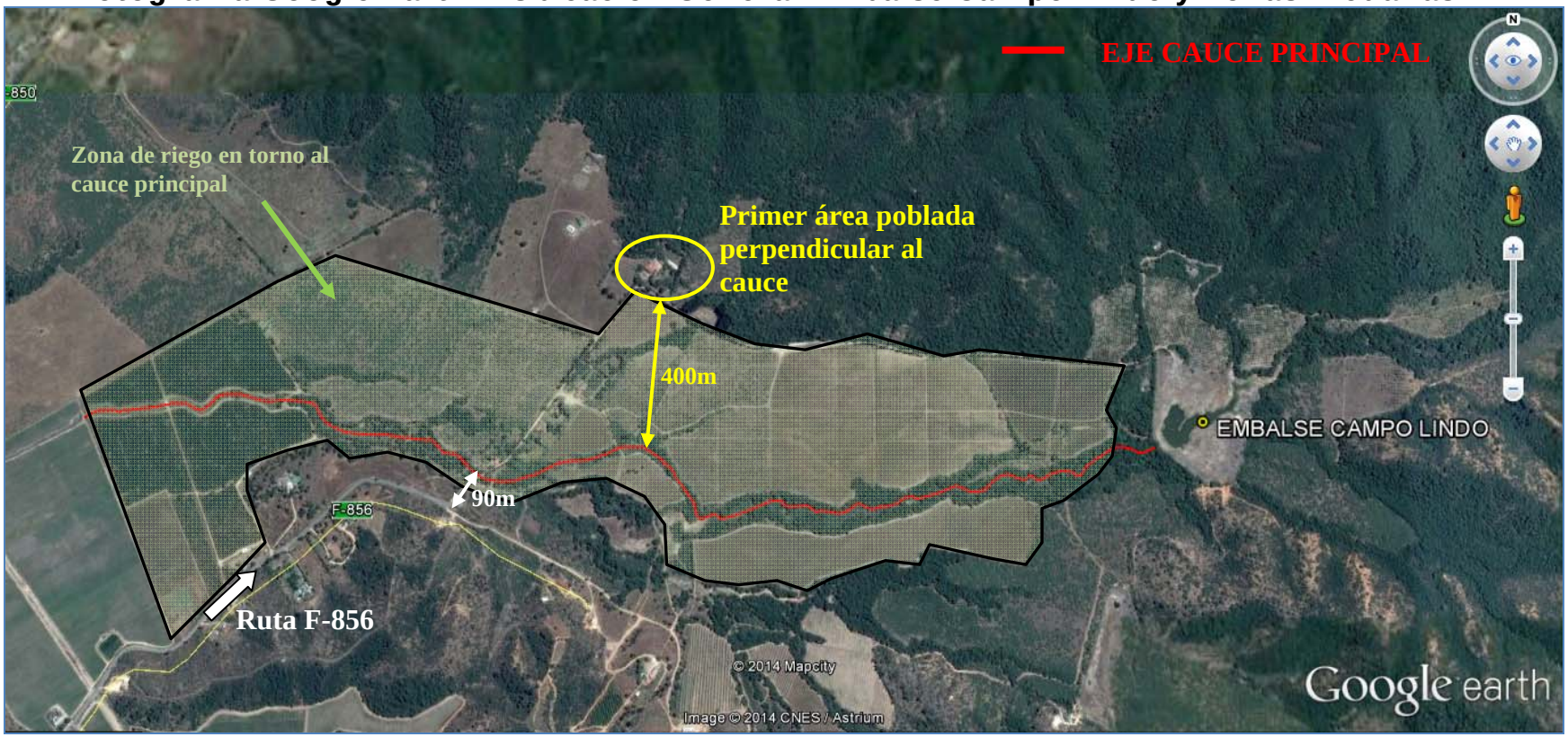
El primer asentamiento humano, de muy baja densidad poblacional, se encuentra a una distancia perpendicular del cauce de 0,4km.

En cuanto a infraestructura vial, el cauce no intercepta ninguna de importancia; sin embargo, la ruta F-856 se encuentra cercana, a unos 92m perpendiculares al cauce en estudio.

No se observa ninguna otra clase de infraestructura relevante en las cercanías.

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse Campo Lindo respecto a su entorno fundamentalmente agrícola.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Campo Lindo y Zonas Aledañas



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Campo Lindo:

CUADRO 10-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE CAMPO LINDO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Campo Lindo	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Estero Natural	---
	Tipo de Terreno	Boscoso	---
	Pendiente Media	0,0153	m/m
	Ancho medio	14	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,4	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,092 (perpendicular al cauce)	km
	Zonas Agrícolas	0,085	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

10.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Campo Lindo	4,812	2,854	791	350	441

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,306	0,315	0,964	0,635

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 10-2 siguiente.

CUADRO 10-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
5 Embalse Campo Lindo	**2**	1,06	0,50	0,43	4,38	-	4,38	4,38
	5	3,29	1,77	1,40	7,44	-	7,44	7,44
	10	5,88	2,71	2,04	9,69	-	9,69	9,69
	20	9,46	3,83	2,77	12,64	-	12,64	12,64
	25	10,93	4,33	3,09	13,29	-	13,29	13,29
	50	16,28	5,80	4,01	16,30	-	16,30	16,30
	100	23,33	7,80	5,24	20,00	-	20,00	23,33
	250	25,41	8,83	6,00	22,82	-	22,82	25,41
	500	29,27	10,09	6,83	25,55	-	25,55	29,27
	1000	33,13	11,34	7,65	28,28	-	28,28	33,13

10.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Campo Lindo fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Campo Lindo	Arcilla arenosa	18	0,20	1,80	10	28	31	2 a 5

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.51
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.17
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.49

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.45
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.13

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

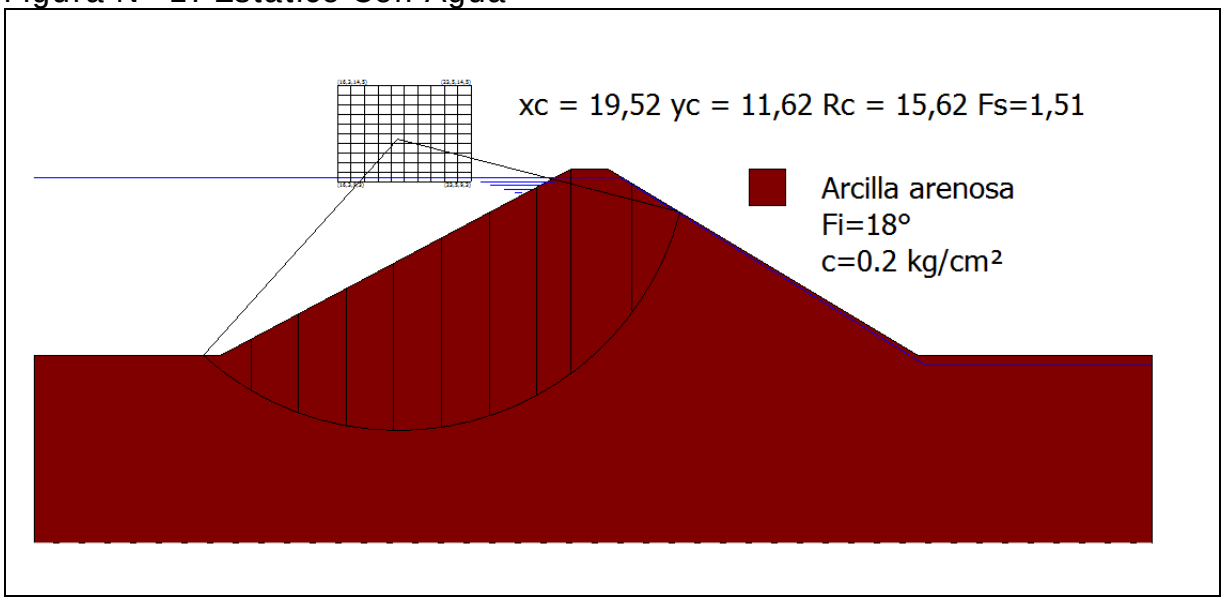


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

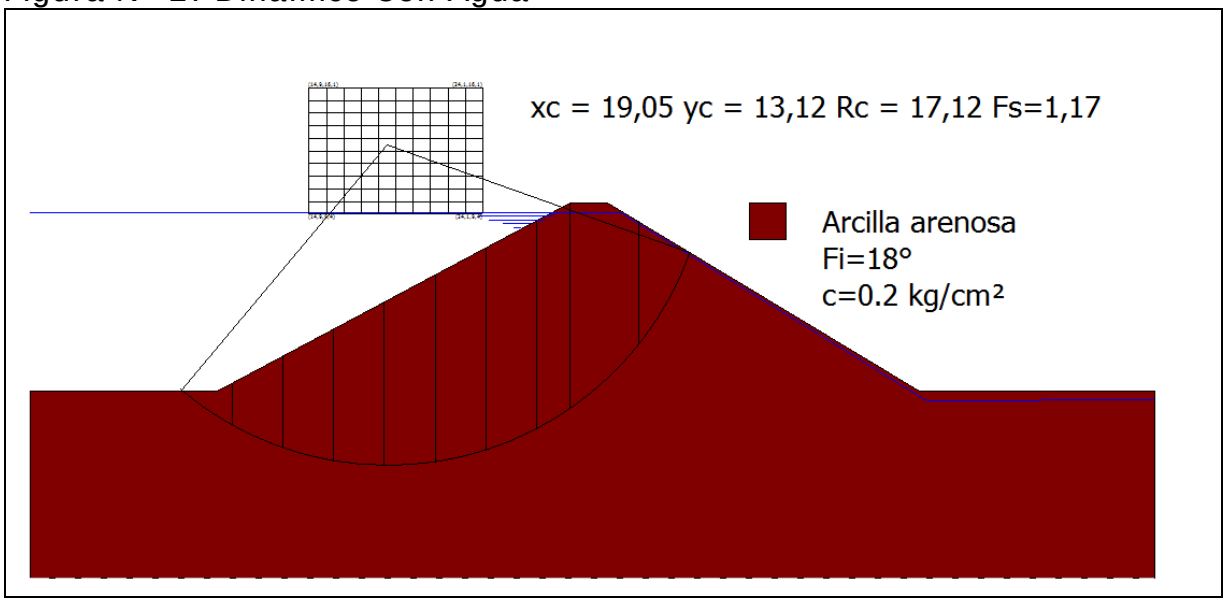
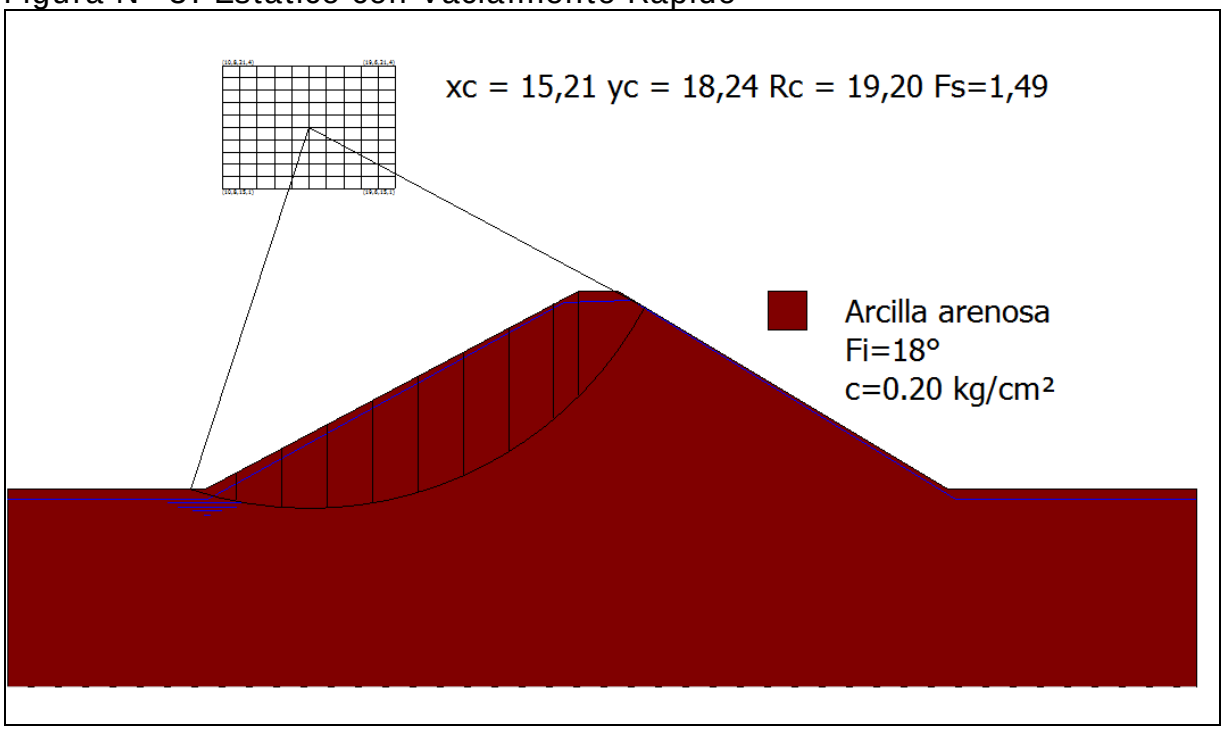


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

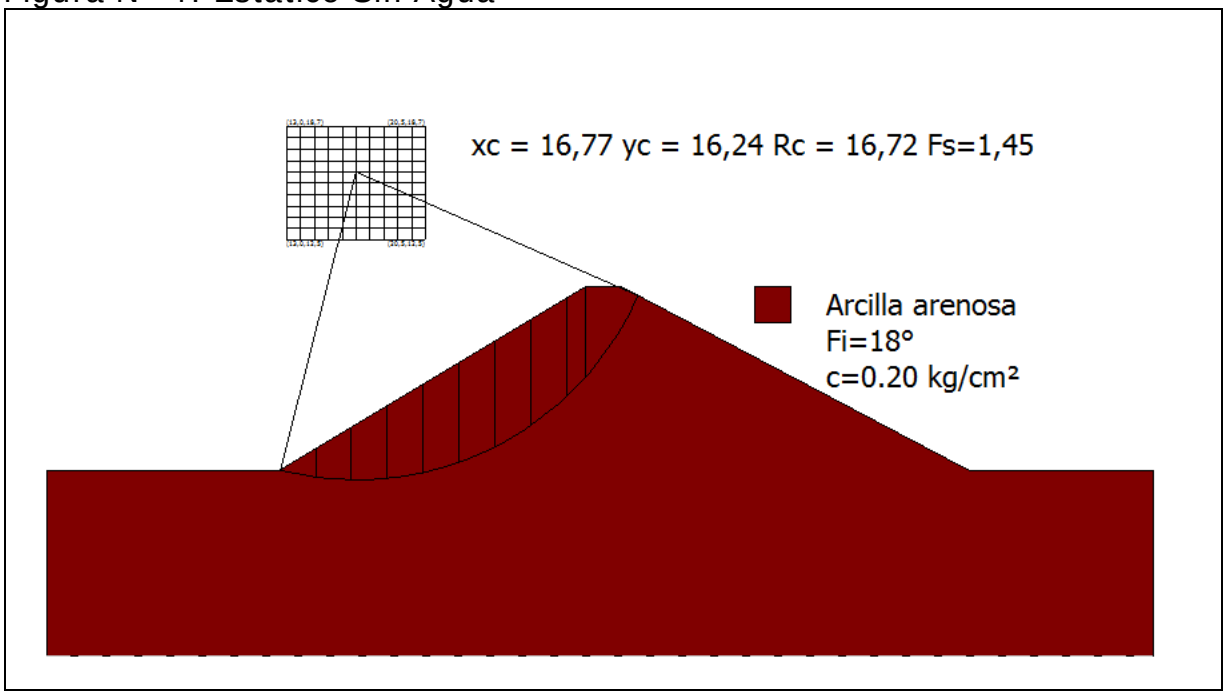
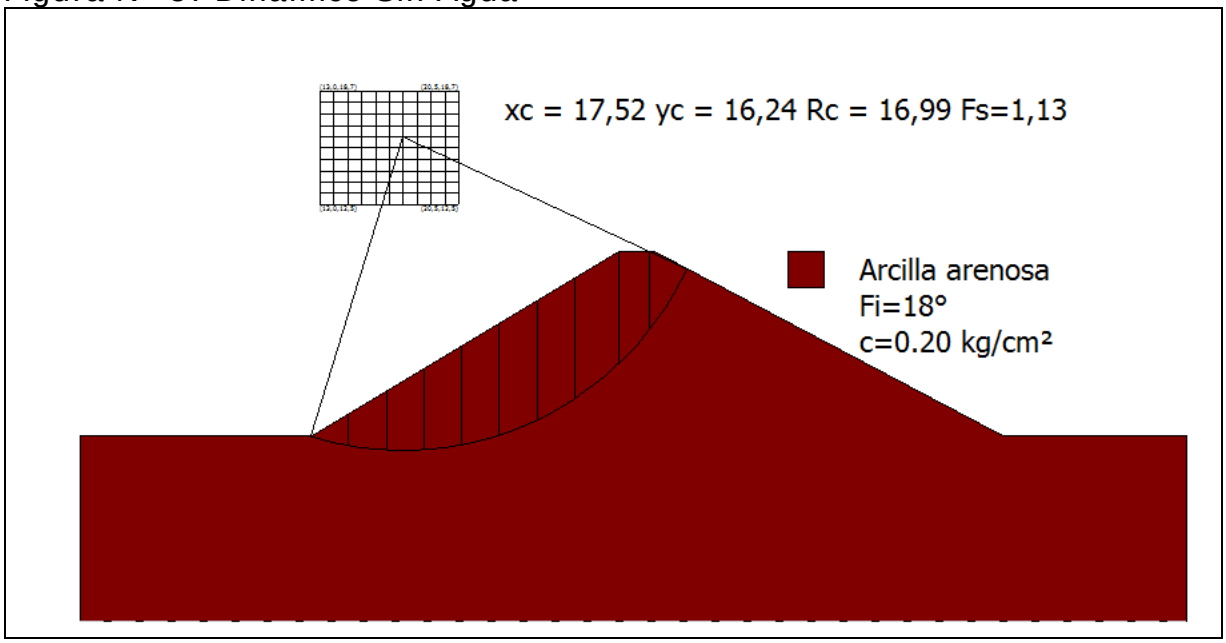


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) Al momento de la visita se pudo observar que no existen grietas ni depresiones visibles en el muro. Sí es posible notar que la zona central de éste (la más afectada por el terremoto) presenta una inclinación del talud de aguas arriba más tendida que la del resto del muro.

ii) Aparentemente, la zona central del muro fue sometida a reparaciones, cuyo detalle se desconoce.

iii) No se observaron filtraciones en el talud de aguas abajo. Sin embargo, debido a que el embalse estaba con su nivel de aguas muy bajo (embalse vacío), esto no asegura que con niveles de aguas mayores esto se mantenga.

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) Los resultados indicaron lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados, en general, superan los mínimos habitualmente aceptados. El caso estático con vaciamiento rápido está levemente por debajo de lo aceptable.

- Talud Aguas Abajo: El factor de seguridad para el caso estático sin agua resultó 1.45, es decir, está por debajo del mínimo habitualmente aceptado.

vi) Aun cuando es posible apreciar que el muro del embalse Campo lindo ha sido sometido a reparaciones, se desconoce

exactamente la naturaleza de estas y si existe un proyecto de ingeniería que las sustente.

vii) Se recomienda solicitar a los propietarios el proyecto de reparación para su aprobación por la DGA. Mientras no se cuente con la aprobación de la DGA se propone no autorizar el llenado del embalse hasta más allá de la mitad de la altura máxima hasta el vertedero.

10.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 10-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Campo Lindo	Arcilla Arenosa	31,8	0	10,6	3	8,0	24,0	Si

10.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 10-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Campo Lindo	Lateral	Hormigón, pared gruesa	18	0,65	0,65							**29,63**

10.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Campo Lindo, Casablanca

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** g es decir, **392,00** cm/seg2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 (sismo intraplaca)

R= 150 km
M= 8,019

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,6
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	0,8
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 29,63 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,56 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 16,6 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	22,82	0,95
0,002 (T= 500 años)	25,55	0,95
0,001 (T= 1.000 años)	28,28	0,95

Como la capacidad efectiva es de 16,6 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 50 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,02.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,02 (T= 50 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,6
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,03 x 0,6 x 1,0= 1,8 %

11. EMBALSE EL SAUZAL

11.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse El Sauzal.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	El Sauzal	Nº de ficha	6
Propietario	Narciso Moukarzel Villarroel	Fecha (dd/mm/año)	29/8/2014; 11:40 hrs.
	Calle Almirante Juanne Nº 7, Edificio		
	Costa Real, Dpto. 36 B, Viña del Mar		
Año de construcción	se desconoce	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Cost. Entre Aconcagua y Maipo/055		
Subcuenca / Código DGA	Lago Peñuelas/0551		
Fuente del recurso	Cuanca aportante		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	V Región de Valparaíso	
Provincia	Valparaíso	
Comuna	Valparaíso	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.333.566	E = 255.326
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	279	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	53 m
Ancho del coronamiento (m)	3 a 4 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	> 30 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	No apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	35°
Ángulo talud de aguas arriba	32°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	35
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	No medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	16.000
Ancho máximo de la poza (m)	120
Largo de la poza (m)	235
Volumen declarado o proyectado (m3)	200.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Muro de ancho constante y taludes uniformes
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Taludes uniformes, estables sin daños
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	20 cm de asentamiento en el centro
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se puede observar
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se puede observar
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se puede observar
Tipo de revestimiento del muro	No tiene

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
"x" indica localización y estructura del vertedero			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	X

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero de tierra y con tubo circular ubicado bajo camino de acceso
Material constructivo	Tubo acero corrugado D= 900 mm
Estado de conservación y operatividad	Mal estado, obstruido
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Zanjón de tierra de 5 m de ancho x 3 n de alto y se incluye un tubo de acero corrugad

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Embalse no dispone de obras de entrega
Mediciones estructurales	-
Funcionamiento actual	-

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

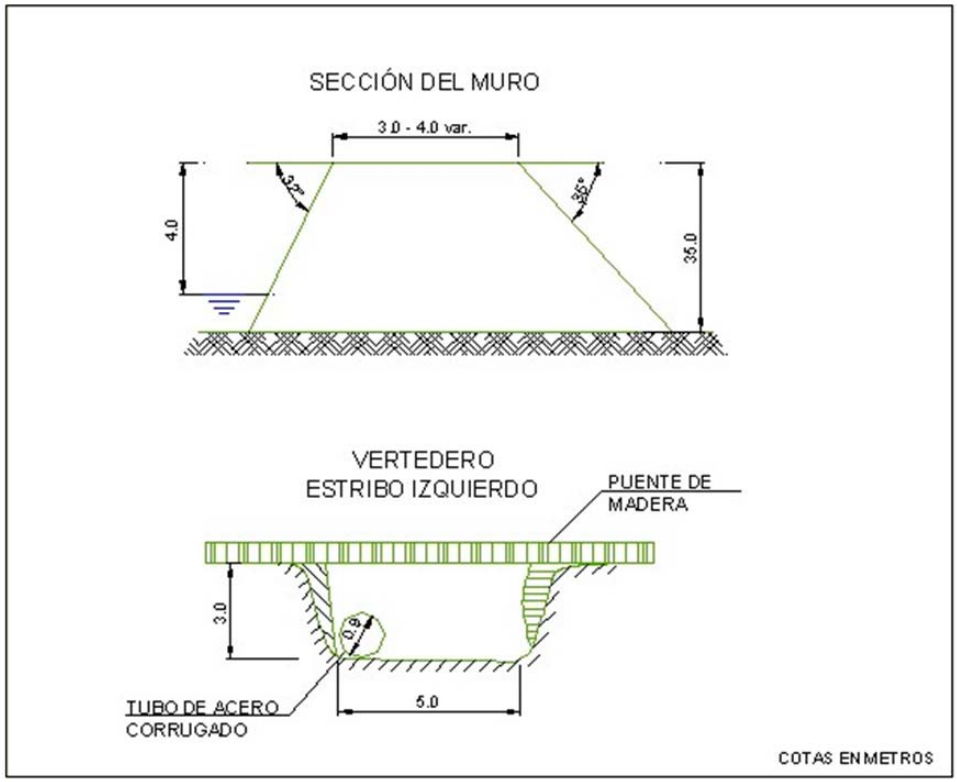
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Quebrada natural boscoso, i= 0,26, ancho medio 30 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	No hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	Nula
Distancia hacia zonas agrícolas	No hay
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Embalse está emplazado en quebrada paralela a Ruta F-730
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

No se observaron grietas
No hay obra de entrega
Muro en buen estado aparentemente
Depresión de 20 cm en el centro del muro, en el coronamiento

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE EL SAUZAL N° 6



EMBALSE EL SAUZAL (6)

TALUD AGUAS ARRIBA

CORONAMIENTO

VERTEDERO

ENSAYO PENETRÓMETRO

11.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse El Sauzal, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado el embalse corresponden a arenas limosas del tipo maicillo, con algunas gravillas, de color café claro. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los que se encuentran naturalmente en el sector, es decir, arenas limosas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es baja, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque El Sauzal sufrió daños importantes debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. Al momento de la visita, la vegetación que cubre tanto el talud de aguas arriba como el de aguas abajo impedía determinar la presencia de grietas o fallas, sin embargo en el coronamiento no se observó ningún tipo de anomalía. Por otra parte, debido a la vegetación no fue posible observar la existencia de filtraciones. Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud del muro 53 m; ancho de coronamiento variable entre 3 y 4 m; inclinación talud aguas arriba 32°; altura talud aguas arriba hasta el nivel de agua 4 m; inclinación talud aguas abajo 35°; altura talud aguas abajo 35 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito. En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

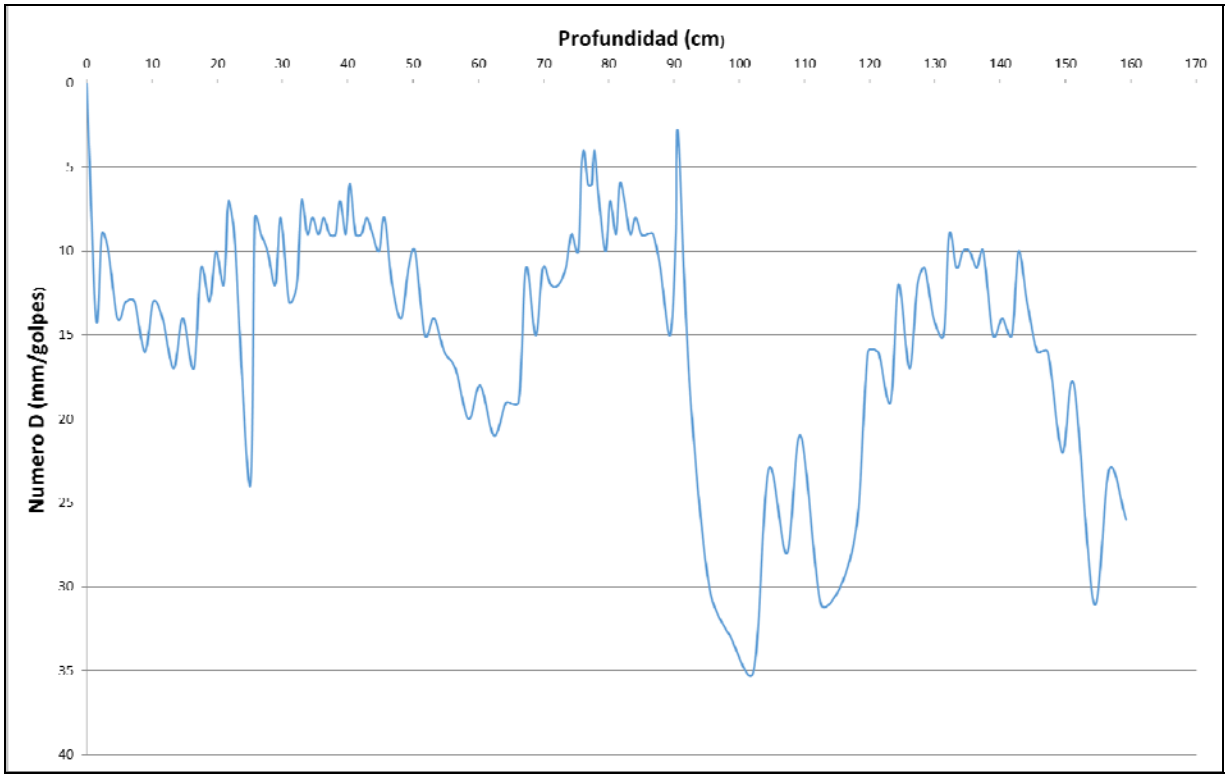
donde:
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse El Sauzal

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1,4	107	121	14	14,3	41	44,8	545	555	10	21,9	81	89,4	176	191	15	13,1
2	2,3	121	130	9	25,0	42	45,6	555	563	8	29,0	82	90,3	191	200	9	25,0
3	3,3	130	140	10	21,9	43	46,8	563	575	12	17,4	83	90,6	0	3	3	99,7
4	4,7	140	154	14	14,3	44	48,2	575	589	14	14,3	84	92,4	3	21	18	10,4
5	6,0	154	167	13	15,7	45	49,3	589	600	11	19,4	85	95,4	21	51	30	5,5
6	7,3	167	180	13	15,7	46	50,3	600	610	10	21,9	86	98,7	51	84	33	4,9
7	8,9	180	196	16	12,1	47	51,8	610	625	15	13,1	87	102,2	84	119	35	4,5
8	10,2	196	209	13	15,7	48	53,2	625	639	14	14,3	88	104,5	119	142	23	7,7
9	11,6	209	223	14	14,3	49	54,8	639	655	16	12,1	89	107,3	142	170	28	6,0
10	13,3	223	240	17	11,2	50	56,5	655	672	17	11,2	90	109,4	170	191	21	8,6
11	14,7	240	254	14	14,3	51	58,5	672	692	20	9,1	91	112,5	191	222	31	5,3
12	16,4	254	271	17	11,2	52	60,3	692	710	18	10,4	92	115,5	222	252	30	5,5
13	17,5	271	282	11	19,4	53	62,4	710	731	21	8,6	93	118,1	252	278	26	6,6
14	18,8	282	295	13	15,7	54	64,3	731	750	19	9,7	94	119,7	278	294	16	12,1
15	19,8	295	305	10	21,9	55	66,2	750	769	19	9,7	95	121,3	294	310	16	12,1
16	21,0	305	317	12	17,4	56	67,3	769	780	11	19,4	96	123,2	310	329	19	9,7
17	21,7	317	324	7	34,3	57	68,8	780	795	15	13,1	97	124,4	329	341	12	17,4
18	22,6	324	333	9	25,0	58	69,9	795	806	11	19,4	98	126,1	341	358	17	11,2
19	25,0	333	357	24	7,3	59	71,1	806	818	12	17,4	99	127,3	358	370	12	17,4
20	25,8	357	365	8	29,0	60	72,3	818	830	12	17,4	100	128,4	370	381	11	19,4
21	26,7	365	374	9	25,0	61	73,4	830	841	11	19,4	101	129,8	381	395	14	14,3
22	27,7	374	384	10	21,9	62	74,3	841	850	9	25,0	102	131,3	395	410	15	13,1
23	28,9	384	396	12	17,4	63	75,3	850	860	10	21,9	103	132,2	410	419	9	25,0
24	29,7	396	404	8	29,0	64	75,8	860	865	5	52,4	104	133,3	419	430	11	19,4
25	31,0	404	417	13	15,7	65	76,2	865	869	4	69,4	105	134,3	430	440	10	21,9
26	32,2	417	429	12	17,4	66	76,8	869	875	6	41,6	106	135,3	440	450	10	21,9
27	32,9	429	436	7	34,3	67	77,4	875	881	6	41,6	107	136,4	450	461	11	19,4
28	33,8	436	445	9	25,0	68	77,8	881	885	4	69,4	108	137,4	461	471	10	21,9
29	34,6	445	453	8	29,0	69	78,5	885	892	7	34,3	109	138,9	471	486	15	13,1
30	35,5	453	462	9	25,0	70	79,5	892	902	10	21,9	110	140,3	486	500	14	14,3
31	36,3	462	470	8	29,0	71	80,2	902	909	7	34,3	111	141,8	500	515	15	13,1
32	37,2	470	479	9	25,0	72	81,1	909	918	9	25,0	112	142,8	515	525	10	21,9
33	38,1	479	488	9	25,0	73	81,7	918	924	6	41,6	113	144,1	525	538	13	15,7
34	38,8	488	495	7	34,3	74	82,4	924	931	7	34,3	114	145,7	538	554	16	12,1
35	39,7	495	504	9	25,0	75	83,3	931	940	9	25,0	115	147,3	554	570	16	12,1
36	40,3	504	510	6	41,6	76	84,1	130	138	8	29,0	116	149,5	570	592	22	8,1
37	41,2	510	519	9	25,0	77	85,0	138	147	9	25,0	117	151,3	592	610	18	10,4
38	42,1	519	528	9	25,0	78	85,9	147	156	9	25,0	118	154,4	610	641	31	5,3
39	42,9	528	536	8	29,0	79	86,8	156	165	9	25,0	119	156,7	641	664	23	7,7
40	43,8	536	545	9	25,0	80	87,9	165	176	11	19,4	120	159,3	664	690	26	6,6

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que la compacidad del muro es media a baja. Esto se debe a los altos valores del índice de penetración. Entre 0 y 90 aproximadamente se tiene valores similares en rangos medios. Sin embargo, bajo dicha cota se nota claramente un aumente del Numero D, lo que se traduce en una compacidad baja.

11.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse destinado a fines recreacionales, se encuentra ubicado en la comuna de Valparaíso y se llega a él a través de la ruta F-730, a la que a su vez se accede por la ruta 60 (camino La Pólvora).

Su cauce aguas abajo corresponde a una quebrada natural boscosa (alta densidad vegetal), de pendiente muy pronunciada (25,7%). El desarrollo de esta línea de escurrimiento termina descargando al lecho de un estero correspondiente al cauce de aguas abajo del tranque La Luz. Dicho estero,

dada su caja, podría constituir un elemento de amortiguación importante en caso de colapso del embalse El Sauzal, protegiendo el área bajamente poblada (de actividad agrícola) que se encuentra al sur del estero mencionado.

En lo referente a zonas e infraestructuras de diversa índole, se observa que:

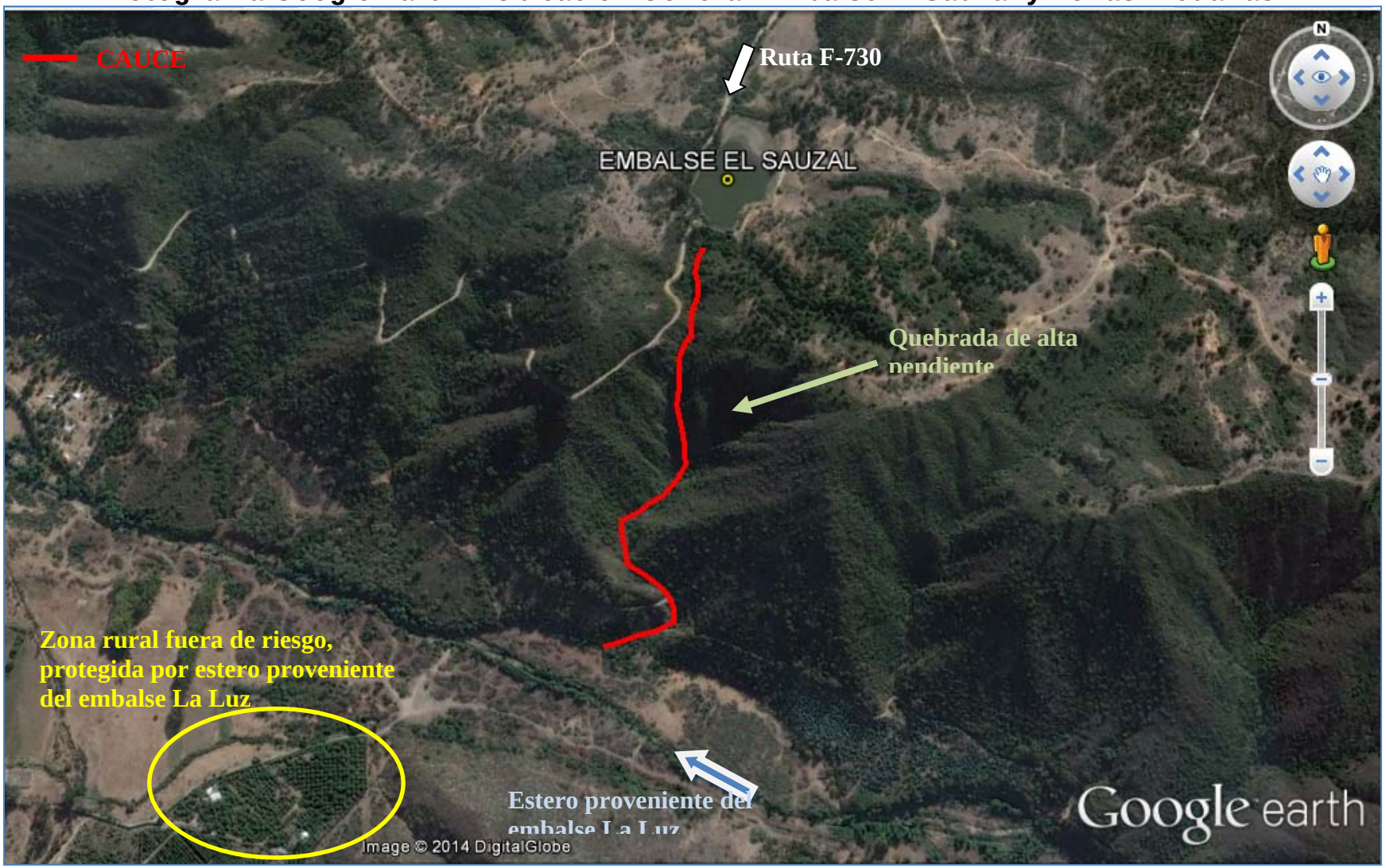
- No hay asentamientos humanos potencialmente en riesgo por colapso del embalse.

- No hay infraestructura vial o de otro tipo que sea importante y que se vea en potencial riesgo frente a una falla del embalse. Si bien podría pensarse que la parte adyacente de la ruta F-730 al cauce podría verse afectada en caso de fallar el muro, la alta pendiente del eje correspondiente no permitiría la generación de su inundación (a lo sumo, socavación en la base de su talud de soporte).

- No hay áreas agrícolas en riesgo ante una eventual falla del embalse.

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse El Sauzal respecto a su entorno.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse El Sauzal y Zonas Aledañas



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse El Sauzal:

CUADRO 11-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE EL SAUZAL

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		El Sauzal	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada Natural	---
	Tipo de Terreno	Boscoso	---
	Pendiente Media	0,257	m/m
	Ancho medio	30	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	No hay	---
	Zonas Agrícolas	No hay	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Nula	---

11.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
El Sauzal	2,289	2,700	468	283	185

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,401	0,440	1,112	0,757

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 11-2 siguiente.

CUADRO 11-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
6 Embalse El Sauzal	2	2,88	0,47	0,30	3,06	-	3,06	3,06
	5	8,95	1,69	0,98	5,19	-	5,19	8,95
	10	15,98	2,59	1,42	6,77	-	6,77	15,98
	20	25,74	3,66	1,94	8,82	-	8,82	25,74
	25	29,73	4,13	2,16	9,28	-	9,28	29,73
	50	44,28	5,54	2,80	11,38	-	11,38	44,28
	100	63,46	7,45	3,66	13,96	-	13,96	63,46
	250	69,12	8,43	4,19	15,93	-	15,93	69,12
	500	79,63	9,63	4,77	17,84	-	17,84	79,63
	1000	90,14	10,83	5,34	19,74	-	19,74	90,14

11.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse El Sauzal fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
El Sauzal	Arena limosa (maicillo)	38	0,15	1,85	35	32	35	3 a 4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.53
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.20
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	0.79

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.41
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.12

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

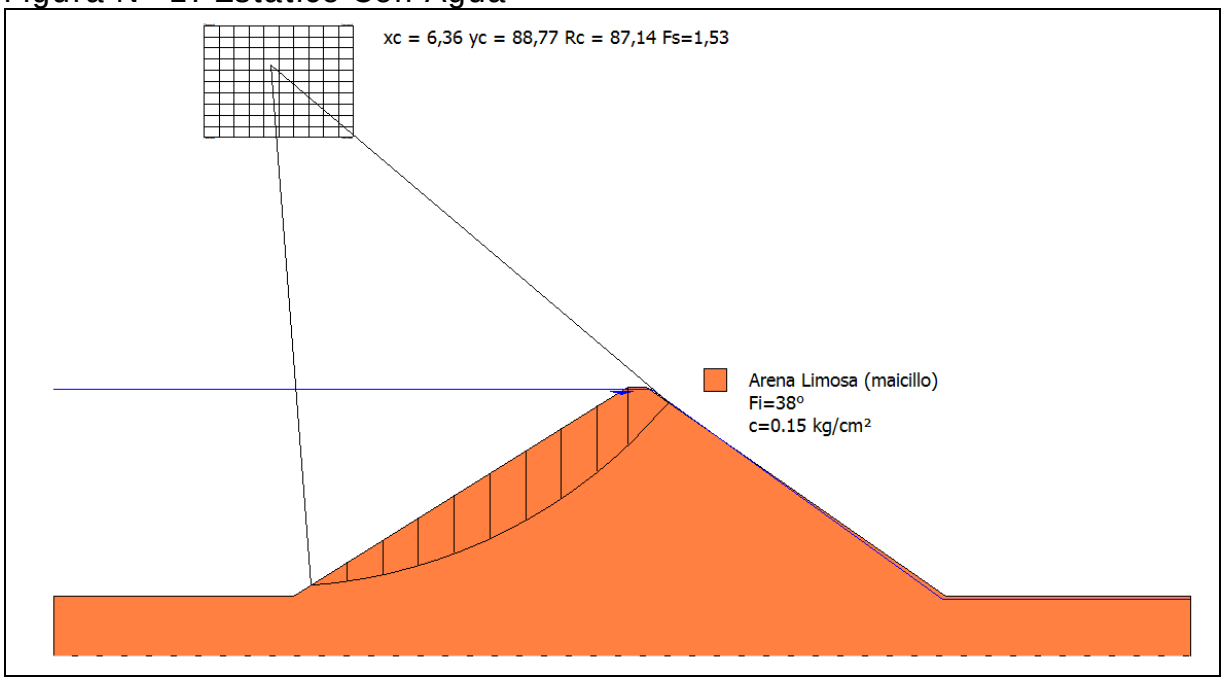


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

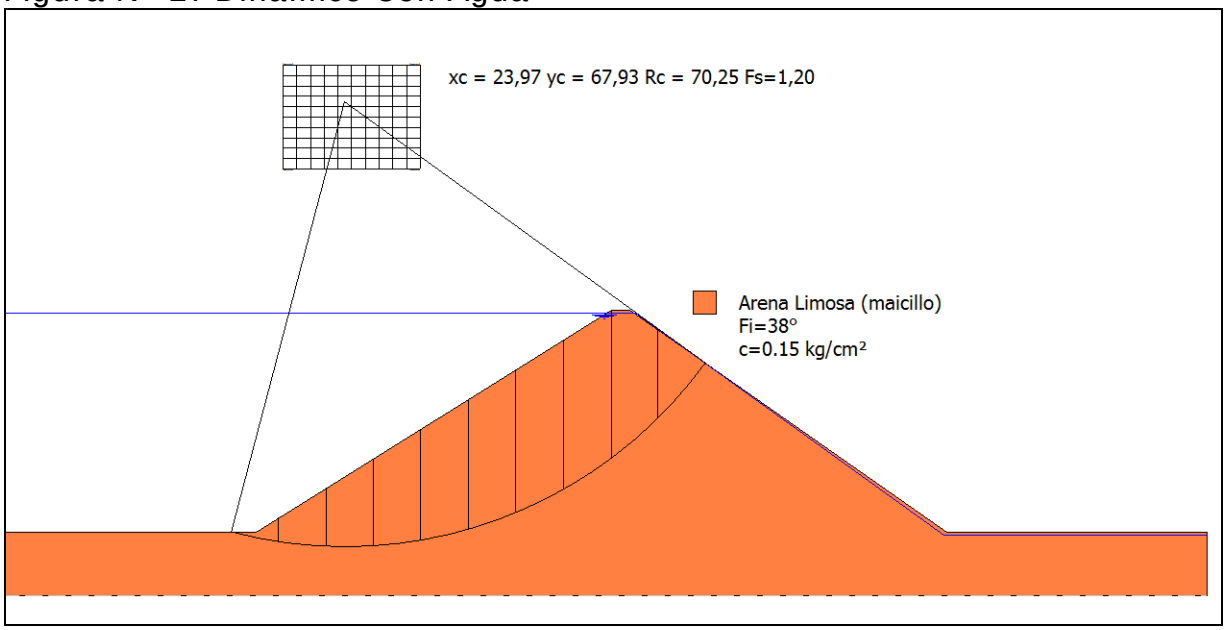
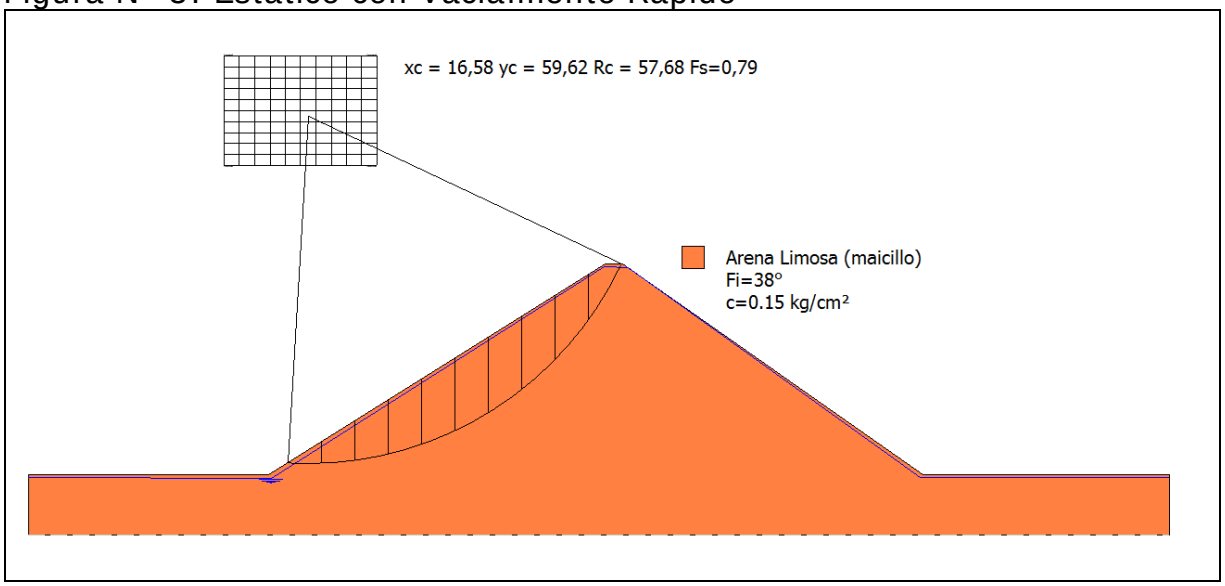


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

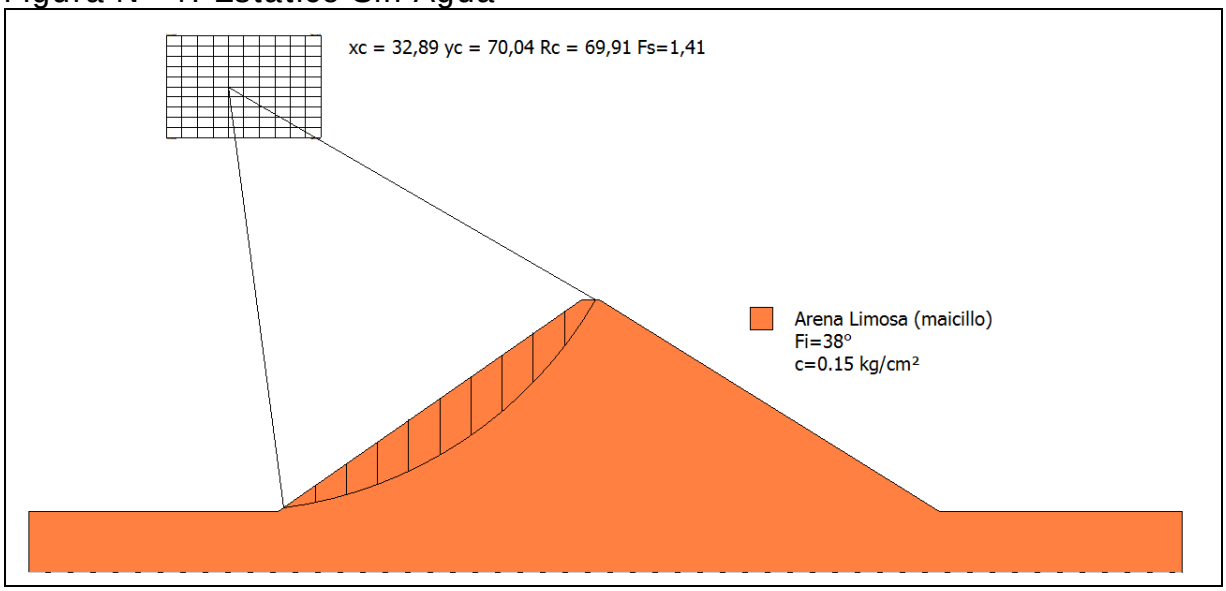
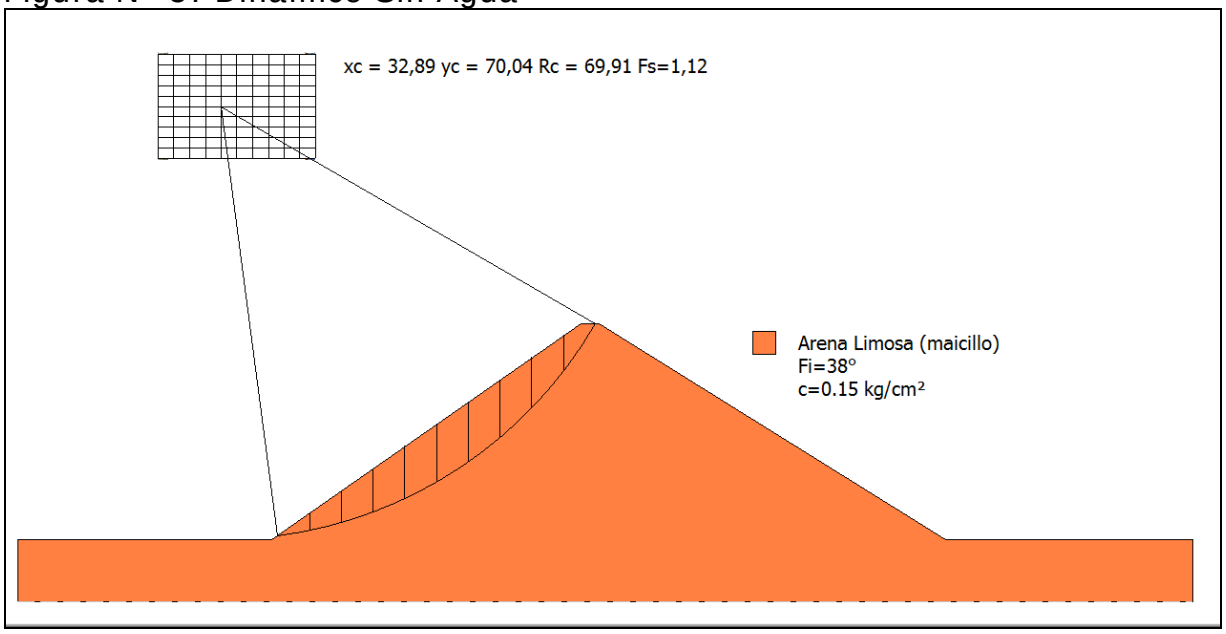


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) Al momento de la visita, la vegetación que cubre tanto el talud de aguas arriba como el de aguas abajo impedía determinar la presencia de grietas o fallas, sin embargo en el coronamiento no se observó ningún tipo de anomalía.

ii) Debido a la vegetación existente no fue posible observar la existencia de filtraciones.

iii) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

iv) De acuerdo con los resultados entregados anteriormente, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados, excepto el caso estático con vaciamiento rápido que resultó muy por debajo de lo aceptable.

- Talud Aguas Abajo: El factor de seguridad para el caso estático sin agua resultó 1.41, es decir, menor al mínimo aceptado habitualmente.

v) De lo observado se considera probable que el tranque El Sauzal no haya tenido ningún tipo de reparación después del terremoto de 2014. Considerando los daños que sufrió este embalse lo anterior se considera peligroso.

vi) Se recomienda restringir indefinidamente el llenado del embalse El Sauzal, hasta un tercio de su altura máxima,

contada hasta el nivel del vertedero, hasta que se efectúen las reparaciones necesarias las que deberán estar sustentadas por un estudio desarrollado por un ingeniero civil competente. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA.

11.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 11-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
El Sauzal	Arena Limosa	109,5	0	36,5	6	35,0	210,0	Si

11.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 11-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
El Sauzal	Lateral	Canal de Tierra		3	3	5	0,002	0,04				**20,62**

11.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento

V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: El Sauzal, V Región

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** g es decir, **392,00** cm/seg2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 (sismo intraplaca)

R= 150 km
M= 8,019

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,60
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	0,6

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	0,6

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 20,62 m3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,25 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 5,12 m3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	15,93	0,95
0,002 (T= 500 años)	17,84	
0,001 (T= 1.000 años)	19,74	

Como la capacidad efectiva es de 5,12 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 5 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,2.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,2 (T= 5 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,2
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,2 x 0,95 x 1,0= 19 %

12. EMBALSE ESCORIAL O LA GLORIA

12.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Escorial o La Gloria.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse El Escorial		Nº de ficha	7
Propietario	Comunidad de Aguas Tranque La Gloria		Fecha (dd/mm/año)	28/8/2014; 9:30 hrs.
	del Escorial, Pdte. Eliseo Sanhueza			
	Eliodoro Yáñez 2041, Dpto. 22, Providencia, Santiago			
Año de construcción	se desconoce		Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación			Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Maipo/057			
Subcuenca / Código DGA	Río Maipo Medio/0571			
Fuente del recurso	Afluentes naturales			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Metropolitana	
Provincia	Santiago	
Comuna	Paine	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 6.253.075	E= 351.740
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m		

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento (m)	366 (muros norte + oeste)
Ancho del coronamiento (m)	entre 3 y 4 m
Desarrollo del talud aguas abajo	35 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida	No apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	32°
Ángulo talud de aguas arriba	31°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	20
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	147.310
Ancho máximo de la poza (m)	600
Largo de la poza (m)	400
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	1.473.100

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Rgeometría regular
Compacidad del material estructural	Media a alta
Uniformidad de los taludes	Regular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	N0
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No
Tipo de revestimiento del muro	enrocado aguas arriba en muro ppal, en mal estado

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Rústica, socavón de tierra de 6 m de ancho x 3 m de altura
Material constructivo	tierra
Estado de conservación y operatividad	regular
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	6 m de ancho x 3 m de alto

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Entrega al pie de muro; hay 2 manivelas que regulan 2 compuertas y a través de un tubo y válvula descarga a un canal de mampostería
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativo

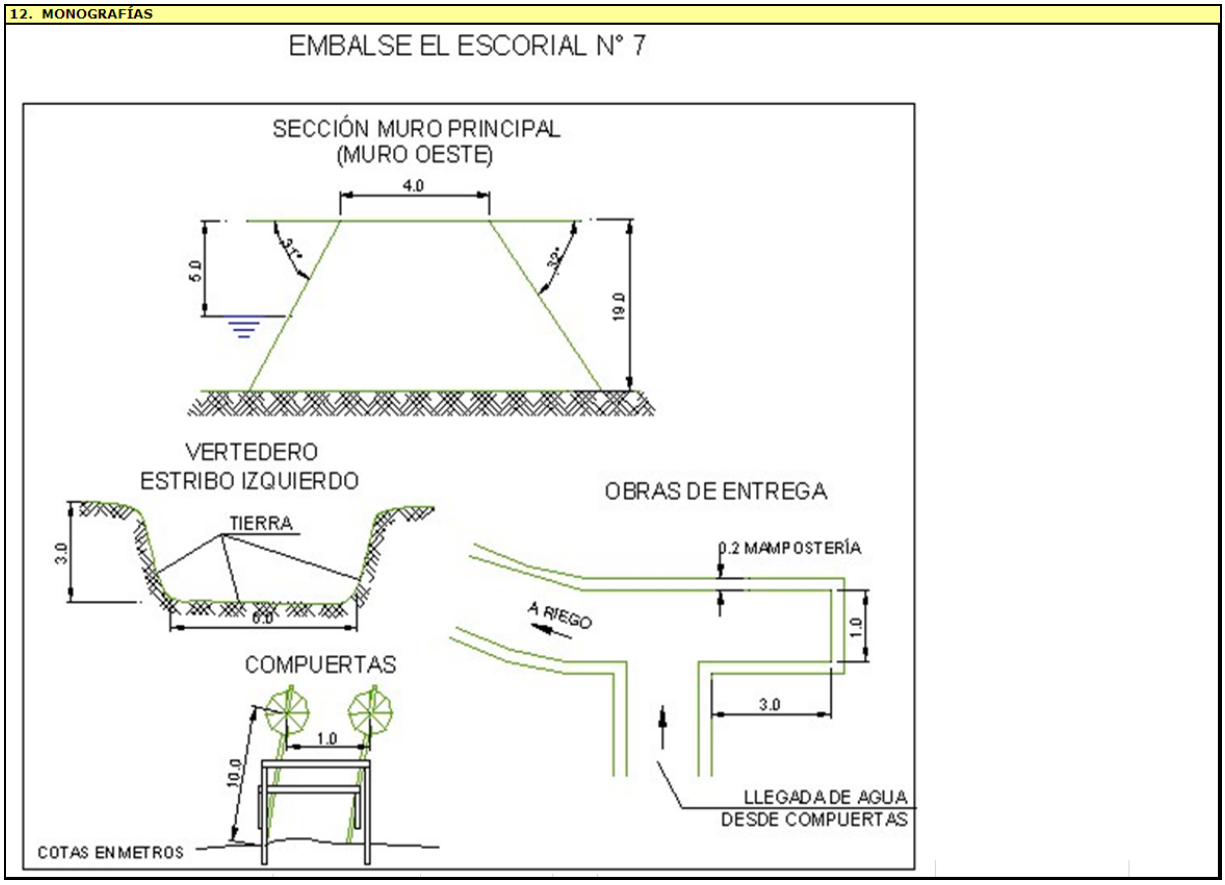
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Artificial, terrazas alteradas, i= 0,033, ancho medio 15 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	Aledaños
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	Aledaños
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	0,9 km
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	2,8 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

No se observaron grietas ni trabajos de reparación
Embalse sólo en regular estado

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE EL ESCORIAL (7)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD DE AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO Y ENSAYO CON PENETRÓMETRO

COMPUERTAS DE ENTREGA PARA RIEGO

VERTEDERO

12.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Escorial, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado el embalse corresponden a gravas areno limosas, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los que se encuentran naturalmente en el sector, es decir, gravas areno limosas, a excepción del muro sur que está formado por materiales tipo arenas limosas con gravas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Escorial sufrió daños importantes debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. El embalse se forma por tres muros continuos, que podrían denominarse muro norte, muro oeste y muro sur. Dado que el muro oeste es el de mayor longitud y altura, las mediciones geométricas se efectuaron en él. Al momento de la visita, no se observaron grietas ni fallas en ningún sector del muro. Para el

nivel de aguas de ese momento (embalse a nivel medio) no se observaron filtraciones.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 536 m; ancho de coronamiento variable entre 2 y 4 m; inclinación talud aguas arriba 31°; altura talud aguas arriba hasta el nivel de agua 5 m; inclinación talud aguas abajo 32°; altura máxima talud aguas abajo 19 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

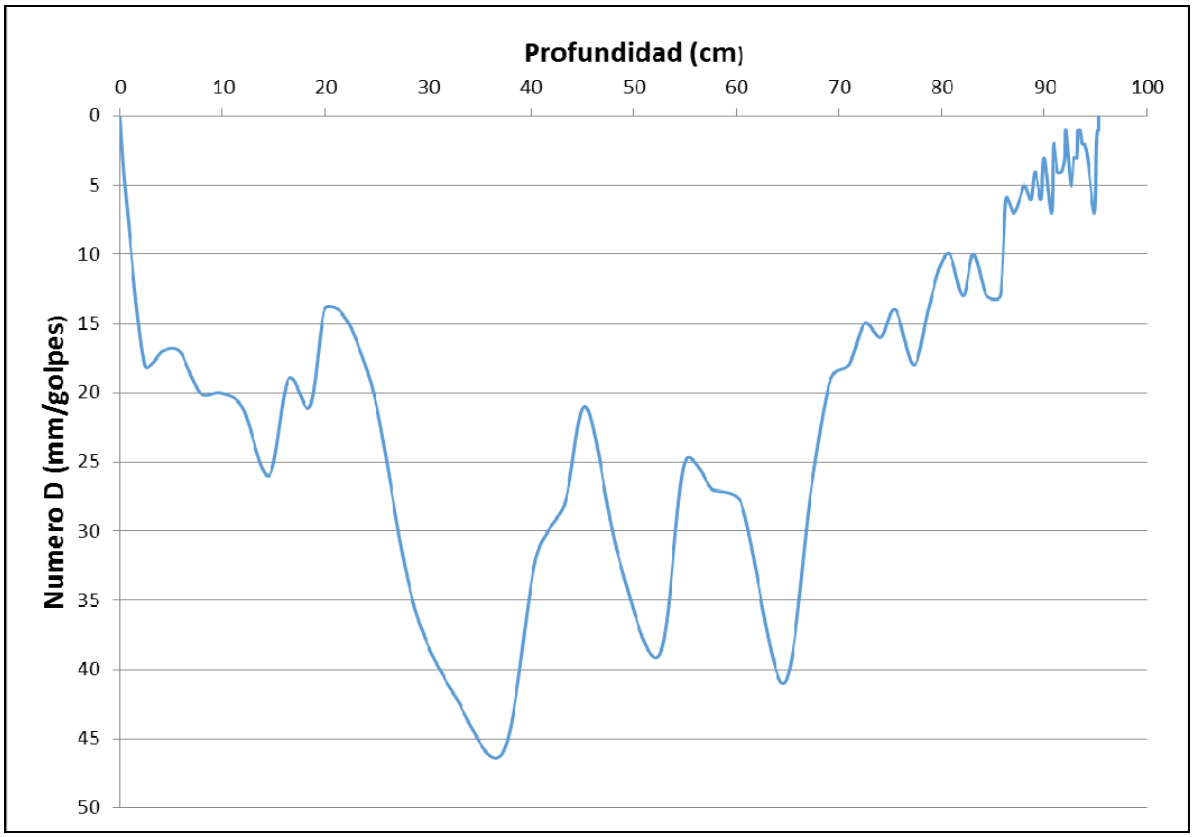
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse El Escorial

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	0,6	118	124	6	41,6	41	86,3	160	166	6	41,6
2	2,4	143	161	18	10,4	42	87,0	166	173	7	34,3
3	4,1	161	178	17	11,2	43	87,6	173	179	6	41,6
4	5,8	178	195	17	11,2	44	88,1	179	184	5	52,4
5	7,8	195	215	20	9,1	45	88,7	184	190	6	41,6
6	9,8	215	235	20	9,1	46	89,1	190	194	4	69,4
7	11,9	235	256	21	8,6	47	89,7	194	200	6	41,6
8	14,5	256	282	26	6,6	48	90,0	200	203	3	99,7
9	16,4	282	301	19	9,7	49	90,7	203	210	7	34,3
10	18,5	301	322	21	8,6	50	90,9	210	212	2	166,2
11	19,9	322	336	14	14,3	51	91,3	212	216	4	69,4
12	21,3	336	350	14	14,3	52	91,7	216	220	4	69,4
13	22,9	350	366	16	12,1	53	92,0	220	223	3	99,7
14	25,0	366	387	21	8,6	54	92,1	223	224	1	398,1
15	28,5	387	422	35	4,5	55	92,6	224	229	5	52,4
16	32,7	422	464	42	3,6	56	92,9	229	232	3	99,7
17	37,3	464	510	46	3,2	57	93,2	232	235	3	99,7
18	40,5	510	542	32	5,1	58	93,3	235	236	1	398,1
19	43,3	542	570	28	6,0	59	93,4	236	237	1	398,1
20	45,4	570	591	21	8,6	60	93,5	237	238	1	398,1
21	48,6	591	623	32	5,1	61	93,7	238	240	2	166,2
22	52,5	623	662	39	3,9	62	93,9	240	242	2	166,2
23	55,0	662	687	25	6,9	63	94,2	242	245	3	99,7
24	57,7	687	714	27	6,3	64	94,9	245	252	7	34,3
25	60,5	714	742	28	6,0	65	95,1	252	254	2	166,2
26	64,6	742	783	41	3,7	66	95,2	254	255	1	398,1
27	67,3	783	810	27	6,3	67	95,3	255	256	1	398,1
28	69,2	810	829	19	9,7	68	95,3	256	256	0	0,0
29	71,0	829	847	18	10,4						
30	72,5	847	862	15	13,1						
31	74,1	862	878	16	12,1						
32	75,5	878	892	14	14,3						
33	77,3	892	910	18	10,4						
34	78,7	910	924	14	14,3						
35	79,8	924	935	11	19,4						
36	80,8	935	945	10	21,9						
37	82,1	945	958	13	15,7						
38	83,1	958	968	10	21,9						
39	84,4	134	147	13	15,7						
40	85,7	147	160	13	15,7						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el muro, para las profundidades analizadas, presenta una compacidad media. Los índices de penetración son variables entre 1 y 46 mm/golpe.

Hasta los 70 cm de profundidad los valores del índice de penetración (D), son relativamente altos, esto es hasta 46 mm/golpe. A partir de los 70 cm, los valores comienzan a disminuir, lo que implica un mejoramiento en la densidad del suelo. Finalmente, aproximadamente a los 0.9 metros se encontró una piedra u otro obstáculo que impidió continuar con las mediciones.

12.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Ubicado en la comuna de Paine (sector de Huelquén), provincia de Santiago, Región Metropolitana, el embalse El Escorial (también conocido como La Gloria), cumple la función de acumular recursos hídricos para la actividad agrícola.

A este embalse se accede por la ruta G-45-H (camino Padre Hurtado), en dirección sur desde Santiago, tomando luego la ruta G-547 hacia la cordillera. Pese a que el camino es expedito, para llegar al sitio del embalse, se debe recorrer el último trecho a pie.

En referencia a su cauce aguas abajo, este corresponde a uno de tipo artificial de pendiente media 3,3%, con moderada densidad vegetal en ambas riberas; la longitud de este curso es del orden de los 0,36km, cuyo recorrido finaliza en derivaciones de riego.

Si bien el cauce se encuentra bien definido, la gran curvatura de su trazado y cambio de dirección directamente a los pies del muro, permiten prever que dicho cauce no será suficiente como para canalizar el flujo y contener la energía liberada ante un eventual colapso. Esto generaría un área de inundación inmediata a los pies del embalse en dirección perpendicular al cauce, en dirección al lecho del estero Huelquén, ubicado al norte del embalse, a 500m, aproximadamente. Es muy importante notar que, en la dirección del flujo de inundación, la ladera de escurrimiento tiene una pendiente media de 12,1%.

Respecto de las zonas pobladas con potencial riesgo de ser afectadas en caso de colapso del embalse El Escorial, se aprecian viviendas a los pies del muro. Si bien la densidad poblacional de dicha zona es baja, el riesgo de sufrir severos daños ante una eventual falla del muro es muy alto.

Cabe señalar que existe un poblado en las cercanías de la ruta G-547 de densidad media, pero se estima que dicha área se encontraría fuera de la zona de riesgo ante potencial colapso del embalse.

Aguas abajo de la zona habitada directamente a los pies del embalse, el flujo derivado de una falla sería contenido y conducido por el estero Huelquén, por lo que no se observa infraestructura vial o de otro tipo importante que pudiera ser afectada. La distancia en línea recta entre el muro y las rutas anteriormente citadas son:

- Distancia Muro – Ruta G-45-H: 2,84km
- Distancia Muro – Ruta G-547: 1,0km

Algo similar sucede con la superficie agrícola servida por el embalse, ya que ésta, en su gran mayoría, se encontraría fuera del área de inundación, por todo lo recientemente expuesto. De todas maneras, tomando como punto de referencia el centro del muro, la distancia en línea recta al predio más cercano regado por las aguas del tranque es de, aproximadamente, 0,9km.

El los siguientes fotogramas Google Earth contextualiza la ubicación del embalse El Escorial respecto del principal asentamiento humano y zona agrícola.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse El Escorial y Entorno

Fotograma Google Earth – Dirección en que se produciría el escurrimiento del flujo en caso de fallar el muro del embalse El Escorial

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse El Escorial:

CUADRO 12-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE EL ESCORIAL (LA GLORIA)

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		El Escorial (La Gloria)	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Artificial	---
	Tipo de Terreno	Terrazas alteradas	---
	Pendiente Media	0,033	m/m
	Ancho medio	15	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	Aledaños	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	Aledaños	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	2,84	km
	Zonas Agrícolas	0.9	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

12.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Escorial	2,551	3,589	1249	587	662

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,341	0,359	1,121	0,731

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 12-2 siguiente.

CUADRO 12-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
7 Embalse Escorial o La Gloria	**2**	0,45	0,94	1,09	1,87	-	1,87	1,87
	5	1,40	1,90	2,03	2,80	-	2,80	2,80
	10	2,50	2,77	2,84	3,48	-	3,48	3,48
	20	4,02	3,80	3,77	4,42	-	4,42	4,42
	25	4,65	4,16	4,08	4,58	-	4,58	4,65
	50	6,92	5,36	5,11	5,48	-	5,48	6,92
	100	9,92	7,14	6,63	6,60	-	6,60	9,92
	250	10,81	7,98	7,47	7,46	-	7,46	10,81
	500	12,45	9,05	8,43	8,29	-	8,29	12,45
	1000	14,09	10,13	9,38	9,12	-	9,12	14,09

12.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Escorial fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Escorial o La Gloria	Grava areno limosa	40	0,15	2,00	19	31	32	2 a 4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.77
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.43
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.14

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.83
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.52

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

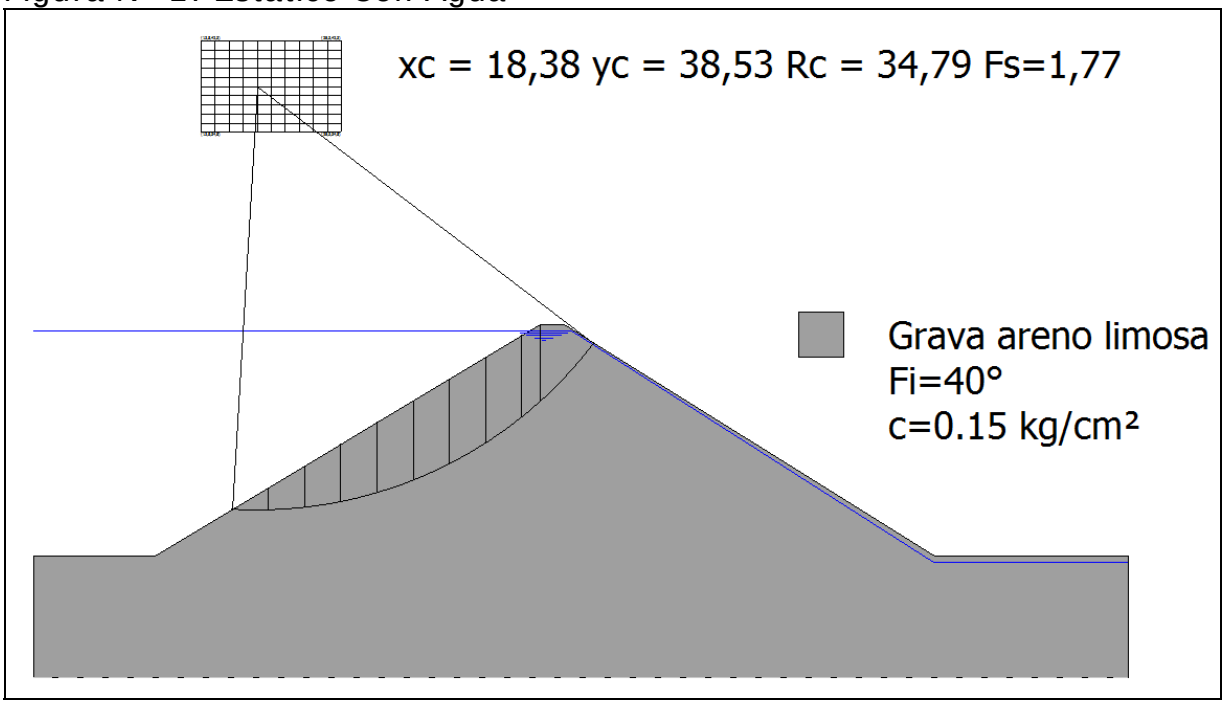


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

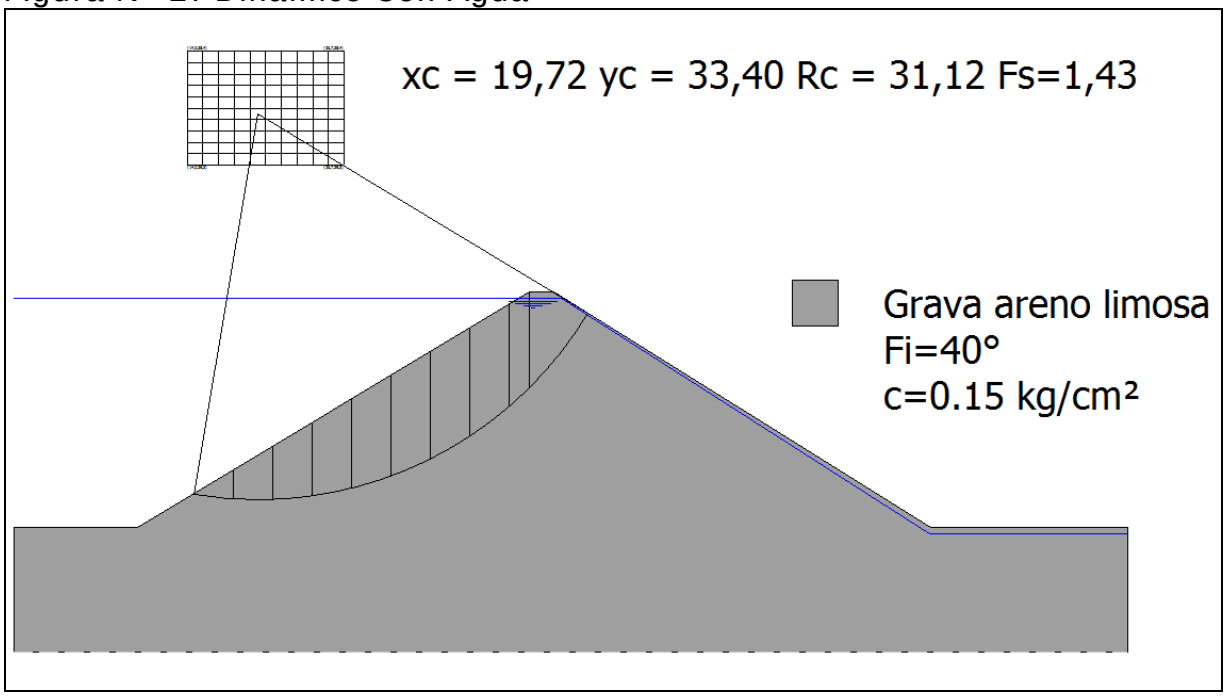
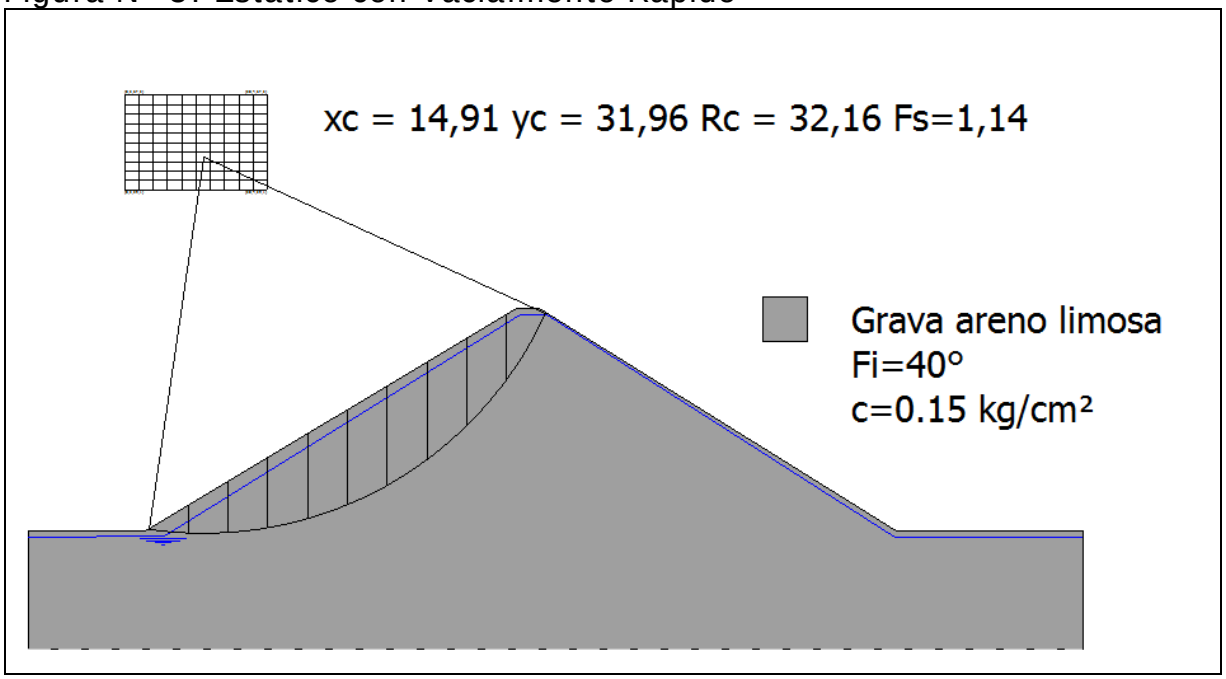


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

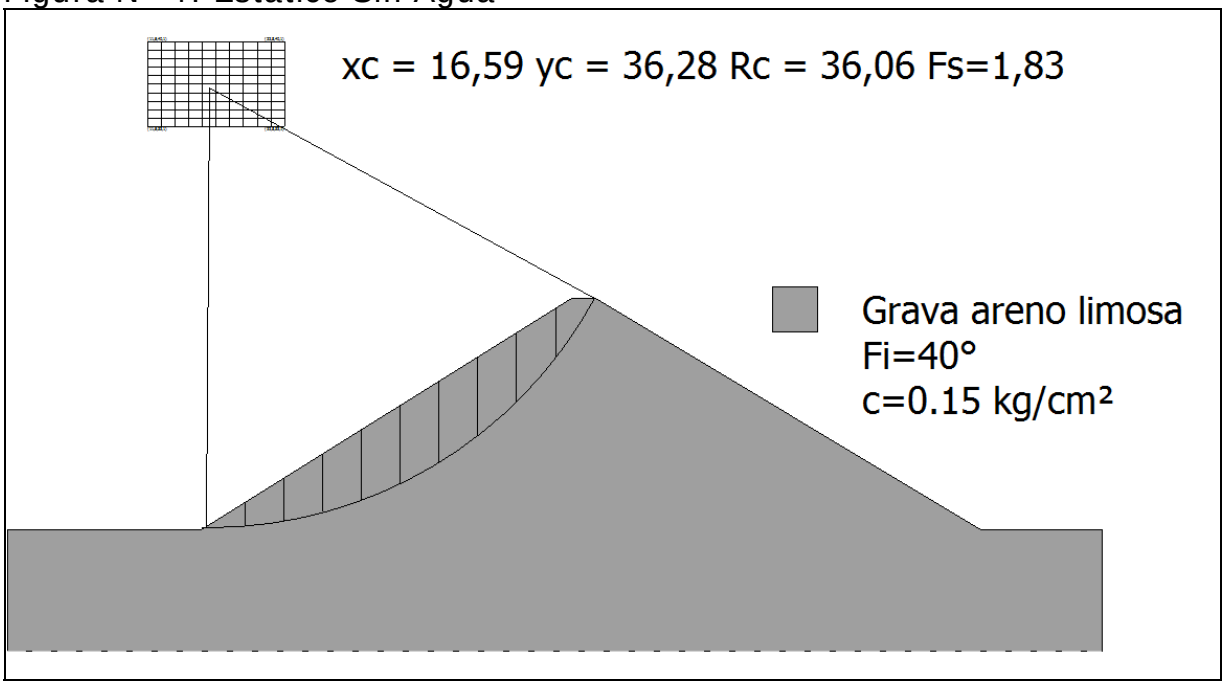
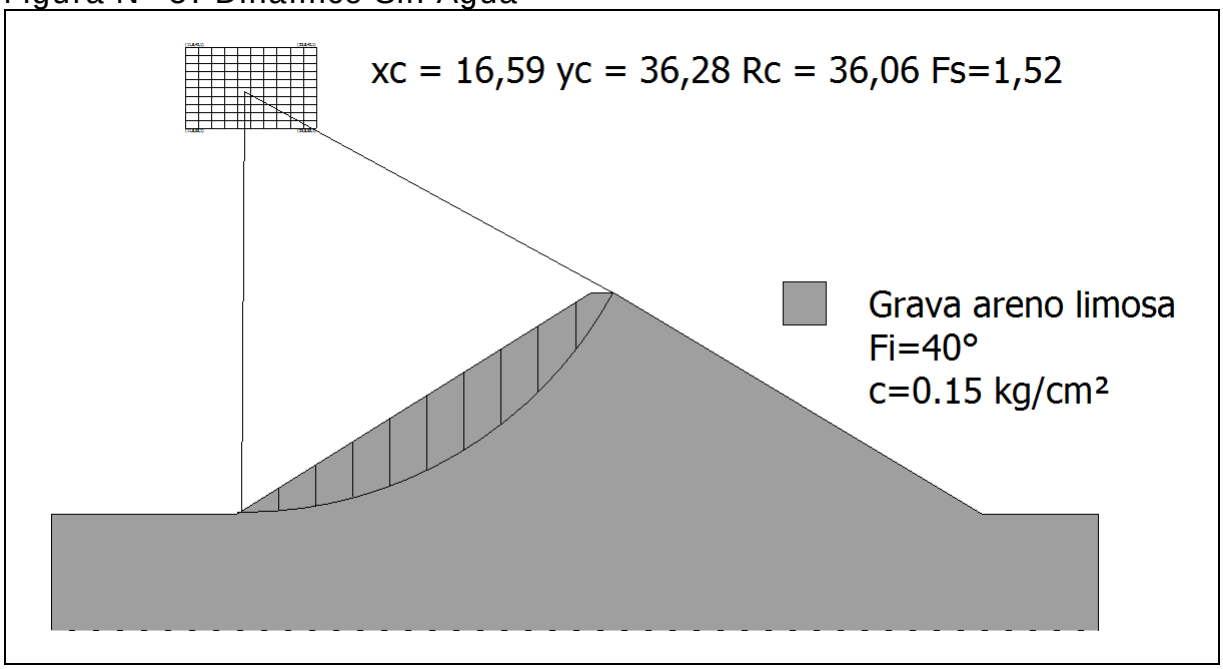


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El embalse está formado por tres muros continuos (muro norte, muro oeste y muro sur). El muro oeste es el de mayor altura y longitud.

ii) Al momento de la visita, no se observaron grietas ni fallas en ningún sector del muro.

iii) Para el nivel de aguas existente al momento de la visita (embalse a nivel medio), no se observaron filtraciones.

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) De acuerdo con los resultados de los análisis de estabilidad de taludes realizado, se pude decir lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados, excepto el caso estático con vaciamiento rápido que resultó por debajo de lo aceptable.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados.

vi) Se propone limitar la altura de llenado del embalse hasta la mitad de la altura máxima, contada hasta cota de vertedero, mientras no se efectúen las obras de mejoramiento que defina un estudio de ingeniería desarrollado por un ingeniero civil calificado. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA.

vii) Durante el período de lluvias el embalse deberá mantenerse vacío.

12.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 12-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Escorial o La Gloria	Gravas Areno Limosas	66,0	0	22,0	5	19,0	95,0	Si

12.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 12-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Escorial o La Gloria	Lateral	Canal de Tierra		3	3	6	0,002	0,035				**30,14**

12.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Escorial o La Gloria, Paine, R.M.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g** es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**

(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	0,85
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	0,6

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	0,8
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 30,14 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,34 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 10,25 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	7,46	0,05
0,002 (T= 500 años)	8,29	
0,001 (T= 1.000 años)	9,12	

Nota: tipo embalse A (T= 250 años)

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía (embalse Tipo A)= 0,004 (T= 250 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,043
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,85
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,043 x 0,85 x 1,0= 3,7 %

13. EMBALSE EL PALQUI

13.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse El Palqui.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	EL PALQUI		Nº de ficha / ID (mapa)	8
Propietario	Sociedad Minera Puzolana Maipú Ltda.		Fecha (dd/mm/año)	01-10-2014
	Cristián Reyes, Las Encinas 6148, Vitacura, Santiago			
	Adm. Emiliano Riffo, 96404178			
Año de construcción	1935		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	SI
Año de reparación			Altura del muro > 5 m	SI
Cuenca / Código DGA	Río Maipo/057			
Subcuenca / Código DGA	Río Maipo Bajo(entre río mapocho y desembocadura)/0574			
Fuente del recurso	Río Peuco			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	REGION METROPOLITANA
Provincia	MAIPO
Comuna	PAINE
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.251.771 Este= 270.182
Coordenadas UTM Izq	
Datum/ huso	WGS84 / 19S
Altitud	171 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	210 m
Ancho del coronamiento	2 a 3 m
Desarrollo del talud aguas abajo	25 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida	no apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	34°
Ángulo talud de aguas arriba	33°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	14
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	68.600
Ancho máximo de la poza (m)	356
Largo de la poza (m)	317
Volumen declarado o proyectado (m3)	100.000

7.A-CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7.B-ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Muy poco regular
Compacidad del material estructural	Media - Alta
Uniformidad de los taludes	poco uniforme
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Sí, a lo largo de todo el coronamiento del muro, de aprox. 0,5 m algunas
Grietas visibles y su ubicación	sí, varias y en varios puntos del coronamiento del muro
Indicios de deslizamientos y ubicación	sí, en talud de agus arriba, sector estribo izquierdo
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al	no se observan
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	no se observan
Tipo de revestimiento del muro	No

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero 1, socavón en estribo derecho, y vertedero 2 socavón en estribo izquierdo
Material constructivo	sin revestimiento
Estado de conservación y operatividad	operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	ver monografías

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Bombeo directo desde el embalse
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

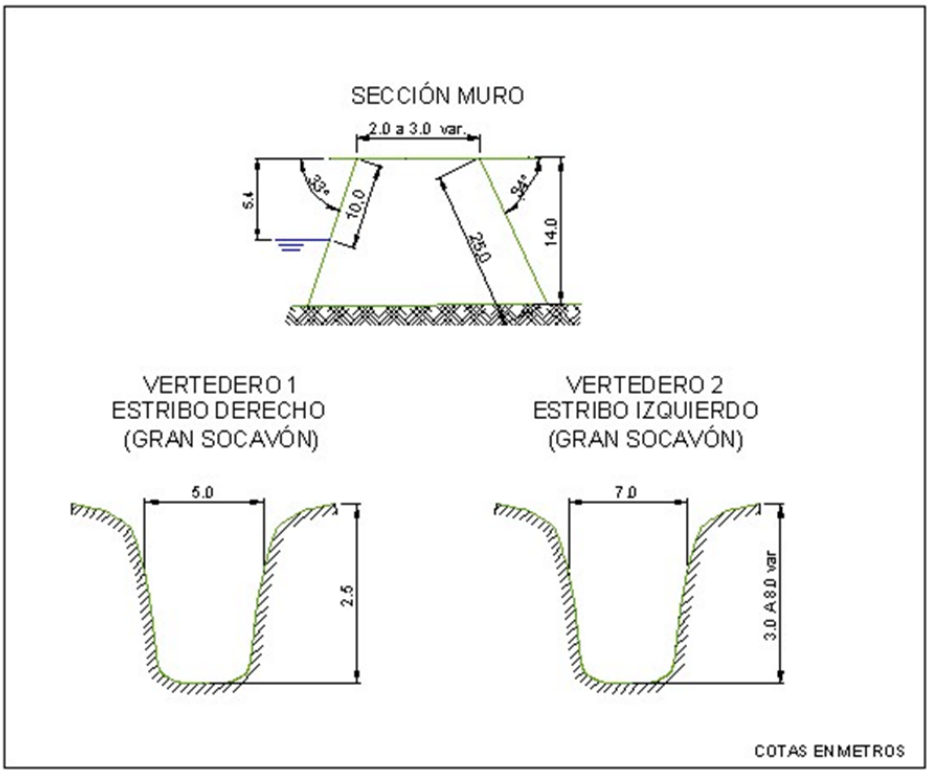
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Estero natural, semiboscoso, i= 0,026, ancho medio 10 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,4 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	No hay
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Emblase en muy malas condiciones
Taludes irregulares, grietas, deslizamientos, depresiones, etc.
No fue reparado después del terremoto
Se mantiene con una cota baja de agua debido al pésimo estado en que está

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE EL PALQUI N° 8



EMBALSE EL PALQUI (8)

TALUD POR AGUAS ARRIBA

TALUD POR AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

VERTEDERO 1

VERTEDERO 2

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

13.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse El Palqui, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos con gravas dispersas, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta en estado natural.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, limos arenosos con gravas dispersas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

De lo observado en la visita efectuada es posible concluir, que el muro del embalse El Palqui quedó muy dañado por el terremoto del año 2010. Los daños se deben fundamentalmente a lo esbelto y alto del muro, ya que los rellenos que forman el muro tienen una densidad de media a alta. Si bien la vegetación existente y el tiempo transcurrido desde el terremoto impiden ver en toda su magnitud los daños sufridos por el muro, observando con atención es posible detectar aún grandes grietas, hundimientos y deslizamientos. Según lo informado por vecinos del sector no se ha efectuado ningún tipo de reparación al muro, sin embargo, el embalse se ha utilizado hasta niveles del agua bastante altos, situación que es muy riesgosa.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de aguas existente (embalse al 60% de su capacidad máxima) no se observaron filtraciones.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total de los muro 205 m; ancho de coronamiento variable entre 2 y 3 m; inclinación talud aguas arriba 33°; altura hasta el nivel de agua 5.4 m; inclinación talud aguas abajo 34°; altura máxima talud aguas abajo 14 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

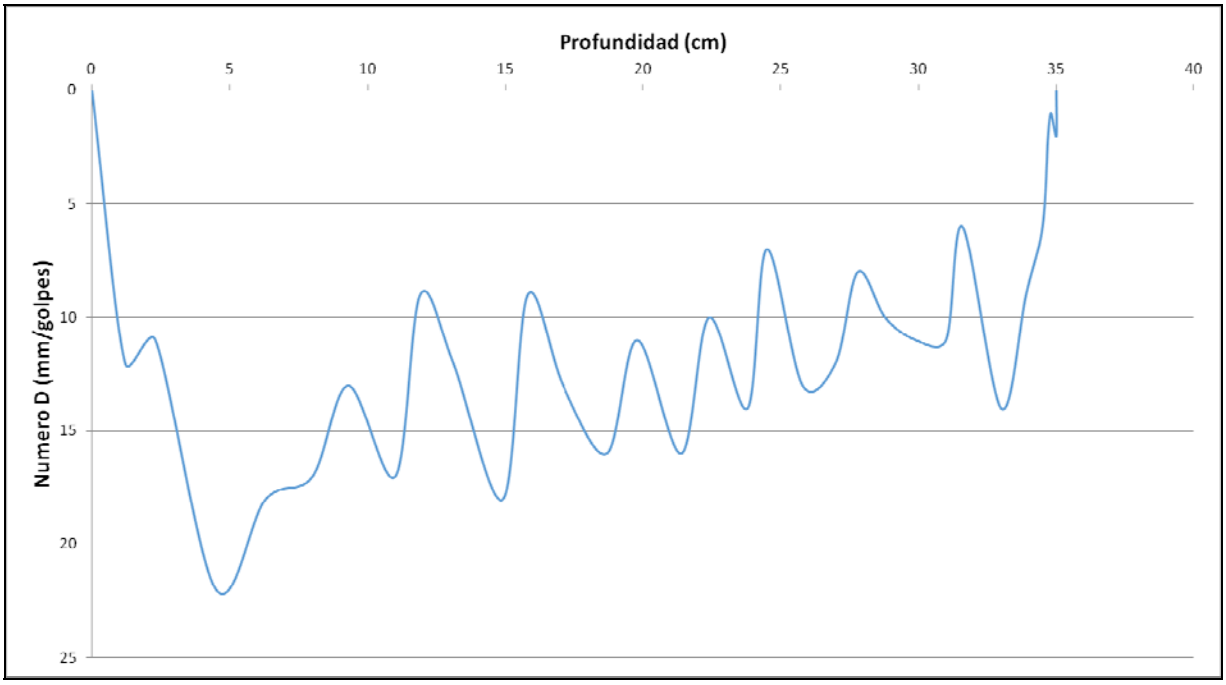
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Palqui

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1.2	112	124	12	17.4
2	2.3	124	135	11	19.4
3	4.5	135	157	22	8.1
4	6.3	157	175	18	10.4
5	8.0	175	192	17	11.2
6	9.3	192	205	13	15.7
7	11.0	205	222	17	11.2
8	11.9	222	231	9	25.0
9	13.1	231	243	12	17.4
10	14.9	243	261	18	10.4
11	15.8	261	270	9	25.0
12	17.1	270	283	13	15.7
13	18.7	283	299	16	12.1
14	19.8	299	310	11	19.4
15	21.4	310	326	16	12.1
16	22.4	326	336	10	21.9
17	23.8	336	350	14	14.3
18	24.5	350	357	7	34.3
19	25.8	357	370	13	15.7
20	27.0	370	382	12	17.4
21	27.8	382	390	8	29.0
22	28.8	390	400	10	21.9
23	29.9	400	411	11	19.4
24	31.0	411	422	11	19.4
25	31.6	422	428	6	41.6
26	33.0	428	442	14	14.3
27	33.9	442	451	9	25.0
28	34.5	451	457	6	41.6
29	34.7	457	459	2	166.2
30	34.8	459	460	1	398.1
31	35.0	460	462	2	166.2
32	35.0	462	0	0	0.0

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores entre 5 y 20 mm/golpe en los primeros 35 cm del muro, lo que corresponde a una densidad media a alta. No fue posible continuar con el ensaye debido a que la punta de penetración topo una piedra.

13.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Tratándose de un embalse destinado a riego, El Palqui se ubica en la comuna de San Pedro, provincia de Melipilla, Región Metropolitana.

Para llegar al embalse El Palqui, se debe tomar la ruta 66 (Santiago-Valparaíso) en dirección a la costa y tomar hacia el norte la ruta G-672; luego de unos 800m pasada la intersección con la ruta G-90, se debe virar a la derecha por camino rural no enrolado.

En referencia a su cauce aguas abajo del muro, este corresponde a un estero natural de pendiente media 2,63%, y densidad vegetal considerable en ambas riberas; la longitud de este curso es del orden de los 0,647km,

interceptando en su recorrido al camino rural, no enrolado, comentado anteriormente. Unos 130m aguas abajo de dicho cruce, el cauce en análisis descarga a otro curso tipo estero.

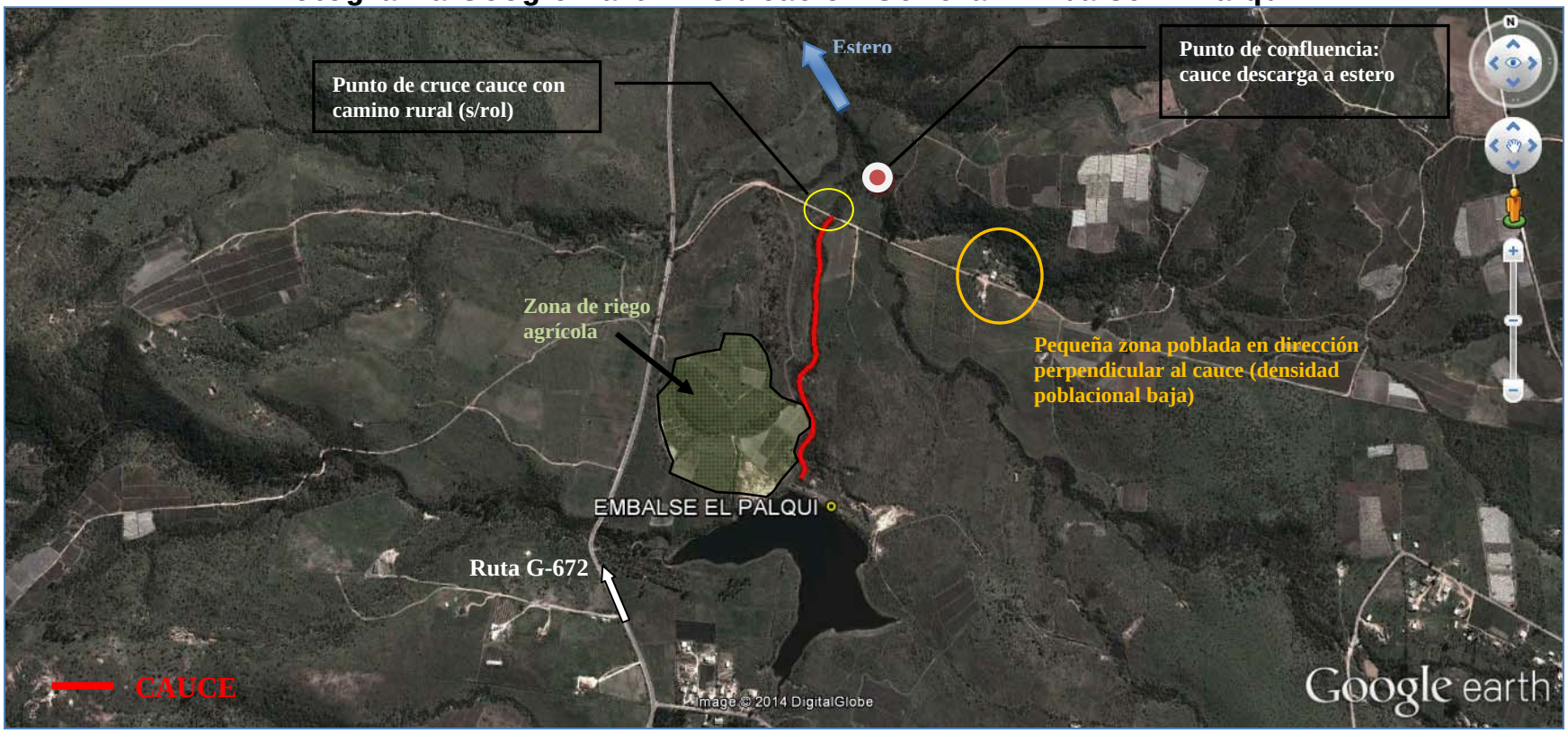
Aguas abajo del muro, en el sentido del cauce no se aprecian zonas pobladas ni infraestructura vial u otra de importancia. En el sentido perpendicular al cauce, se aprecia la existencia de casas (densidad poblacional baja), a una distancia de 370m, medidos en el punto de cruce entre el cauce y el camino rural, en dirección oriente.

En el caso de zonas agrícolas, se aprecian cultivos aledaños al contorno del embalse, aunque a una cota de superficie mayor que la del cauce aguas abajo del muro. Según se aprecia, esto se explica porque la entrega del recurso hídrico se efectúa mediante bocatoma lateral y no mediante captación sumergida a través del muro.

Sin embargo, un eventual colapso del muro con el embalse a su capacidad, podría dañar esta zona aledaña de cultivos, aunque no por incidencia frontal del flujo.

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse El Palqui.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse El Palqui



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse El Palqui:

CUADRO 13-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE EL PALQUI

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		El Palqui	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Estero natural	---
	Tipo de Terreno	Semi boscoso	---
	Pendiente Media	0,026	m/m
	Ancho medio	10	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,37	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	No hay	---
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

13.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
El Palqui	6,160	4,135	248	166	82

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,897	0,904	1,867	1,382

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 13-2 siguiente.

CUADRO 13-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
8 Embalse El Palqui	2	1,32	2,27	2,78	4,95	-	4,95	4,95
	5	4,10	4,95	5,54	7,45	-	7,45	7,45
	10	7,32	7,50	7,99	9,28	-	9,28	9,28
	20	11,79	10,63	10,88	11,88	-	11,88	11,88
	25	13,62	11,82	11,95	12,27	-	12,27	13,62
	50	20,29	15,55	15,21	14,74	-	14,74	20,29
	100	29,08	21,22	20,12	17,93	-	17,93	29,08
	250	31,67	23,59	22,57	20,22	-	20,22	31,67
	500	36,49	26,87	25,57	22,48	-	22,48	36,49
	1000	41,30	30,14	28,57	24,74	-	24,74	41,30

13.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse El Palqui fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
El Palqui	Limo arenoso con gravas	28	0,10	1,80	14	33	34	2 a 3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.32
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.05
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.28

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.26
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	0.99

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

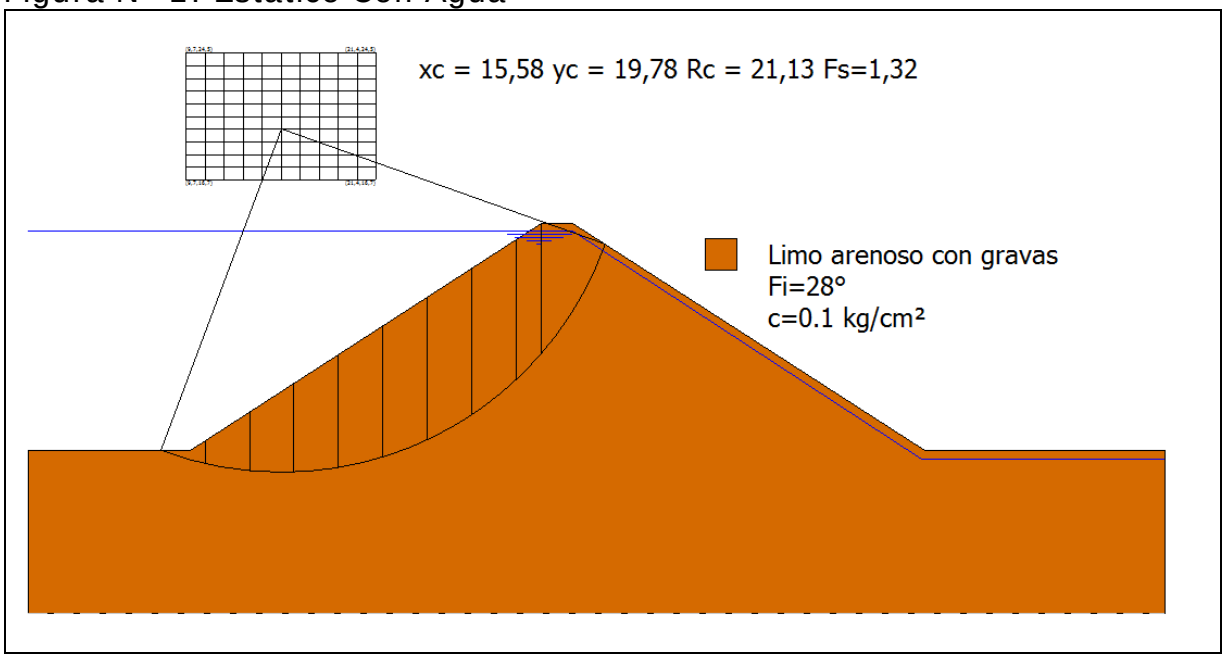


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

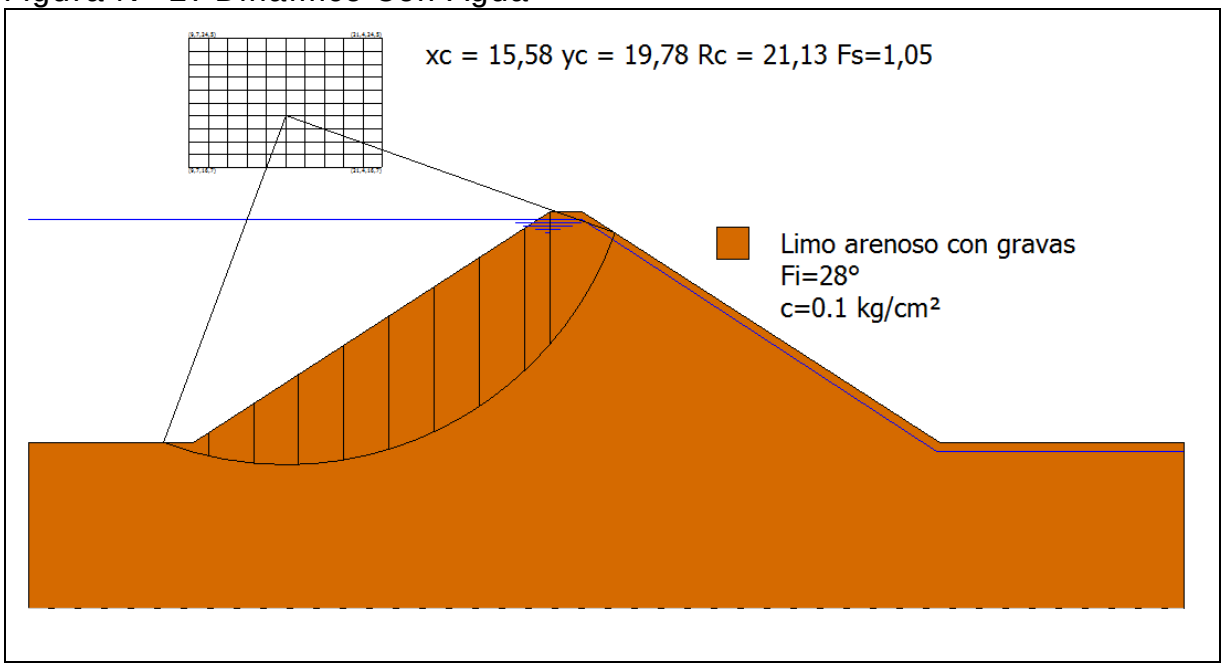
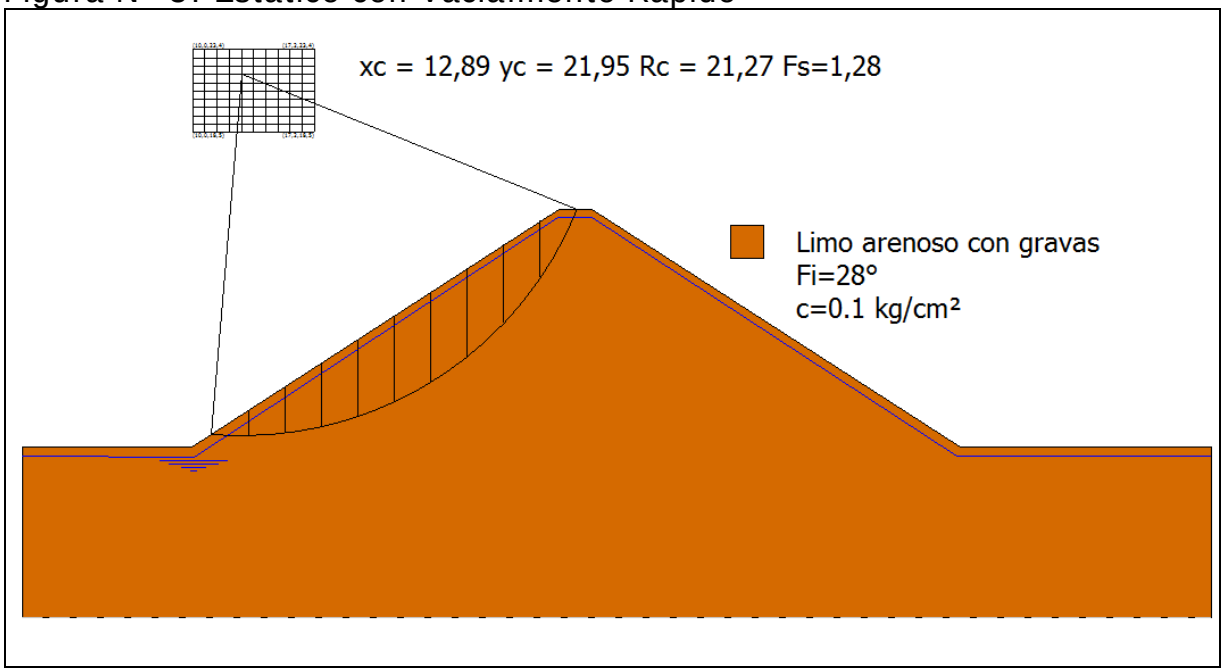


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

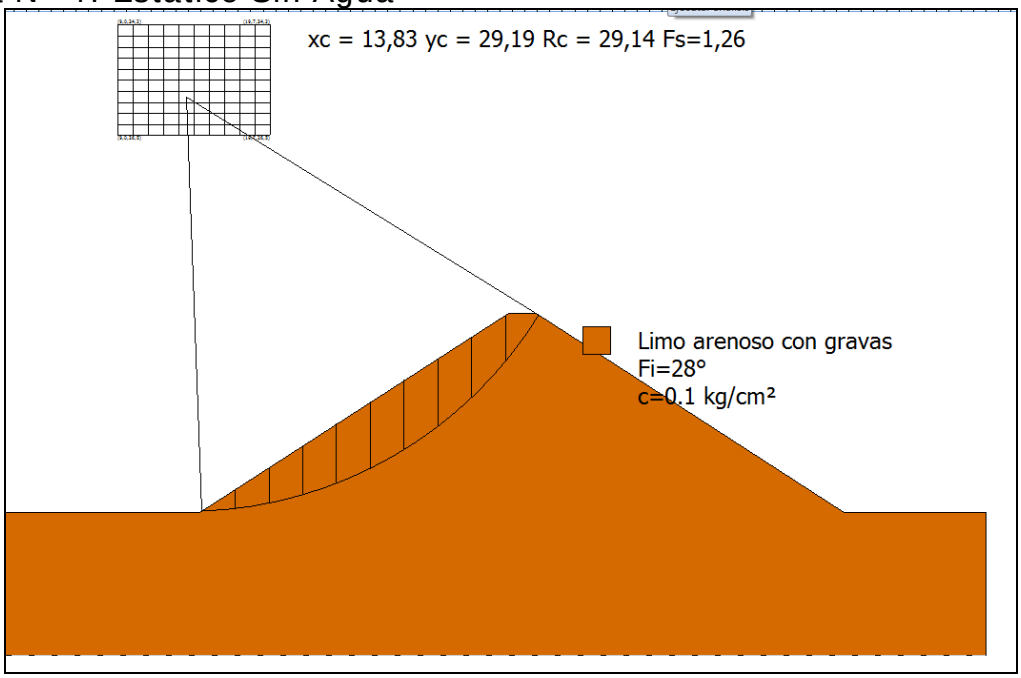
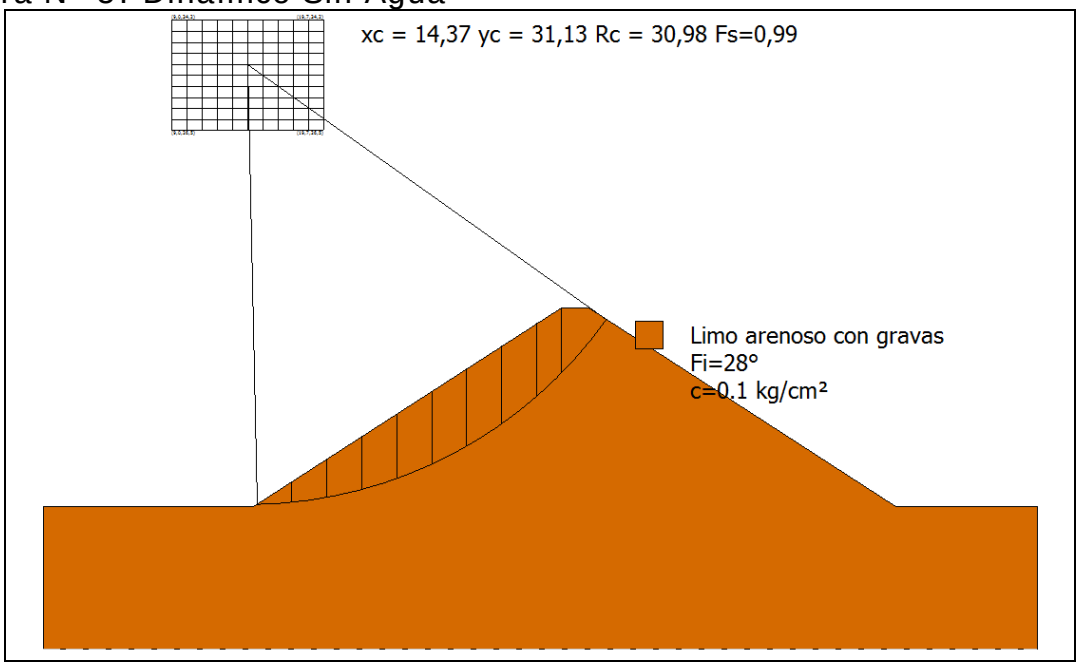


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) De la visita efectuada es posible concluir que el muro del embalse El Palqui quedó muy dañado por el terremoto del año 2010.

ii) Lo daños en el embalse se asocian fundamentalmente a lo esbelto y alto del muro, pues los rellenos que lo forman tienen una densidad de media a alta.

iii) A pesar del tiempo transcurrido desde el terremoto y a la vegetación existente, aún es posible observar grandes grietas, hundimientos y deslizamientos.

iv) Según lo informado por vecinos del sector, no se ha realizado reparación alguna, sin embargo, el embalse se ha utilizado hasta niveles del agua bastante altos, situación que es muy riesgosa.

v) Para el nivel de aguas existente al momento de la visita (embalse al 60% de su capacidad máxima) no se observaron filtraciones.

vi) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vii) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede decir lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

viii) Se considera de alto riesgo permitir el funcionamiento del embalse El Palqui de manera normal.

ix) Se recomienda establecer una norma de operación que no permita el llenado del embalse a ningún nivel.

Lo anterior se debería mantener hasta que se efectúen las reparaciones que indique un proyecto desarrollado por un ingeniero civil competente. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA.

13.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 10-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
El Palqui	Limos Arenosos	44,7	0	14,9	7	14,0	92,0	Si

13.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 10-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
El Palqui	Lateral	Canal de Tierra (vertedero 1)		2,5	2,5	5	0,002	0,035				**18,53**
	Lateral	Canal de Tierra (vertedero 2)		3	3	7	0,002	0,035				**36,94**

13.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: El Palqui, Melipilla

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	0,95

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	0,6

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	0,8
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 55,48 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,34 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 18,9 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	20,22	0,95
0,002 (T= 500 años)	22,48	
0,001 (T= 1.000 años)	24,74	

Como la capacidad efectiva es de 18,9 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 164 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,006.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,006 (T= 164 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente a al Sismo= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,03 x 0,95 x 1,0= 2,9 %

14. EMBALSE VILLA PELDEHUE 2

14.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Villa Peldehue 2.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Villa Peldehue 2			Nº de ficha	9
Propietario	Ejército de Chile			Fecha (dd/mm/año)	28/8/2014; 15:00 hrs.
	Calle Portada de Guías 1187, comuna de Santiago				
Año de construcción	1962			Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO				
Año de reparación					
Cuenca / Código DGA	Río maipo/ 057			Capacidad > 50.000 m3	Si
Subcuenca / Código DGA	Mapocho Bajo / 0573			Altura del muro > 5 m	Si
Fuente del recurso	Canal Fiscal Peldehue				

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Metropolitana	
Provincia	Chacabuco	
Comuna	Colina	
Coordenadas UTM Der		
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.328.905	Este= 348.334
Coordenadas UTM Izq		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud	793 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X (bosques en Las Tórtolas)
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	300 m
Ancho del coronamiento	4 m
Desarrollo del talud aguas abajo	17 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida	no apreciable
Paramentos verticales	No
Ángulo talud de aguas abajo	45°
Ángulo talud de aguas arriba	45°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente)	12
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	7
Área estimada o calculada de la poza (m2)	15.000
Ancho máximo de la poza (m)	70
Largo de la poza (m)	300
Volumen declarado o proyectado (m3)	60.000

7.A-CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7.B-ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	geometría regular
Compacidad del material estructural	media
Uniformidad de los taludes	uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no hay
Grietas visibles y su ubicación	1 a 2 apenas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación	No se observaron
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se observaron
Tipo de revestimiento del muro	no tiene

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	2	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	son 2 vertederos laterales sin control
Material constructivo	tierra y mampostería de piedra
Estado de conservación y operatividad	buen estado y operativos
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	a) Muro con sección cuadrada de 1 m x 1 m;
	b) sección cóncava de 3 m de ancho x 1 m de alto

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	compuerta
Mediciones estructurales	compuerta de 0,6 m de ancho x 1 m de alto; vástago de 2,5 m de altura; empotrado en muro de hormigón
Funcionamiento actual	compuerta operativa; desagüe en mal estado

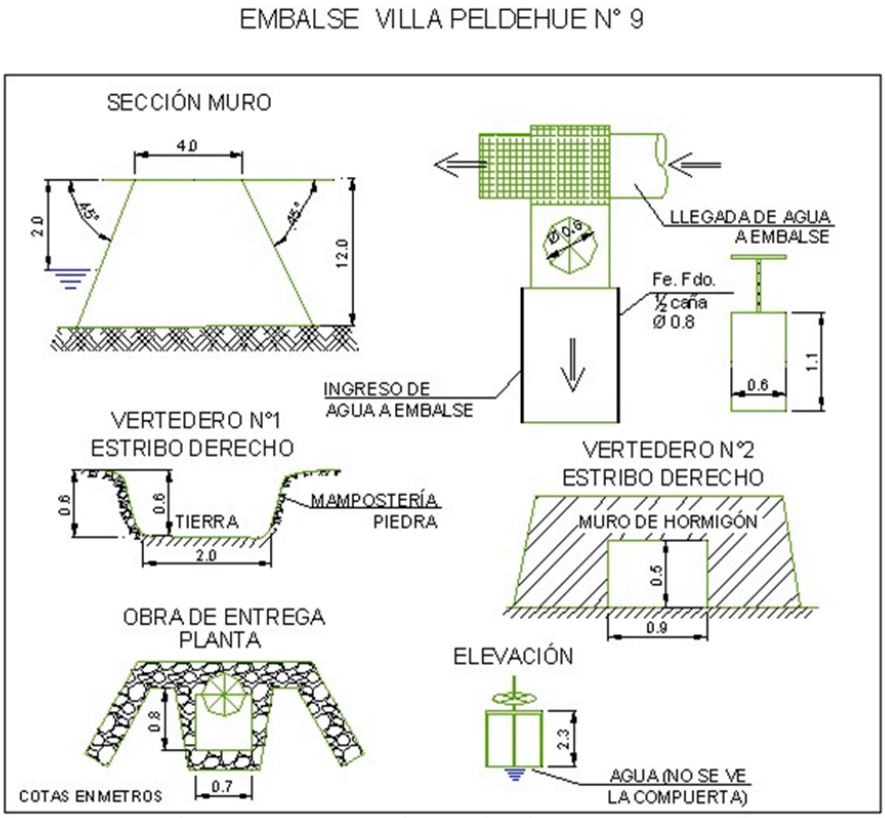
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno,	Ladera alterada, libre de vegetación, i= 0,082, poco claro
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,28 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	no hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	alta
Distancia hacia zonas agrícolas	0,28 km
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,28 km
Área de riego servida por el tranque analizado	no informado

11. OBSERVACIONES

Muro similar a cuando fue visitado en el año 2010;
Aparentemente no se la ha hecho ningún trabajo de reparación, y las grietas han sido tapadas por metarial que escurre en lluvias

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE VILLA PELDEHUE 2 (9)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

VERTEDERO 1

VERTEDERO 2

ENTREGA PARA RIEGO

LLEGADA DE AGUA DESDE CANAL (ALIMENTACIÓN DEL EMBALSE)

PRUEBA PENETROMÉTRICA

14.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Villa Peldehue 2, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado el embalse corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los que se encuentran naturalmente en el sector, es decir, limos arenosos, la compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Villa Peldehue 2 sufrió daños importantes debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. El embalse se forma por tres muros continuos, que podrían denominarse muro norte, muro oeste y muro sur. Dado que el muro oeste es el de mayor longitud y altura, las mediciones geométricas se efectuaron en él. De lo observado y lo comentado por vecinos del sector puede concluirse que, aparentemente, no se han efectuado reparaciones a los daños que presentaba el muro.

Sin embargo, debido al paso del tiempo y a la escorrentía de aguas lluvias, la mayoría de las grietas y fallas ya no son visibles, salvo una o dos que apenas pueden verse. Para el nivel de aguas de ese momento (embalse casi lleno) no se observaron filtraciones.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 410 m; ancho de coronamiento variable entre 2 y 4 m; inclinación talud aguas arriba 45°; altura talud aguas arriba hasta el nivel de agua 2 m; inclinación talud aguas abajo 45°; altura máxima talud aguas abajo 12 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

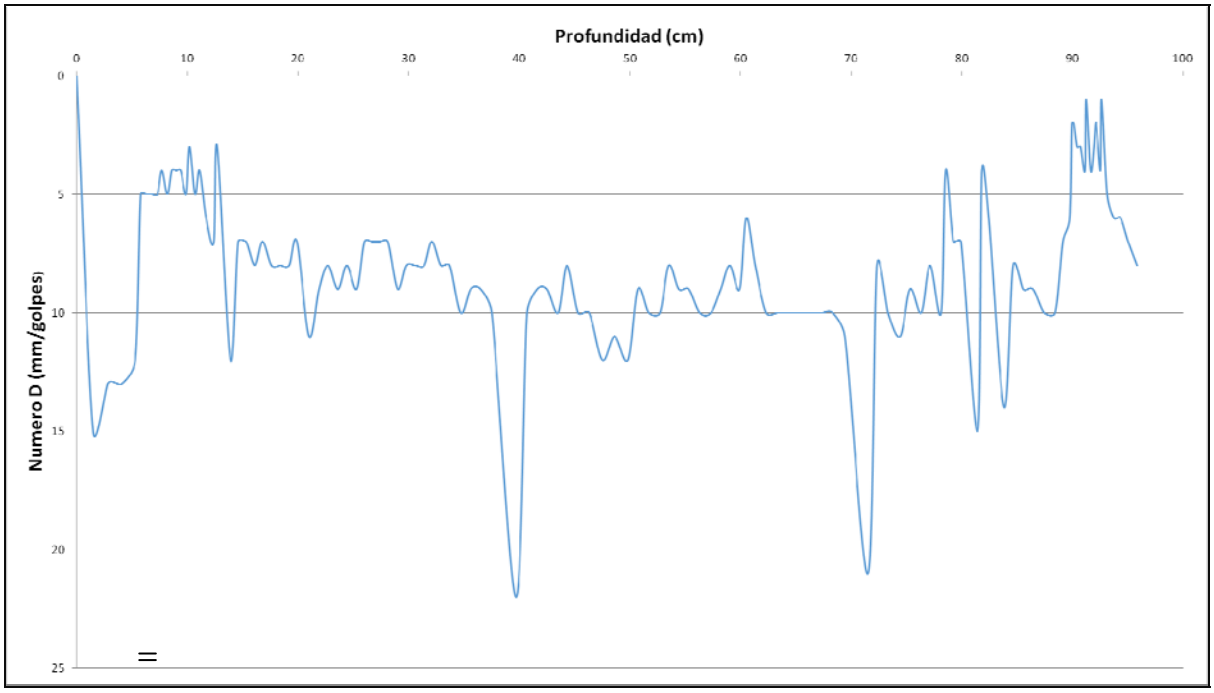
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

EMBALSE VILLA PELDEHUE 2

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Ind de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Ind de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Ind de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1,5	107	122	15	13,1	41	29,8	397	405	8	29,0	81	84,4	780	790	10	21,9
2	2,8	122	135	13	15,7	42	30,6	405	413	8	29,0	82	85,5	790	801	11	19,4
3	4,1	135	148	13	15,7	43	31,4	413	421	8	29,0	83	87,6	801	822	21	8,6
4	5,3	148	160	12	17,4	44	32,1	421	428	7	34,3	84	88,4	822	830	8	29,0
5	5,8	160	165	5	52,4	45	32,9	428	436	8	29,0	85	89,4	830	840	10	21,9
6	6,3	165	170	5	52,4	46	33,7	436	444	8	29,0	86	90,5	840	851	11	19,4
7	6,8	170	175	5	52,4	47	34,7	444	454	10	21,9	87	91,4	851	860	9	25,0
8	7,3	175	180	5	52,4	48	35,6	454	463	9	25,0	88	92,4	860	870	10	21,9
9	7,7	180	184	4	69,4	49	36,5	463	472	9	25,0	89	93,2	870	878	8	29,0
10	8,2	184	189	5	52,4	50	37,5	472	482	10	21,9	90	94,2	878	888	10	21,9
11	8,6	189	193	4	69,4	51	39,7	482	504	22	8,1	91	94,6	888	892	4	69,4
12	9,0	193	197	4	69,4	52	40,7	504	514	10	21,9	92	95,3	892	899	7	34,3
13	9,4	197	201	4	69,4	53	41,6	514	523	9	25,0	93	96,0	899	906	7	34,3
14	9,9	201	206	5	52,4	54	42,5	523	532	9	25,0	94	97,5	95	110	15	13,1
15	10,2	206	209	3	99,7	55	43,5	532	542	10	21,9	95	97,9	110	114	4	69,4
16	10,7	209	214	5	52,4	56	44,3	542	550	8	29,0	96	98,5	114	120	6	41,6
17	11,1	214	218	4	69,4	57	45,3	550	560	10	21,9	97	99,9	120	134	14	14,3
18	11,7	218	224	6	41,6	58	46,3	560	570	10	21,9	98	100,7	134	142	8	29,0
19	12,4	224	231	7	34,3	59	47,5	570	582	12	17,4	99	101,6	142	151	9	25,0
20	12,7	231	234	3	99,7	60	48,6	582	593	11	19,4	100	102,5	151	160	9	25,0
21	13,9	234	246	12	17,4	61	49,8	593	605	12	17,4	101	103,5	160	170	10	21,9
22	14,6	246	253	7	34,3	62	50,7	605	614	9	25,0	102	104,5	170	180	10	21,9
23	15,3	253	260	7	34,3	63	51,7	614	624	10	21,9	103	105,2	180	187	7	34,3
24	16,1	260	268	8	29,0	64	52,7	624	634	10	21,9	104	105,8	187	193	6	41,6
25	16,8	268	275	7	34,3	65	64,5	634	752	118	1,0	105	106,0	193	195	2	166,2
26	17,6	275	283	8	29,0	66	65,4	642	651	9	25,0	106	106,2	195	197	2	166,2
27	18,4	283	291	8	29,0	67	66,3	651	660	9	25,0	107	106,5	197	200	3	99,7
28	19,2	291	299	8	29,0	68	67,3	660	670	10	21,9	108	106,8	0	3	3	99,7
29	19,9	299	306	7	34,3	69	68,3	670	680	10	21,9	109	107,2	3	7	4	69,4
30	21,0	306	317	11	19,4	70	69,2	680	689	9	25,0	110	107,3	7	8	1	398,1
31	21,9	317	326	9	25,0	71	70,0	689	697	8	29,0	111	107,7	8	12	4	69,4
32	22,7	326	334	8	29,0	72	70,9	697	706	9	25,0	112	108,0	12	15	3	99,7
33	23,6	334	343	9	25,0	73	71,5	706	712	6	41,6	113	108,2	15	17	2	166,2
34	24,4	343	351	8	29,0	74	72,3	712	720	8	29,0	114	108,6	17	21	4	69,4
35	25,3	351	360	9	25,0	75	73,3	720	730	10	21,9	115	108,7	21	22	1	398,1
36	26,0	360	367	7	34,3	76	74,3	730	740	10	21,9	116	109,2	22	27	5	52,4
37	26,7	367	374	7	34,3	77	75,3	740	750	10	21,9	117	109,8	27	33	6	41,6
38	27,4	374	381	7	34,3	78	76,3	750	760	10	21,9	118	110,4	33	39	6	41,6
39	28,1	381	388	7	34,3	79	82,4	760	821	61	2,2	119	111,1	39	46	7	34,3
40	29,0	388	397	9	25,0	80	83,4	770	780	10	21,9	120	111,9	46	54	8	29,0

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que, para la profundidad analizada, el índice de penetración (Numero D) presenta, en general, valores entre 5 y 10 mm/golpe. Esto se puede relacionar con suelos de compacidad media a alta. Entre las profundidades 6 a 12 cm y 88 a 96 se encontró estratos de mayor consistencia, con valores menores a 5 mm/golpes. Por otra parte, en dos puntos aislados, el índice de penetración aumenta a valores sobre 20 mm/golpes.

14.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Villa Peldehue 2, se ubica en la comuna de Colina, provincia de Chacabuco, Región Metropolitana, y se accede a él a través del camino a las Termas de Colina (empalmado a la Autopista Los Libertadores, ruta 57); metros después del empalme, se vira a la izquierda por calle Tte. Ramírez, hacia el norte, para finalmente tomar la calle Enrique Cabrera (también hacia el norte). Para ingresar al recinto se debe cruzar a pie un potrero deshabitado.

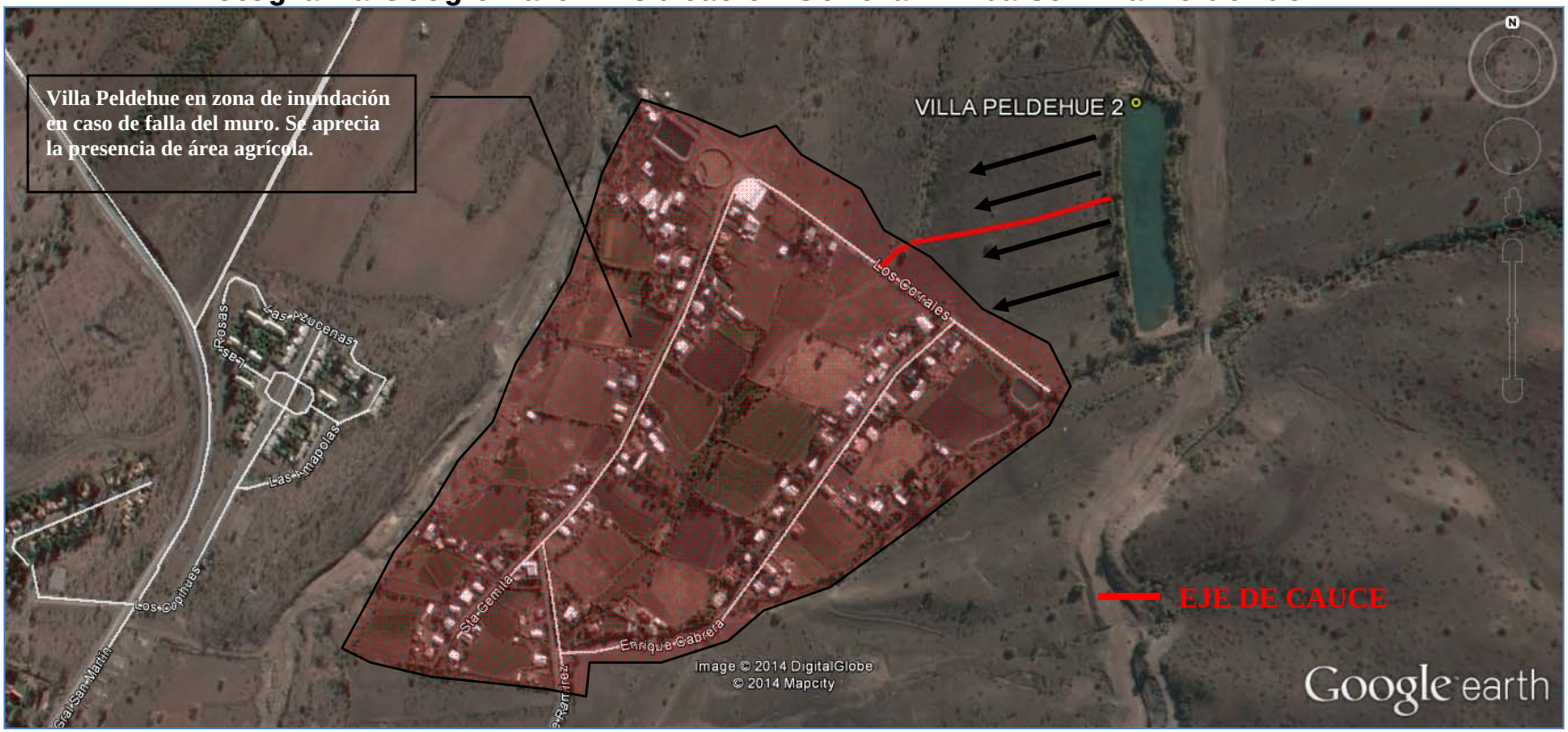
Si bien el embalse cuenta con canalización artificial para la entrega del recurso, el cauce principal en caso de falla corresponde a la ladera del cerro aguas abajo del muro principal, a continuación del cual, a unos 280m, se encuentra Villa Peldehue, cuya densidad poblacional es de tipo media. Dicha ladera se encuentra libre de toda vegetación y posee una pendiente media de 8,2% (pendiente fuerte).

Por su parte, la infraestructura amenazada ante un eventual colapso del muro es de tipo urbana, encontrándose calles pavimentadas, sistemas de distribución AP, de recolección AS, luminaria pública, etcétera.

En cuanto al área agrícola, ésta se encuentra dentro de la villa, por lo que se vería igualmente afectada.

En el siguiente fotograma se muestra la situación del embalse respecto de su entorno.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Villa Peldehue 2



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Villa Peldehue 2:

CUADRO 14-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE VILLA PELDEHUE 2

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Villa Peldehue 2	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Ladera alterada	---
	Tipo de Terreno	Árido (libre de vegetación)	---
	Pendiente Media	0,082	m/m
	Ancho medio	Igual a la longitud de falla eventual del muro	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,28	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,28	km
	Zonas Agrícolas	0,28	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Alta	---

14.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Villa Peldehue 2	4,611	3,864	1436	788	648

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,374	0,395	1,209	0,792

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 14-2 siguiente.

CUADRO 14-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
9 Embalse Villa Peldehue 2	**2**	1,29	1,27	2,00	3,66	-	3,66	3,66
	5	2,27	2,78	3,98	5,59	-	5,59	5,59
	10	3,07	4,20	5,73	7,03	-	7,03	7,03
	20	3,96	5,96	7,81	8,93	-	8,93	8,93
	25	4,26	6,63	8,57	9,32	-	9,32	9,32
	50	5,28	8,71	10,91	11,23	-	11,23	11,23
	100	6,44	11,89	14,44	13,59	-	13,59	14,44
	250	7,40	13,22	16,20	15,39	-	15,39	16,20
	500	8,31	15,05	18,35	17,12	-	17,12	18,35
	1000	9,21	16,89	20,50	18,86	-	18,86	20,50

14.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Villa Peldehue 2 fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Villa Peldehue 2	Limo arenoso	28	0,10	1,80	12	45	45	2 a 4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.08
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	0.93
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.00

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.01
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	0.87

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

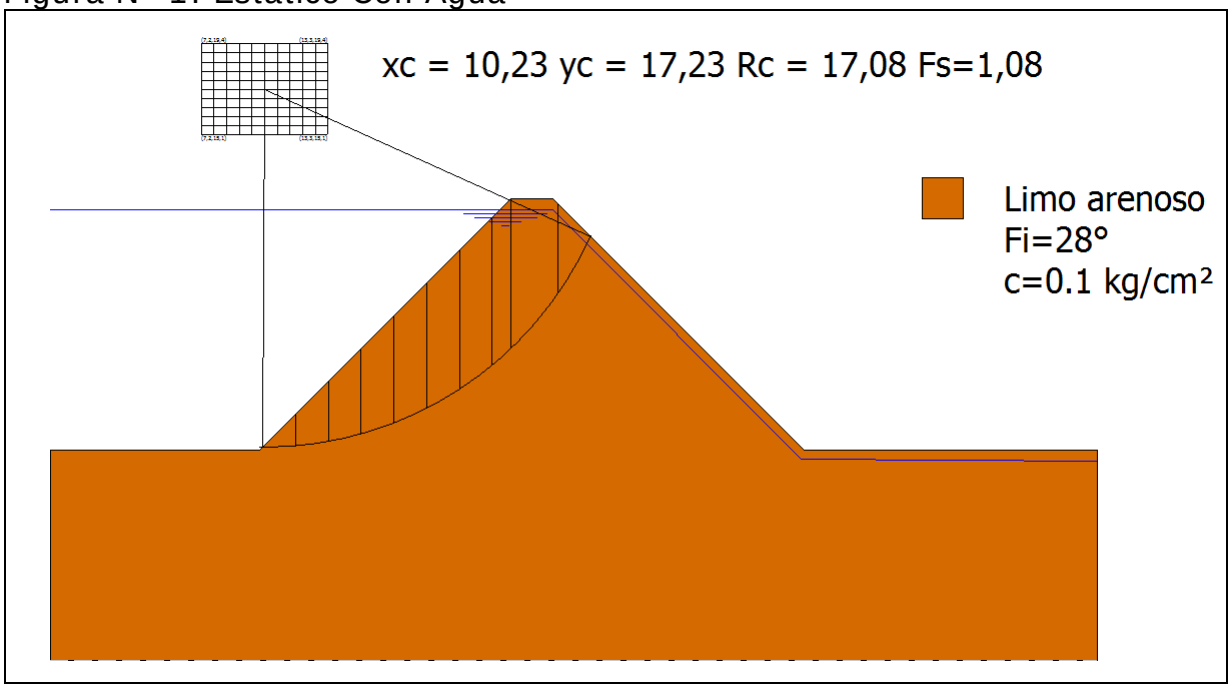


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

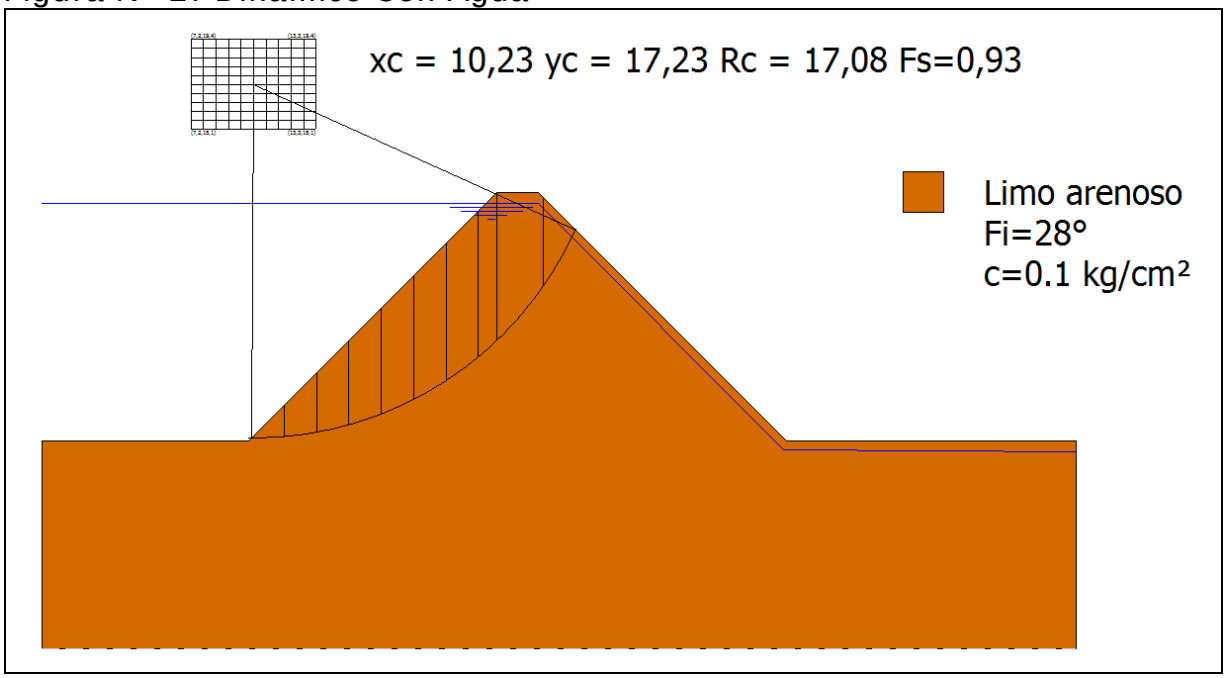
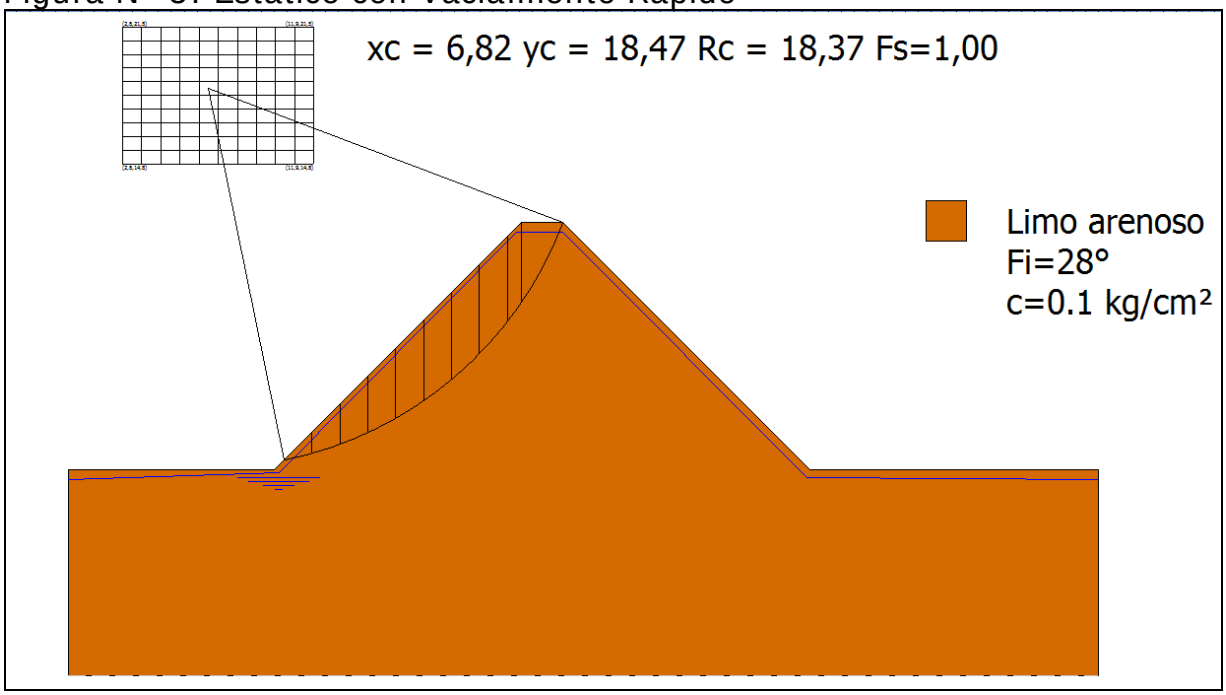


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

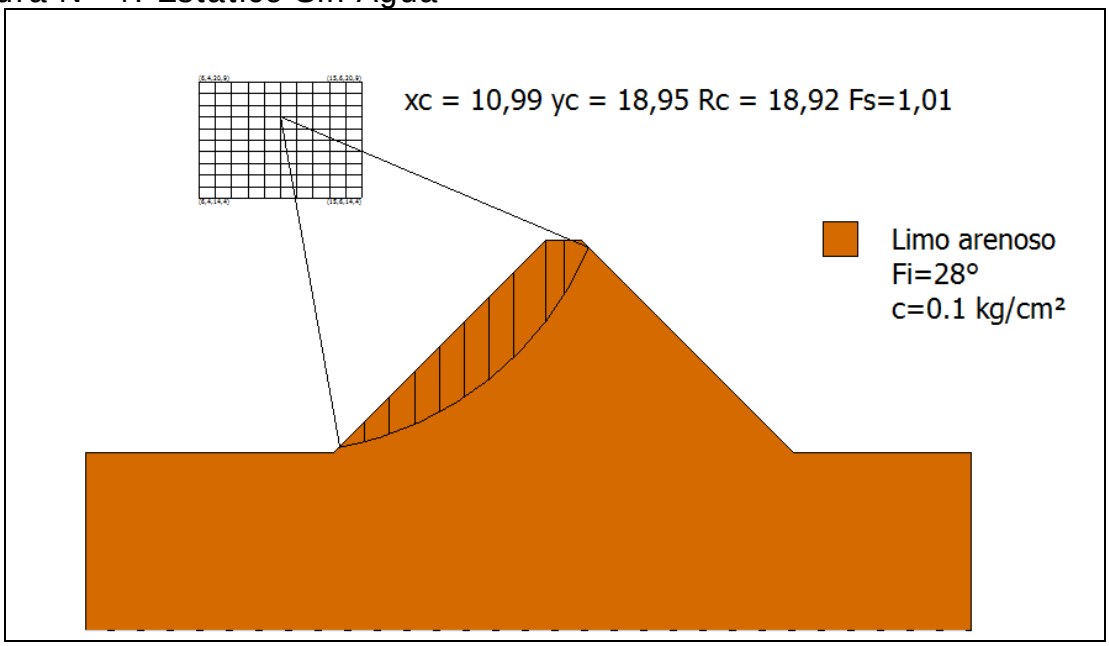
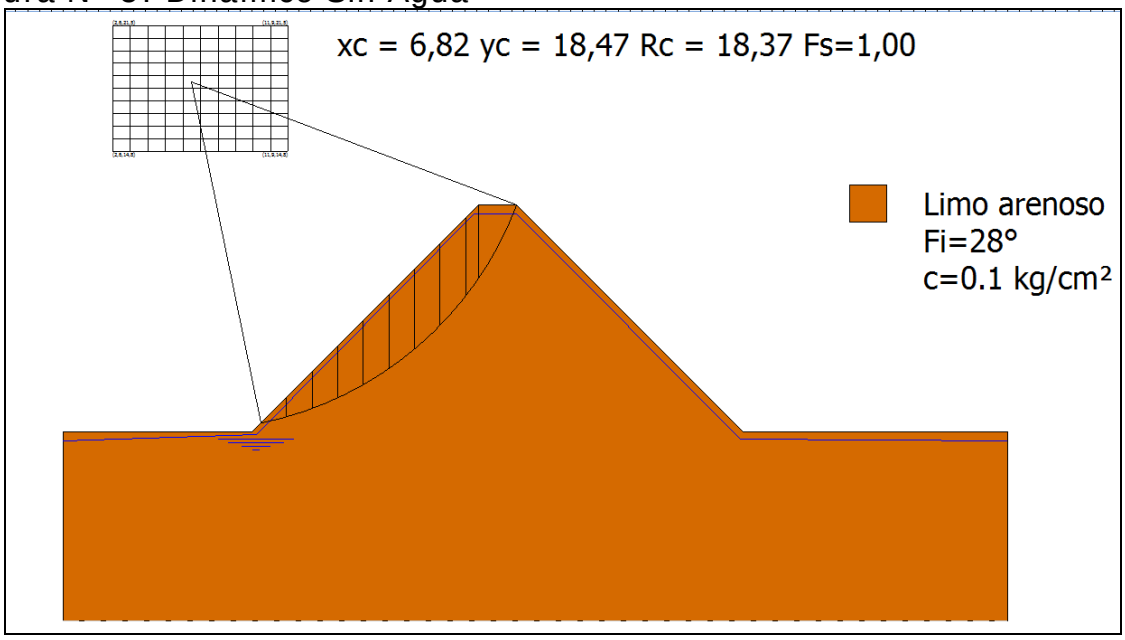


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El embalse Villa Peldehue 2 se forma por tres muros continuos, que podrían denominarse muro norte, muro oeste y muro sur. El muro oeste es el de mayor longitud y altura.

ii) De lo observado y lo comentado por vecinos del sector puede concluirse que, aparentemente, no se han efectuado reparaciones a los daños que presentaba el muro. Sin embargo, debido al paso del tiempo y a la escorrentía de aguas lluvias, la mayoría de las grietas y fallas ya no son visibles, salvo una o dos que apenas pueden verse.

iii) Para el nivel de aguas existente al momento de la visita (embalse casi lleno) no se observaron filtraciones.

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede decir lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

vi) En base a los puntos anteriores se considera peligroso permitir el funcionamiento normal del tranque Villa Peldehue 2.

vii) Se recomienda restringir el llenado del embalse hasta la mitad de la altura máxima, considerada hasta cota de vertedero, durante la época de riego.

viii) En período de lluvias el embalse debería mantenerse vacío.

Lo anterior se debería mantener mientras no se efectúen las obras de reparación que indique un estudio desarrollado por un ingeniero civil competente. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA.

14.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 14-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Villa Peldehue 2	Limos Arenosos	27,9	0	9,3	6	12,0	72,0	Si

14.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 14-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Villa Peldehue 2	Lateral	Hormigón, pared gruesa	2	0,6	0,6							**2,92**
	Lateral	Canal de Tierra		0,5	0,5	0,9	0,002	0,03				**0,26**

14.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Villa Peldehue 2, Colina

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g** es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 (sismo intraplaca)

R= **150** **km**
M= **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	0,95

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	0,8
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 3,18 m3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,56 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 1,8 m3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	15,39	0,95
0,002 (T= 500 años)	17,12	
0,001 (T= 1.000 años)	18,86	

Como la capacidad efectiva es de 1,8 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,5.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,5 (T= 2 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,5
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,5 x 0,95 x 1,0= 47,5 %

15. EMBALSE HUECHÚN BAJO

15.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Huechún Bajo.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	HUECHÚN BAJO		Nº de ficha	10
Propietario	Comunidad de Aguas Tranque Huechún		Fecha (dd/mm/año)	01-10-2014
	Bajo. Pdte. Guillermo Jara, Casilla Nº 248			
	comuna de Melipilla			
Año de construcción	1940		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO			
Año de reparación				
Cuenca / Código DGA	Río Maipo/057		Capacidad > 50.000 m3	Si
Subcuenca / Código DGA	Río Maipo Bajo (entre río mapocho y desembocadura) / 0574		Altura del muro > 5 m	Si
Fuente del recurso	Canal Matriz			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Metropolitana
Provincia	Melipilla
Comuna	Melipilla
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.287.626 Este= 286.309
Coordenadas UTM Izq	
Datum	WGS-84, Huso 19
Altitud	128 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	135 m
Ancho del coronamiento	3,5 m
Desarrollo del talud aguas abajo	
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida	no apreciable
Paramentos verticales	No
Ángulo talud de aguas abajo	33,7º y 18,4º
Ángulo talud de aguas arriba	72º

NOTA: al momento de la visita, la vegetación impedía poder medir taludes y desarrollos; como al embalse no se le ha hecho ninguna clase de trabajo, las mediciones hechas por este consultor en el año 2010 se mantendrán.

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	7
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	50.000
Ancho máximo de la poza (m)	150
Largo de la poza (m)	376
Volumen declarado o proyectado (m3)	270.000

7.A-CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7.B-ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Embalse se encuentra con fallas graves
Compacidad del material estructural	media a baja
Uniformidad de los taludes	aguas abajo sí; aguas arriba poco uniforme (casi vertical en algunos sectores)
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	si, en varios puntos a lo largo de su coronamiento
Grietas visibles y su ubicación	No se pudieron observar
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se pudieron observar
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al	No se pudieron observar
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se observan
Tipo de revestimiento del muro	sin revestimiento

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	X

Los datos a consignar son:	Son 3 tubos de acero corrugado de 0,8 m de diámetro
Tipo de vertedero	frontal de pared gruesa
Material constructivo	hormigón armado
Estado de conservación y operatividad	buen estado, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	4 m x 3 m; 0,4 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	son 2 obras de entrega que operan con válvulas y descargan a canal
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativos 100 %

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO AGUAS

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Valle cultivado al pie del muro, i= 0,015, 135 m (ancho muro)
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	adyacente
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	adyacente
Densidad de población en las cercanías del tranque	media
Distancia hacia zonas agrícolas	adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	adyacente
Área de riego servida por el tranque analizado	200 ha

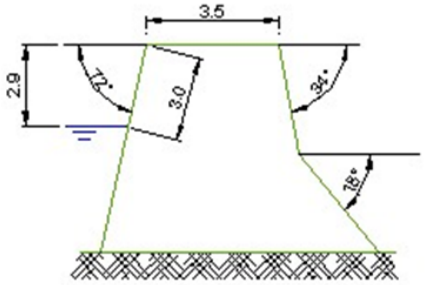
11. OBSERVACIONES

Embalse en malas condiciones
No fue reparado después del terremoto de 27 F 2010

12. MONOGRAFÍAS

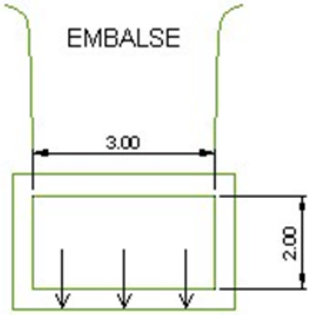
EMBALSE HUECHÚN BAJO N° 10

SECCIÓN MURO



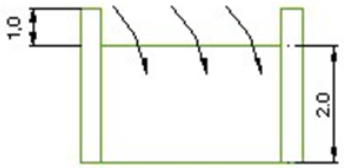
NOTA: TALUDES MEDIDOS EN AÑO 2010; AHORA IMPOSIBLE MEDIRLO Y AL EMBALSE NO LE HAN HECHO NINGÚN ARREGLO.

VERTEDERO LATERAL



TRES TUBOS DE ACERO CORRUGADO
D=0.8m

NOTA: EL AGUA ESTABA ESCURRIENDO POR EL FONDO NO POR LA PARED DEL VERTEDERO.



COTAS EN METROS

EMBALSE HUECHÚN BAJO (10)

CORONAMIENTO Y TALUDES AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO (mucha vegetación)

VERTEDERO

ENTREGA A CANAL CON TUBO BAJO EL MURO

SEÑALES DE DAÑOS EN TALUD DE AGUAS ARRIBA

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

15.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Huechún Bajo, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media en estado natural.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, limos arenosos. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

De lo observado en la visita efectuada es posible concluir, que el muro del embalse Huechún Bajo quedó muy dañado por el terremoto del año 2010. Los daños consistieron fundamentalmente en grietas longitudinales, hundimientos y deslizamientos del talud de aguas arriba. Si bien la vegetación existente y el tiempo transcurrido desde el terremoto impiden ver hoy los daños sufridos por el muro, observando con atención es posible detectar aún los hundimientos en el coronamiento. Las grietas han sido rellenadas con material fino transportado por las lluvias y los deslizamientos no se pueden ver debido a la vegetación que cubre el talud de aguas arriba.

Según lo informado por vecinos del sector no se ha efectuado ningún tipo de reparación al muro, sin embargo, el embalse se ha utilizado hasta niveles del agua bastante altos, situación que es muy riesgosa.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de aguas existente (embalse al 80% de su capacidad máxima), debido a la espesa vegetación, no fue posible determinar la existencia de filtraciones en el talud de aguas abajo.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total de los muro 135 m; ancho de coronamiento variable entre 3 y 4 m; inclinación talud aguas arriba 72°; altura hasta el nivel de agua 2.9 m; inclinación talud aguas abajo 34°; altura máxima talud aguas abajo se estima en 6 metros ya que fue imposible medirla.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

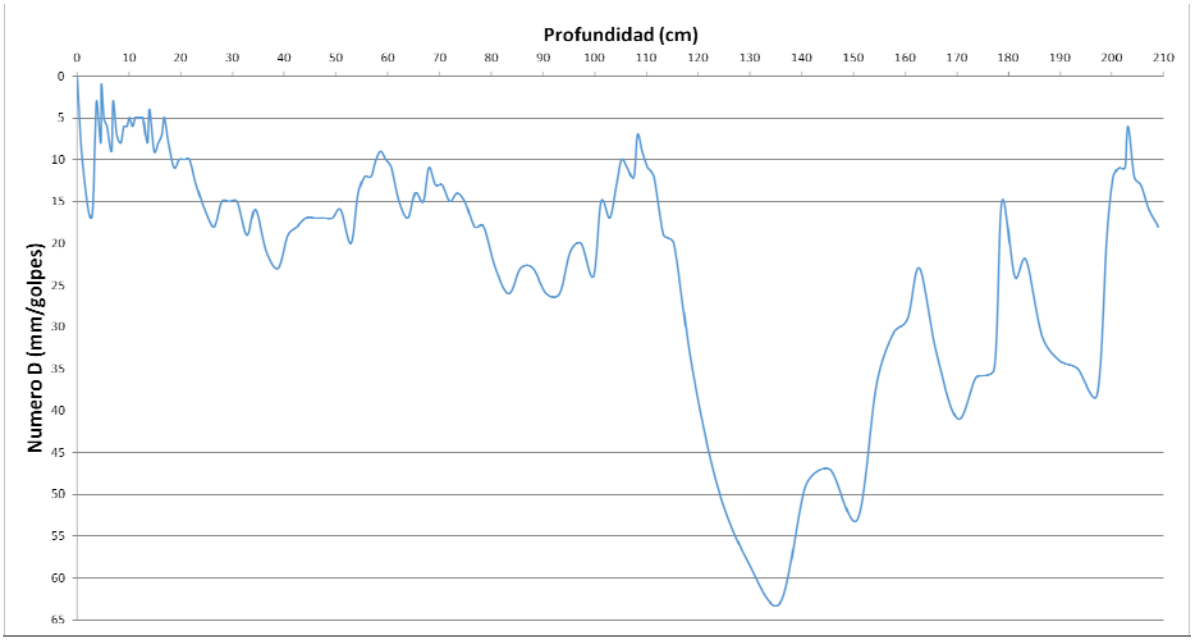
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Huechun

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	1.0	110	120	10	21.9	41	38.8	468	491	23	7.7	81	125.5	130	140	10	21.9
2	2.7	120	137	17	11.2	42	40.7	491	510	19	9.7	82	126.6	140	151	11	19.4
3	3.4	130	137	7	34.3	43	42.5	510	528	18	10.4	83	127.8	151	163	12	17.4
4	3.7	137	140	3	99.7	44	44.2	528	545	17	11.2	84	128.5	163	170	7	34.3
5	4.5	140	148	8	29.0	45	45.9	545	562	17	11.2	85	129.4	170	179	9	25.0
6	4.6	148	149	1	398.1	46	47.6	562	579	17	11.2	86	130.5	179	190	11	19.4
7	5.1	149	154	5	52.4	47	49.3	579	596	17	11.2	87	131.7	190	202	12	17.4
8	5.7	154	160	6	41.6	48	50.9	596	612	16	12.1	88	133.6	202	221	19	9.7
9	6.6	160	169	9	25.0	49	52.9	612	632	20	9.1	89	135.6	221	241	20	9.1
10	6.9	169	172	3	99.7	50	54.3	632	646	14	14.3	90	139.1	241	276	35	4.5
11	7.6	172	179	7	34.3	51	55.5	646	658	12	17.4	91	144.0	276	325	49	3.0
12	8.4	179	187	8	29.0	52	56.7	658	670	12	17.4	92	149.8	325	383	58	2.4
13	9.0	187	193	6	41.6	53	57.7	670	680	10	21.9	93	156.1	383	446	63	2.2
14	9.6	193	199	6	41.6	54	58.6	680	689	9	25.0	94	161.0	446	495	49	3.0
15	10.1	199	204	5	52.4	55	59.6	689	699	10	21.9	95	165.7	495	542	47	3.1
16	10.7	204	210	6	41.6	56	60.7	699	710	11	19.4	96	171.0	542	595	53	2.7
17	11.2	210	215	5	52.4	57	62.2	710	725	15	13.1	97	174.7	595	632	37	4.2
18	11.7	215	220	5	52.4	58	63.9	725	742	17	11.2	98	177.8	632	663	31	5.3
19	12.2	220	225	5	52.4	59	65.3	742	756	14	14.3	99	180.7	663	692	29	5.7
20	12.7	225	230	5	52.4	60	66.8	756	771	15	13.1	100	183.0	692	715	23	7.7
21	13.5	230	238	8	29.0	61	67.9	771	782	11	19.4	101	186.3	715	748	33	4.9
22	13.9	238	242	4	69.4	62	69.2	782	795	13	15.7	102	190.4	748	789	41	3.7
23	14.8	242	251	9	25.0	63	70.5	795	808	13	15.7	103	194.0	789	825	36	4.4
24	15.6	251	259	8	29.0	64	72.0	808	823	15	13.1	104	197.5	825	860	35	4.5
25	16.3	259	266	7	34.3	65	73.4	823	837	14	14.3	105	199.0	44	59	15	13.1
26	16.8	266	271	5	52.4	66	74.9	837	852	15	13.1	106	201.4	59	83	24	7.3
27	17.6	271	279	8	29.0	67	76.7	852	870	18	10.4	107	203.6	83	105	22	8.1
28	18.7	279	290	11	19.4	68	78.5	870	888	18	10.4	108	206.7	105	136	31	5.3
29	19.7	290	300	10	21.9	69	80.8	73	96	23	7.7	109	210.1	136	170	34	4.7
30	20.7	300	310	10	21.9	70	83.4	96	122	26	6.6	110	213.6	170	205	35	4.5
31	21.7	310	320	10	21.9	71	85.7	122	145	23	7.7	111	217.4	5	43	38	4.1
32	23.0	320	333	13	15.7	72	88.0	145	168	23	7.7	112	219.3	43	62	19	9.7
33	24.6	333	349	16	12.1	73	90.6	168	194	26	6.6	113	220.5	62	74	12	17.4
34	26.4	349	367	18	10.4	74	93.2	194	220	26	6.6	114	221.6	74	85	11	19.4
35	27.9	367	382	15	13.1	75	95.3	20	41	21	8.6	115	222.7	85	96	11	19.4
36	29.4	382	397	15	13.1	76	97.3	41	61	20	9.1	116	223.3	96	102	6	41.6
37	30.9	397	412	15	13.1	77	99.7	61	85	24	7.3	117	224.5	102	114	12	17.4
38	32.8	412	431	19	9.7	78	112.2	85	210	125	0.9	118	230.0	114	169	55	2.6
39	34.4	431	447	16	12.1	79	123.2	100	210	110	1.1	119	231.6	127	143	16	12.1
40	36.5	447	468	21	8.6	80	124.5	117	130	13	15.7	120	233.4	143	161	18	10.4

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que entre 0 a 110 cm de profundidad los valores del Numero D están entre 5 y 25 mm/golpes, lo que se relaciona a un suelo de compacidad media. Por otra parte luego de los 120 cm de profundidad los estratos se vuelven más blandos o con menor compacidad que los estratos anteriores, con valores del número D que sobrepasan 20 mm/golpes y en algunos casos llegan hasta los 60 mm/golpes.

15.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Al embalse de riego Huechún Bajo, ubicado en la comuna de Melipilla, Región Metropolitana, se llega a través de la ruta G-78 (Autopista del Sol); llegando al by-pass Rancagua, cruzar el puente Ingeniero Marambio y, antes de finalizar el puente, tomar camino a Melipilla y Huechún. Pocos metros después del desvío, tomar la ruta G-670 (camino Huechún), la que lleva al embalse.

Si bien el embalse cuenta con canalización artificial para la entrega del recurso, el cauce principal en caso de colapso corresponde al valle ubicado directamente al pie del muro, valle en el cual se presenta tanto superficie

cultivada como viviendas e instalaciones agrícolas, además de árboles y arbustos.

La pendiente de este valle en su primer tramo es del orden del 1,53%, con una longitud de 0,262m, medidos desde el muro hasta la intersección del valle con la ruta G-670.

Por ende, los elementos en riesgo ante una eventual falla del muro del embalse son:

- Superficies de riego, ubicados al pie del embalse.
- Viviendas e instalaciones agrícolas, ubicadas al pie del embalse.
- Ruta G-670, adyacente al embalse y al área de inundación.

En el siguiente fotograma se muestra la situación del embalse respecto de su entorno.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Huechún Bajo y Zonas Aledañas

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Huechún Bajo:

CUADRO 15-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE HUECHÚN BAJO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Huechún Bajo	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle al pie del embalse	---
	Tipo de Terreno	Valle cultivado	---
	Pendiente Media	0,015	m/m
	Ancho medio	Igual a la longitud de falla eventual del muro	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	Adyacente	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	Adyacente	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	Adyacente	---
	Zonas Agrícolas	Adyacente	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Media	---

15.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Huechún Bajo	1,718	1,859	257	129	128

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,300	0,562	1,090	0,695

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 15-2 siguiente.

CUADRO 15-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
10 Embalse Huechún Bajo	**2**	0,39	0,76	0,92	1,13	-	1,13	1,13
	5	1,22	1,66	1,83	1,93	-	1,93	1,93
	10	2,19	2,52	2,63	2,55	-	2,55	2,63
	20	3,52	3,57	3,58	3,44	-	3,44	3,58
	25	4,07	3,97	3,94	3,58	-	3,58	4,07
	50	6,05	5,23	5,01	4,43	-	4,43	6,05
	100	8,68	7,13	6,63	5,54	-	5,54	8,68
	250	9,45	7,93	7,44	6,29	-	6,29	9,45
	500	10,89	9,03	8,43	7,06	-	7,06	10,89
	1000	12,32	10,13	9,41	7,83	-	7,83	12,32

15.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Huechún Bajo fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Huenchún Bajo	Limo arenoso	28	0,10	1,80	6	72	34	3 a 4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	0.94
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	0.79
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	0.90

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.65
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.30

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

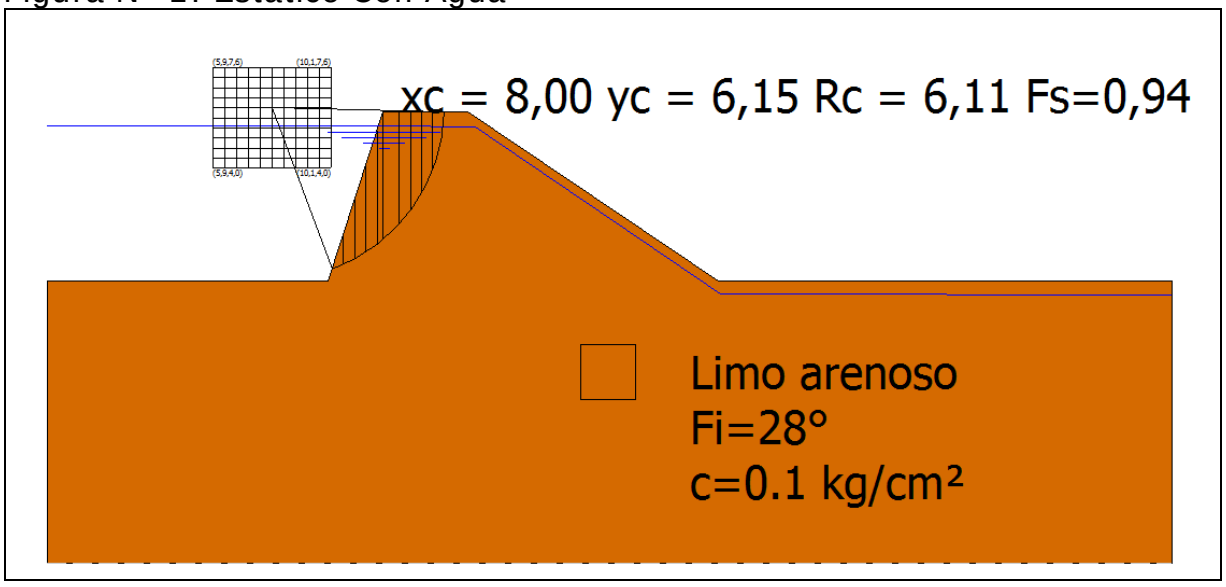


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

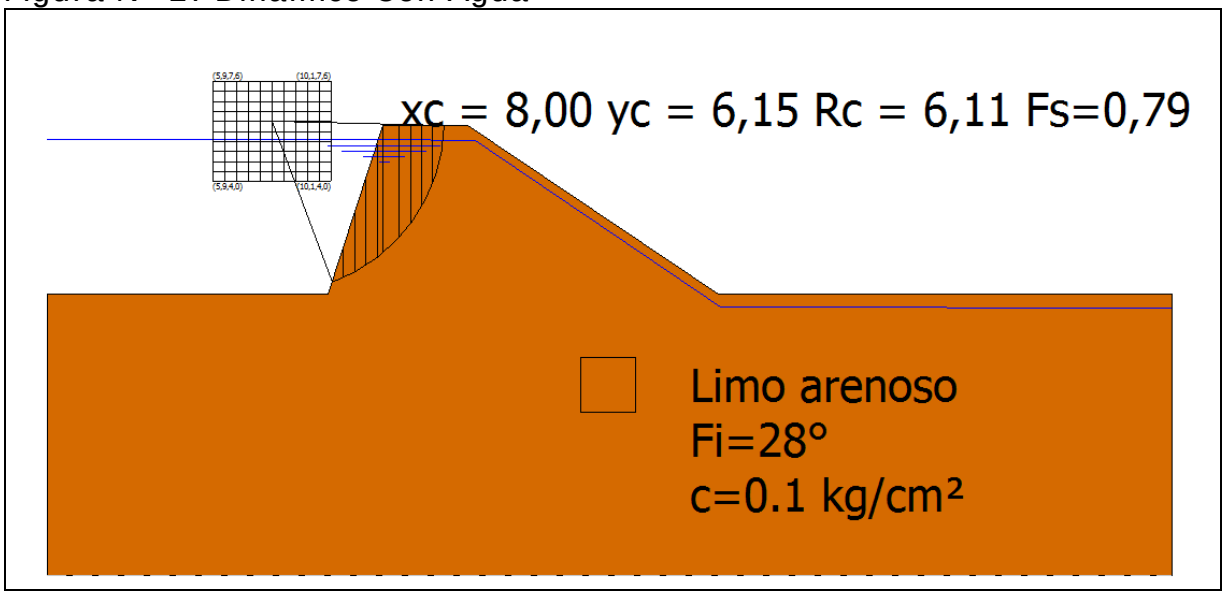
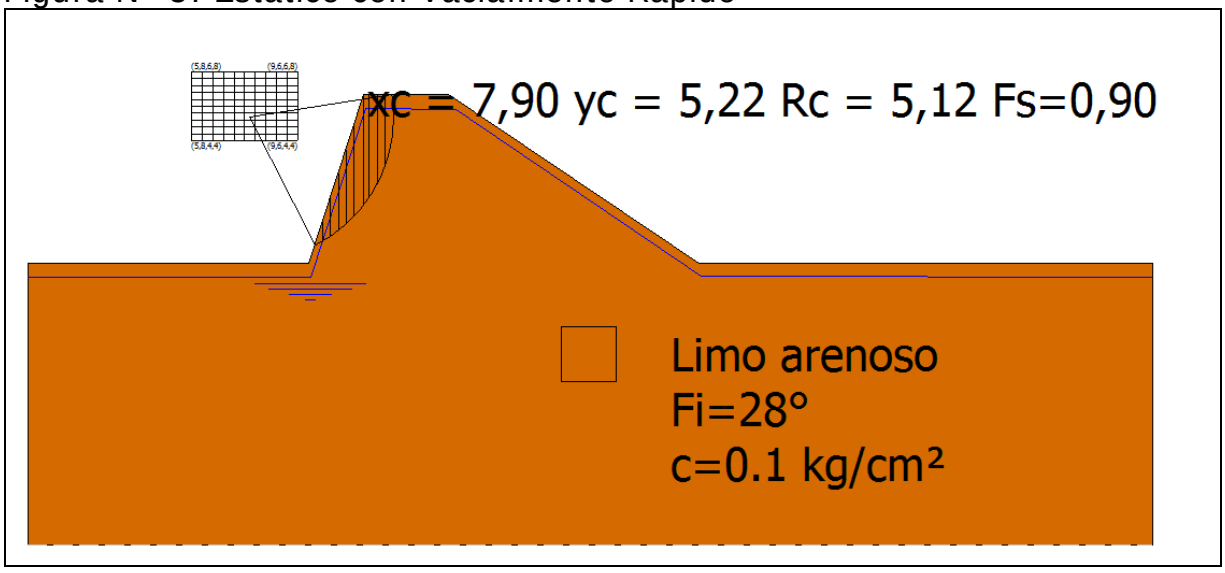


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

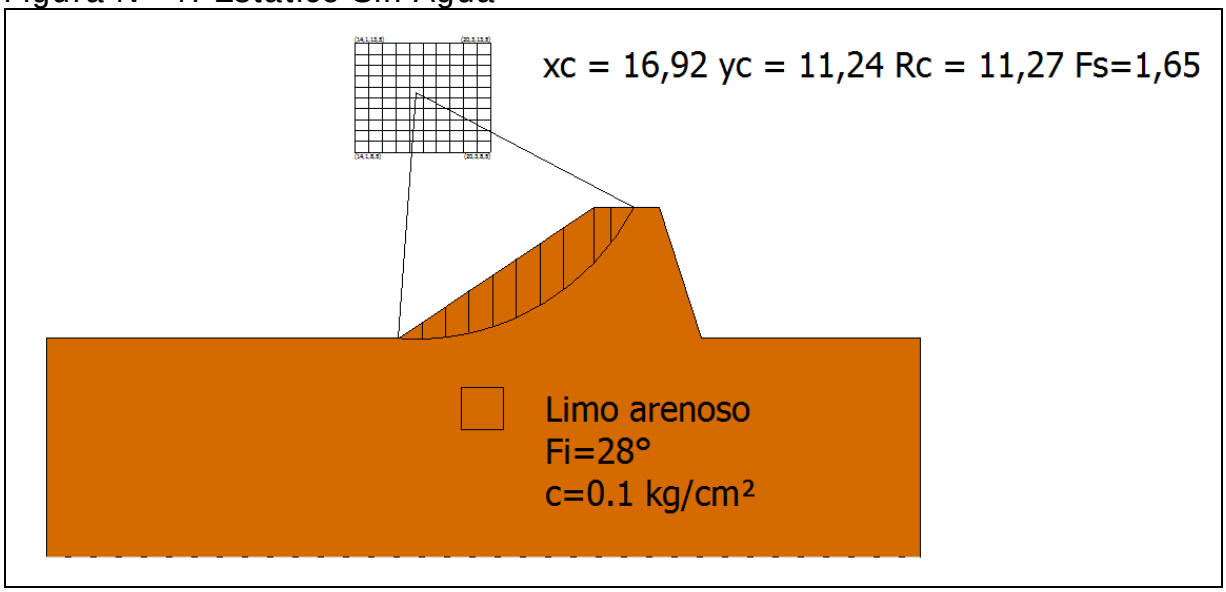
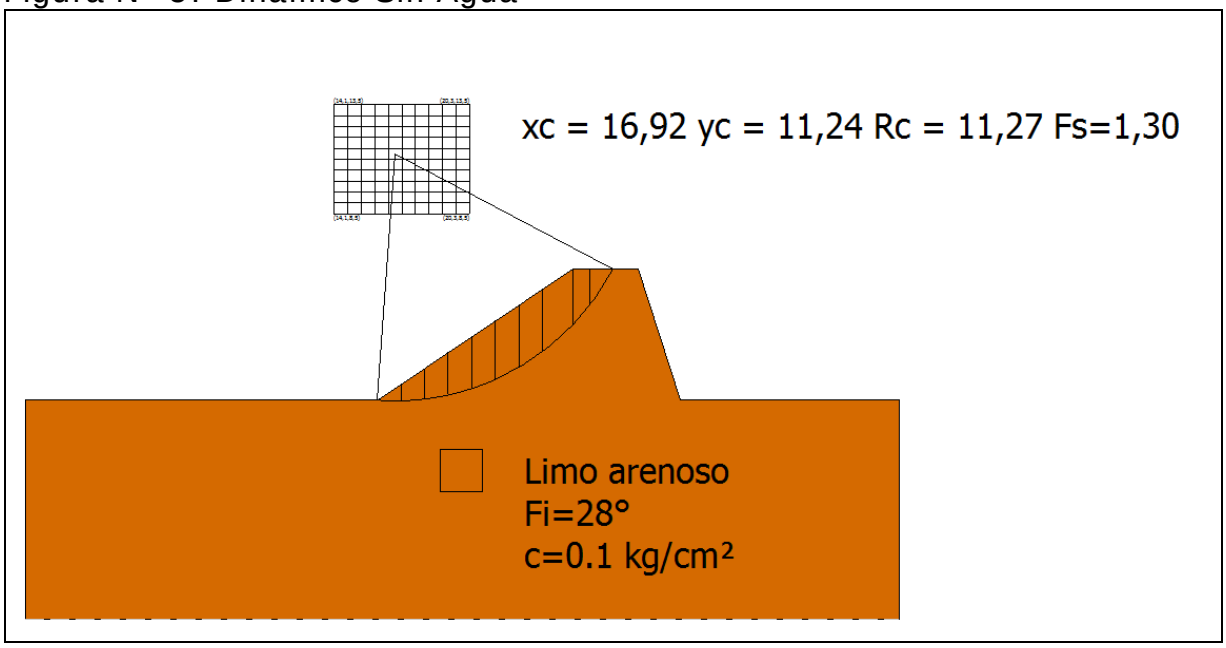


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) Posterior al terremoto del año 2010 el embalse Huechún Bajo presentó daños que consistieron fundamentalmente en grietas longitudinales, hundimientos y deslizamientos del talud de aguas arriba. Si bien la vegetación existente y el tiempo transcurrido desde el terremoto impiden ver hoy los daños sufridos por el muro, observando con atención es posible detectar aún los hundimientos en el coronamiento.

ii) Las grietas han sido rellenadas con material fino transportado por las lluvias y los deslizamientos no se pueden ver debido a la vegetación que cubre el talud de aguas arriba.

iii) De lo observado y lo comentado por vecinos del sector puede concluirse que no se han efectuado reparaciones a los daños que presentaba el muro, sin embargo, el embalse se ha utilizado hasta niveles de agua bastante altos, situación que es muy riesgosa.

iv) Para el nivel de aguas existente (embalse al 80% de su capacidad máxima) y debido a la espesa vegetación no fue posible determinar la existencia de filtraciones en el talud de aguas abajo.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados

son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

vii) De lo planteado en los puntos anteriores puede concluirse que la operación normal del embalse Huechún Bajo tiene un alto riesgo.

viii) Se recomienda solicitar el vaciamiento permanente del traque Huechún Bajo.

ix) La situación del punto anterior podría revertirse después que se efectúen las reparaciones según indique un estudio desarrollado por un ingeniero civil competente. Dicho estudio deberá ser aprobado por la DGA.

15.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 15-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Huechún Bajo	Limos Arenosos	14,4	0	4,8	6	6,0	36,0	Si

15.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 15-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**		
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**		
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**		
Huechún Bajo	Lateral	3 tubos de acero corrugado					0,002	0,021			0,8	**0,37**	1,10	son 3 tubos

15.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Huechún Bajo, Melipilla

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** **g**
es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **8,019**

A= **392,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **33,2** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,06
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 1,1 m3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 0,77 m3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	6,29	0,95
0,002 (T= 500 años)	7,06	
0,001 (T= 1.000 años)	7,83	

Como la capacidad efectiva es de 0,77 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,5.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,5 (T= 2 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,5
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,5 x 0,95 x 1,0= 47,5 %

16. EMBALSE RANCHILLO

16.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Ranchillo.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	EMBALSE RANCHILLO		Nº de ficha	11
Propietario	Hernán Hurtado Zañartu		Fecha (dd/mm/año)	4/9/2014; 14:50 hrs.
	Fundo El Ranchillo, Hijuela 2, María Pinto			
	Adm: Fernando Astudillo, 96688379			
Año de construcción	1990		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO			
Año de reparación	2010			
Cuenca / Código DGA	Río Maipo/ 057		Capacidad > 50.000 m3	si
Subcuenca / Código DGA	Río Maipo Bajo (entre río mapocho y desembocadura) / 0574		Altura del muro > 5 m	si
Fuente del recurso	Canal alimentador			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Región Metropolitana
Provincia	Melipilla
Comuna	María Pinto
Coordenadas UTM Der	
Coord. UTM Centro Muro Ppal.	Norte= 6.287.311 Este= 306.470
Coordenadas UTM Izq	
Datum	WGS-84, Huso 19
Altitud	194 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	160 m
Ancho del coronamiento	5 m
Desarrollo del talud aguas abajo	12 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida	no apreciable
Paramentos verticales	No
Ángulo talud de aguas abajo	28°
Ángulo talud de aguas arriba	30°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	6
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	40.000
Ancho máximo de la poza (m)	130
Largo de la poza (m)	200
Volumen declarado o proyectado (m3)	93.500

7.A-CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7.B-ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Uniformes (muro principal)
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No
Tipo de revestimiento del muro	No

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	x
Vertederos laterales	x	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:	**Tubo de PVC**	***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	x

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Tubo que sale a través del muro, sin control de ningún tipo
Material constructivo	Tubo de PVC
Estado de conservación y operatividad	bueno
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	D= 315 mm en sector muro aguas arriba y 450 mm aguas abajo

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Torre de hormigón con compuerta en la base; entrega a tubería
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativo

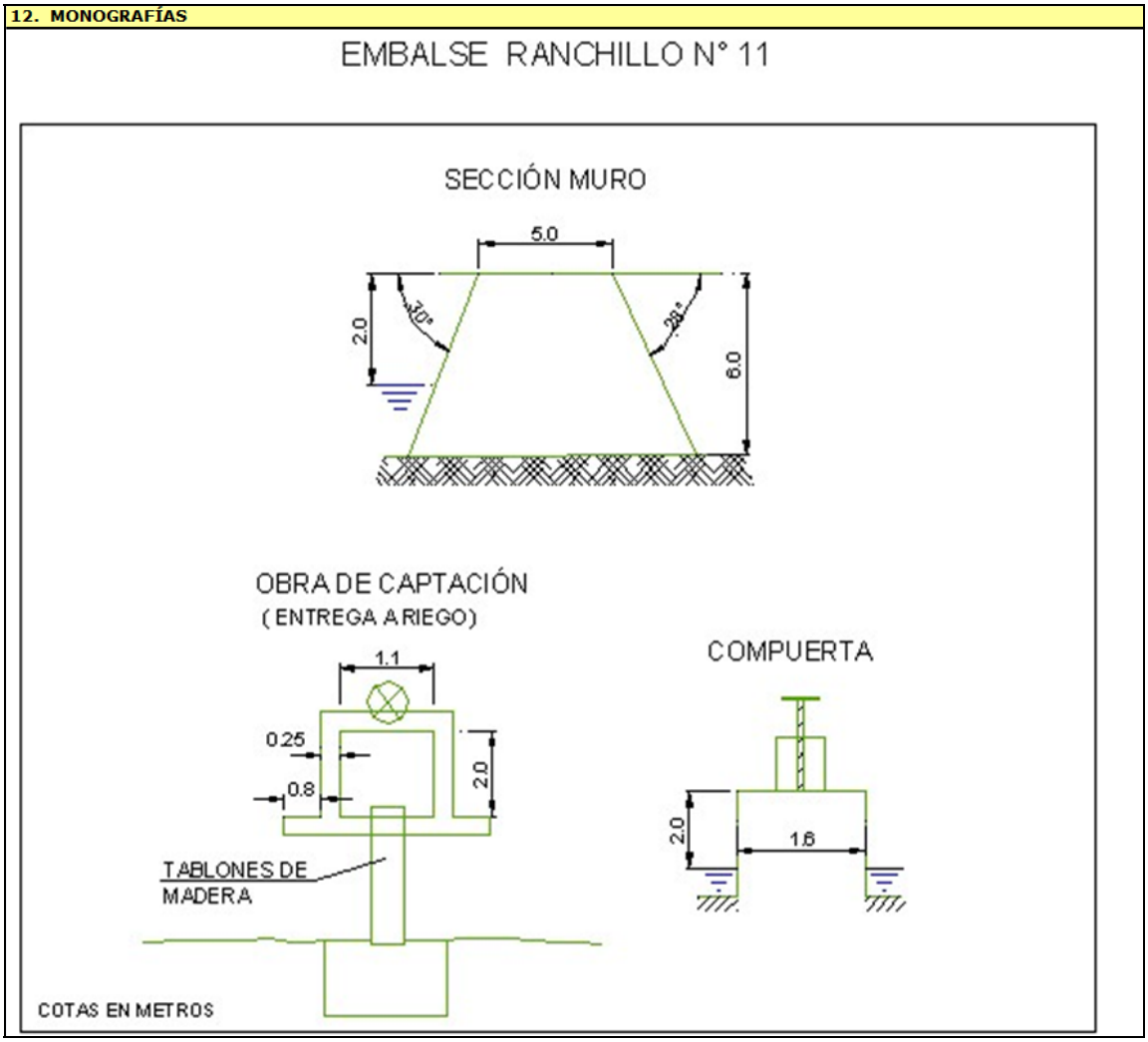
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	valle cultivado al pie del muro, i= 0,05, ancho igual al muro
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	2,1 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	no hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	al pie del muro
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	2,1 km
Área de riego servida por el tranque analizado	350 ha

11. OBSERVACIONES

En buenas condiciones; haría falta un revestimiento en muro ppal. Aguas arriba pues está erosionado
Se reparó el embalse de buena forma

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE EL RANCHILLO (11)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO Y ENSAYO PENETRÓMETRO

VERTEDERO

ENTREGA PARA RIEGO

16.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Ranchillo, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los que se encuentran naturalmente en el sector, es decir, limos arenosos. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Ranchillo sufrió daños importantes debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. De hecho, en la visita efectuada el año 2010 se encontró maquinaria pesada trabajando al interior del embalse. El embalse se forma por tres muros continuos, que podrían denominarse muro norte, muro oeste y muro sur. Dado que el muro norte es el de mayor longitud y altura, las mediciones geométricas se efectuaron en él.

De lo observado y lo comentado por trabajadores del sector puede concluirse que, aparentemente, se efectuaron reparaciones a los daños que presentaba el muro. Sin embargo, se ignora el tipo y la disposición de dichas reparaciones. En todo caso, las grietas y fallas ya no son visibles. Para el nivel de aguas de ese momento (embalse casi lleno) no se observaron filtraciones.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 350 m; ancho de coronamiento 5 m; inclinación talud aguas arriba 30°; altura talud aguas arriba hasta el nivel de agua 2 m; inclinación talud aguas abajo 28°; altura máxima talud aguas abajo 6 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

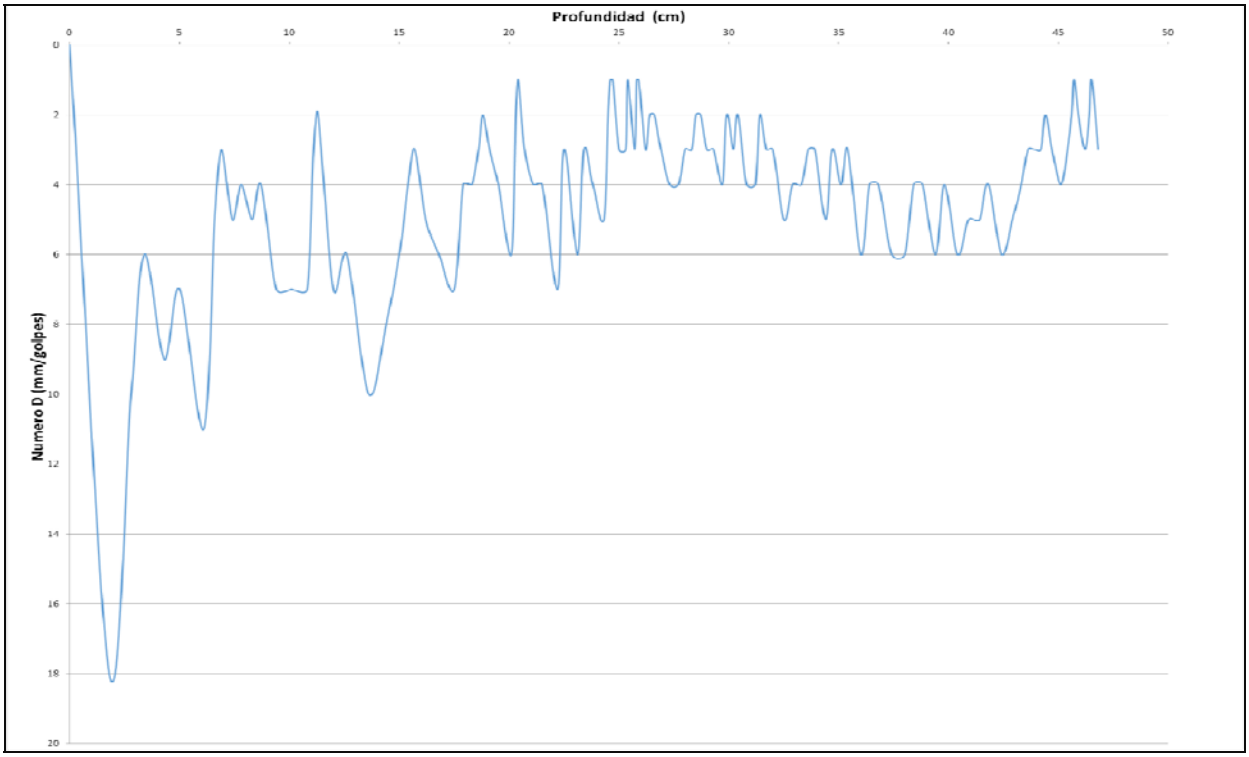
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Ranchillo

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pendiente de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pendiente de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pendiente de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1,8	106	124	18	10,4	41	22,5	328	331	3	99,7	81	34,4	445	450	5	52,4
2	2,8	124	134	10	21,9	42	23,1	331	337	6	41,6	82	34,7	450	453	3	99,7
3	3,4	134	140	6	41,6	43	23,4	337	340	3	99,7	83	35,1	453	457	4	69,4
4	4,3	140	149	9	25,0	44	23,8	340	344	4	69,4	84	35,4	457	460	3	99,7
5	5,0	149	156	7	34,3	45	24,3	344	349	5	52,4	85	36,0	460	466	6	41,6
6	6,1	156	167	11	19,4	46	24,5	349	351	2	166,2	86	36,4	466	470	4	69,4
7	6,6	167	172	5	52,4	47	24,6	351	352	1	398,1	87	36,8	470	474	4	69,4
8	6,9	172	175	3	99,7	48	24,7	352	353	1	398,1	88	37,4	474	480	6	41,6
9	7,4	175	180	5	52,4	49	25,0	353	356	3	99,7	89	38,0	480	486	6	41,6
10	7,8	180	184	4	69,4	50	25,3	356	359	3	99,7	90	38,4	486	490	4	69,4
11	8,3	184	189	5	52,4	51	25,4	359	360	1	398,1	91	38,8	490	494	4	69,4
12	8,7	189	193	4	69,4	52	25,7	360	363	3	99,7	92	39,4	494	500	6	41,6
13	9,4	193	200	7	34,3	53	25,8	363	364	1	398,1	93	39,8	500	504	4	69,4
14	10,1	200	207	7	34,3	54	25,9	364	365	1	398,1	94	40,4	504	510	6	41,6
15	10,8	207	214	7	34,3	55	26,2	365	368	3	99,7	95	40,9	510	515	5	52,4
16	11,1	214	217	3	99,7	56	26,4	368	370	2	166,2	96	41,4	515	520	5	52,4
17	11,3	217	219	2	166,2	57	26,6	370	372	2	166,2	97	41,8	520	524	4	69,4
18	12,0	219	226	7	34,3	58	26,9	372	375	3	99,7	98	42,4	524	530	6	41,6
19	12,6	226	232	6	41,6	59	27,3	375	379	4	69,4	99	42,9	530	535	5	52,4
20	13,6	232	242	10	21,9	60	27,7	379	383	4	69,4	100	43,3	535	539	4	69,4
21	14,4	242	250	8	29,0	61	28,0	383	386	3	99,7	101	43,6	539	542	3	99,7
22	15,0	250	256	6	41,6	62	28,3	386	389	3	99,7	102	43,9	542	545	3	99,7
23	15,4	256	260	4	69,4	63	28,5	389	391	2	166,2	103	44,2	545	548	3	99,7
24	15,7	260	263	3	99,7	64	28,7	391	393	2	166,2	104	44,4	548	550	2	166,2
25	16,2	263	268	5	52,4	65	29,0	393	396	3	99,7	105	44,7	550	553	3	99,7
26	16,8	268	274	6	41,6	66	29,3	396	399	3	99,7	106	45,1	553	557	4	69,4
27	17,5	274	281	7	34,3	67	29,7	399	403	4	69,4	107	45,4	557	560	3	99,7
28	17,9	281	285	4	69,4	68	29,9	403	405	2	166,2	108	45,6	560	562	2	166,2
29	18,3	285	289	4	69,4	69	30,2	405	408	3	99,7	109	45,7	562	563	1	398,1
30	18,6	289	292	3	99,7	70	30,4	408	410	2	166,2	110	45,9	563	565	2	166,2
31	18,8	292	294	2	166,2	71	30,8	410	414	4	69,4	111	46,2	565	568	3	99,7
32	19,1	294	297	3	99,7	72	31,2	414	418	4	69,4	112	46,4	568	570	2	166,2
33	19,5	297	301	4	69,4	73	31,4	418	420	2	166,2	113	46,5	570	571	1	398,1
34	20,1	301	307	6	41,6	74	31,7	420	423	3	99,7	114	46,8	571	574	3	99,7
35	20,3	307	309	2	166,2	75	32,0	423	426	3	99,7						
36	20,4	309	310	1	398,1	76	32,5	426	431	5	52,4						
37	20,7	310	313	3	99,7	77	32,9	431	435	4	69,4						
38	21,1	313	317	4	69,4	78	33,3	435	439	4	69,4						
39	21,5	317	321	4	69,4	79	33,6	439	442	3	99,7						
40	22,2	321	328	7	34,3	80	33,9	442	445	3	99,7						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que desde el inicio hasta la profundidad de 22 cm el muro presenta una compacidad media. Esto se relaciones con los valores del índice de penetración, los cuales superan los 5 mm/golpes y en algunos casos los 10 o más mm/golpes. Luego ya llegando a la profundidad de 25 cm el muro tiende a aumentar tiene una compacidad alta, ya que los valores de D no superan los 6 mm/golpes.

16.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse destinado a riego, se encuentra en la comuna de María Pinto, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Se llega a él a través de la ruta 68, en dirección a la costa; antes de Curacaví se toma la ruta G-68 hacia el sur y en el cruce tomar la ruta G-76 en dirección a María Pinto, la que pasa por fuera del Fundo El Ranchillo Hijuela 2.

Si bien el embalse cuenta con canalización artificial para la entrega del recurso, el cauce principal en caso de falla corresponde al valle ubicado

directamente aguas abajo del muro, valle en el cual se presentan, fundamentalmente, áreas de cultivo y algunas pocas instalaciones agrícolas.

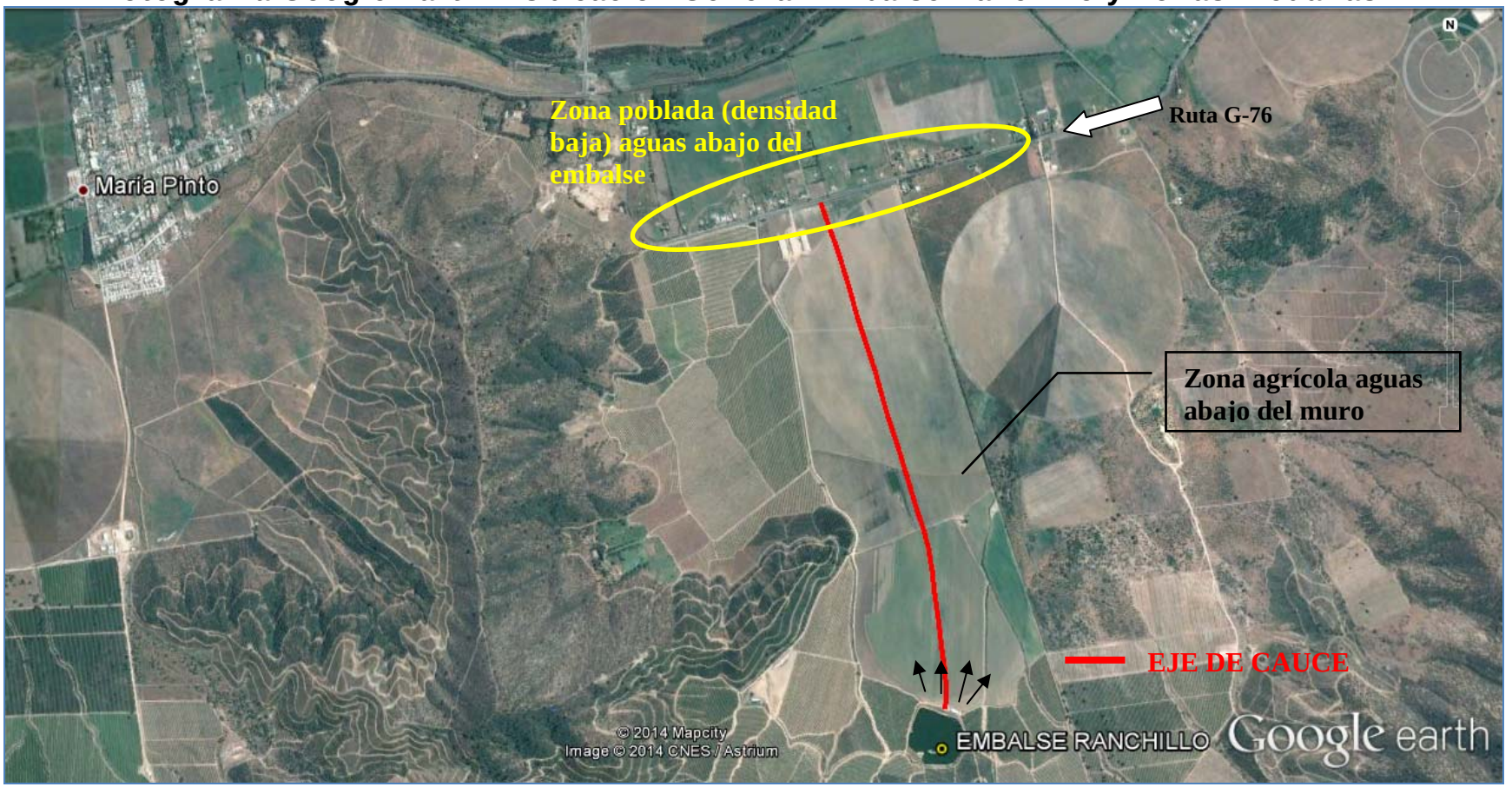
En este sentido, el valle presenta, en el sentido del escurrimiento, una pendiente media del 1,48%, desarrollada a lo largo de sus 2,1km, medidos entre el inicio del valle a los pies del embalse y su intersección con la ruta G-76.

En cuanto a la presencia de zonas pobladas, sólo cruzando dicha ruta se encuentran casas en cuyo conjunto se estima una densidad poblacional baja.

Infraestructura importante, además de las ya señaladas no se encuentran en las proximidades del embalse.

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse Ranchillo respecto a su entorno, fundamentalmente agrícola.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Ranchillo y Zonas Aledañas



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Ranchillo:

CUADRO 16-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE RANCHILLO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Ranchillo	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle cultivado al pie del embalse	---
	Tipo de Terreno	Valle cultivado	---
	Pendiente Media	0,0148	m/m
	Ancho medio	Igual a la longitud de falla del muro	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	2,1	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	2,1	km
	Zonas Agrícolas	A los pies del muro	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

16.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Ranchillo	1,243	1,998	421	201	220

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,265	0,267	0,776	0,520

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 16-2 siguiente.

CUADRO 16-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m^3/s)	V-K MOD (m^3/s)	RAC. MOD. (m^3/s)	RACIONAL (m^3/s)	HUS (m^3/s)	ADOPTADO (m^3/s)	MAX (m^3/s)
11 Embalse Ranchillo	2	0,29	0,57	1,06	1,48	-	1,48	1,48
	5	0,89	1,25	2,11	2,87	-	2,87	2,87
	10	1,60	1,90	3,04	4,02	-	4,02	4,02
	20	2,57	2,69	4,14	5,30	-	5,30	5,30
	25	2,97	2,99	4,55	5,57	-	5,57	5,57
	50	4,42	3,93	5,79	7,06	-	7,06	7,06
	100	6,33	5,37	7,66	8,55	-	8,55	8,55
	250	6,90	5,97	8,59	9,95	-	9,95	9,95
	500	7,95	6,79	9,73	11,19	-	11,19	11,19
	1000	9,00	7,62	10,87	12,44	-	12,44	12,44

16.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Ranchillo fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Ranchillo	Limo arenoso	28	0,10	1,80	6	30	28	5

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.71
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.33
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.77

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.90
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.45

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

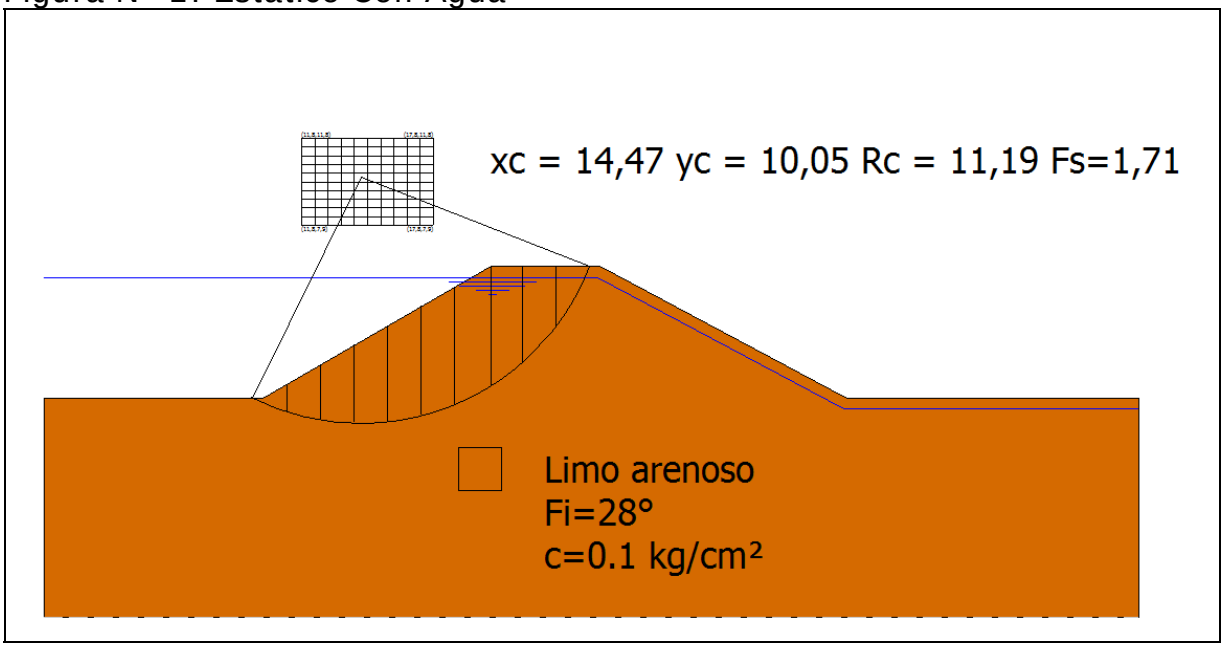


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

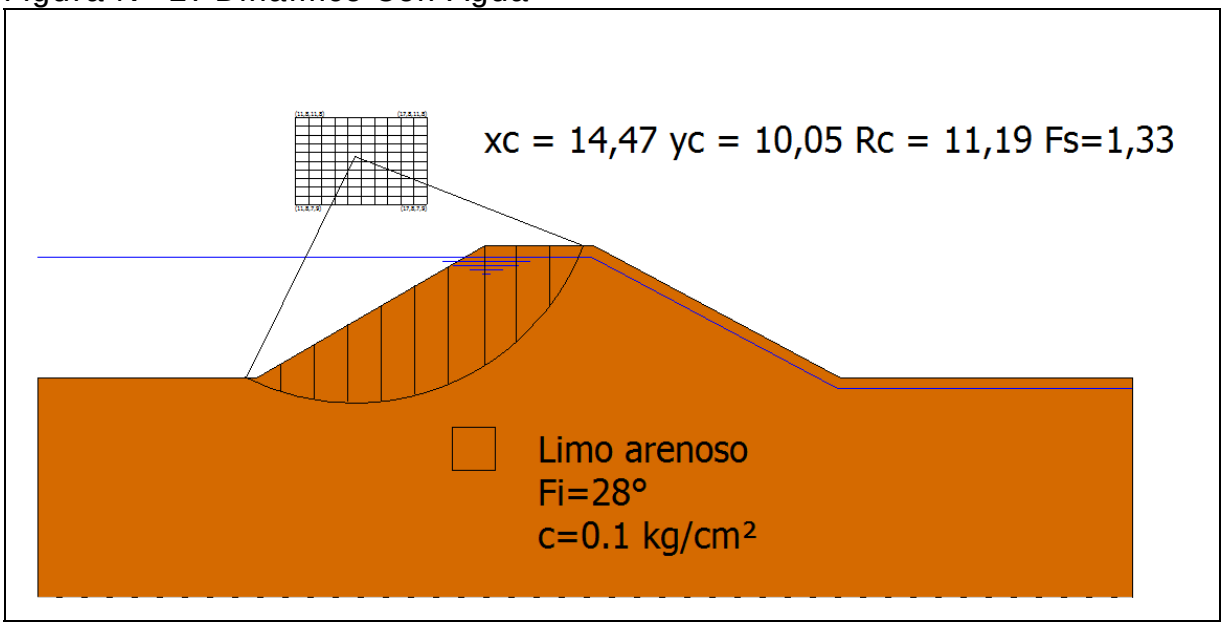
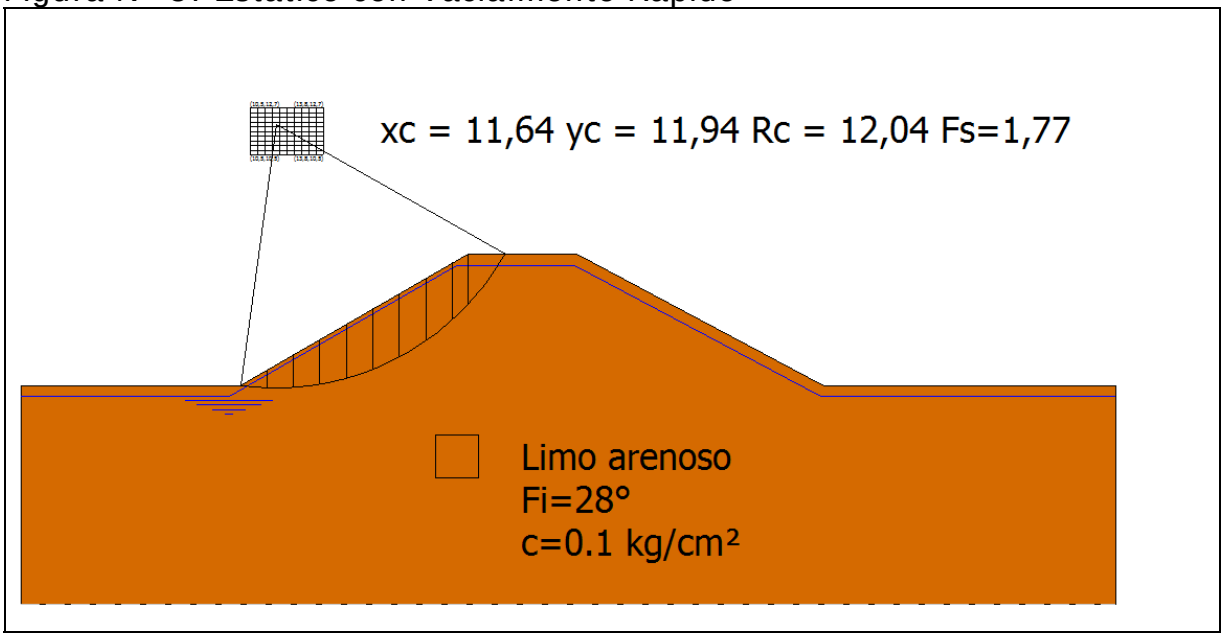


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

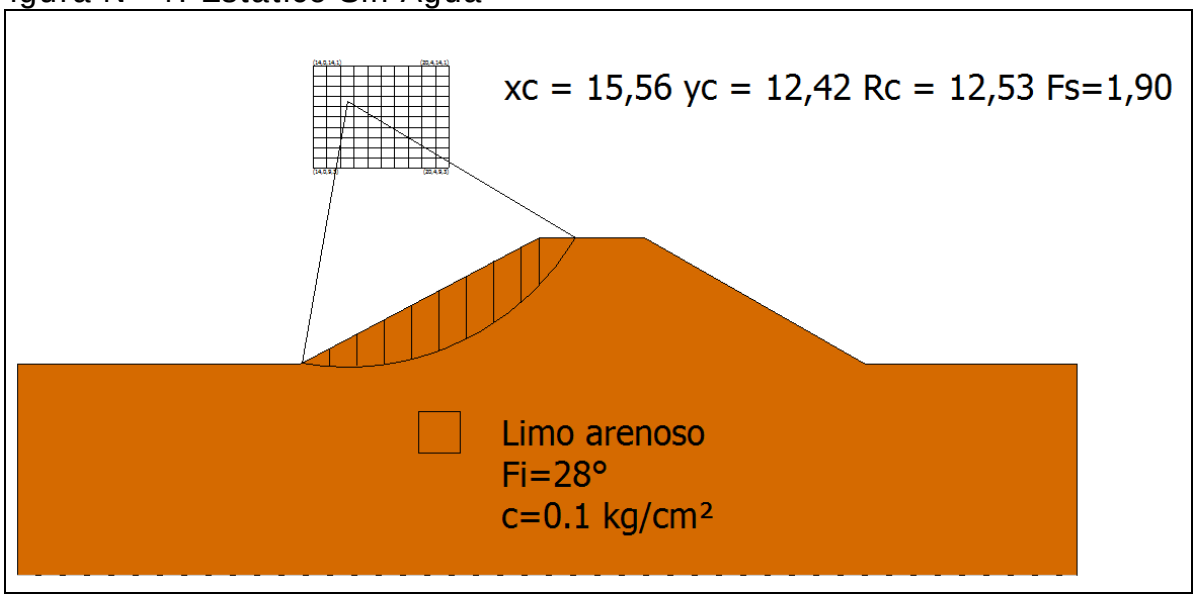
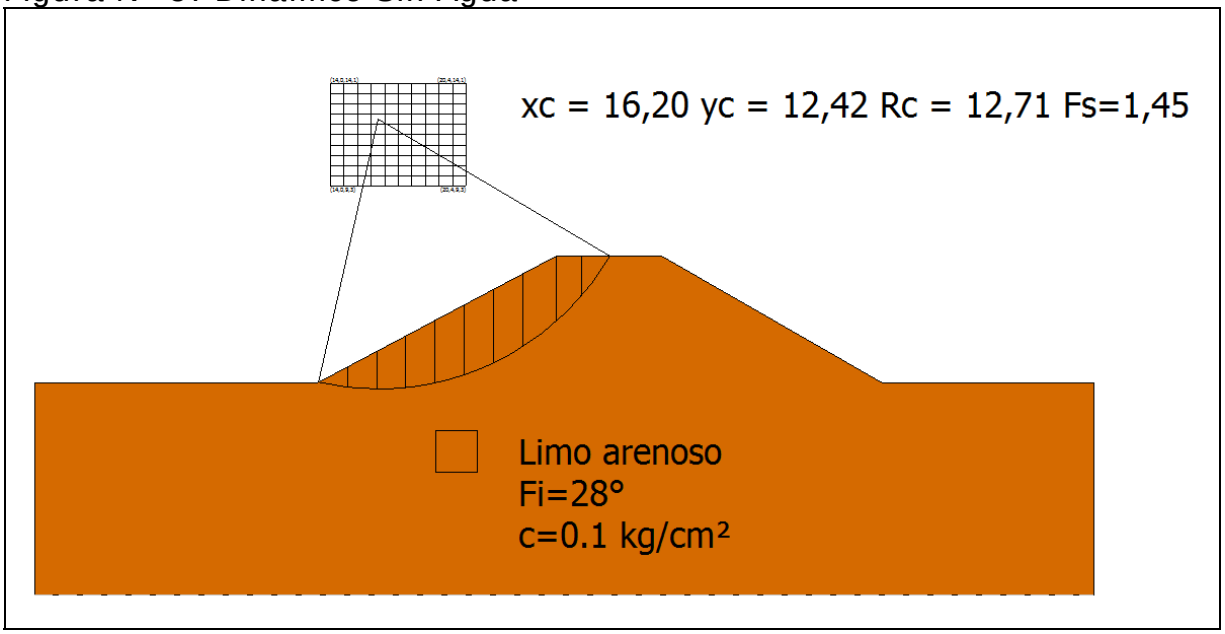


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Ranchillo sufrió daños importantes durante el terremoto del año 2010. Durante la visita efectuada dicho año, se encontró maquinaria pesada trabajando al interior del embalse.

ii) El embalse está formado por tres muros continuos, que podrían denominarse muro norte, muro oeste y muro sur. El muro norte es el de mayor longitud y altura.

iii) De lo observado y lo comentado por vecinos del sector puede concluirse que, aparentemente, se efectuaron reparaciones a los daños que presentaba el muro. Sin embargo, se ignora el tipo y la disposición de dichas reparaciones. En todo caso, las grietas y fallas ya no son visibles.

iv) Para el nivel de aguas existente (embalse casi lleno) no se observaron filtraciones.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados, excepto caso dinámico, talud de aguas abajo sin agua, que está levemente bajo el

mínimo aceptable.

vii) Aún cuando el embalse Ranchillo se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, el que deberá ser firmado por un ingeniero civil competente y dicho proyecto sea aprobado por la DGA.

16.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 16-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Ranchillo	Limos Arenosos	26,7	0	8,9	6	6,0	36,0	Si

16.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 16-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Ranchillo	Lateral	Tubo de PVC					0,1	0,009			0,45	**1,30**

16.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Ranchillo, María Pinto

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**
(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,06
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	0,8 (tubo de PVC)
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	0,8
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	0,1

Capacidad de Evacuación= 1,3 m3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,064 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 0,08 m3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	9,95	0,95
0,002 (T= 500 años)	11,19	
0,001 (T= 1.000 años)	12,44	

Como la capacidad efectiva es de 0,08 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,5.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	0,7
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,5 (T= 2 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,5
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,5 x 0,95 x 1,0= 47,5 %

17. EMBALSE EL LLANO

17.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse El Llano.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	El Llano		Nº de ficha	12
Propietario	Hacienda Chorombo S.A.		Fecha (dd/mm/año)	4/9/2014; 14:00 hrs.
	Gerente General Alfonso Avecedo Fernández			
	Hacienda Chorombo S.A., camino público a			
	Casablanca, km 22, comuna de María Pinto			
	Casilla Nº 73, Melipilla			
	Administrador Jorge Cid, 78997962			
Año de construcción	se desconoce		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO			
Año de reparación	2010			
Cuenca / Código DGA	Río Maipo/ 057		Capacidad > 50.000 m3	Si
Subcuenca / Código DGA	Río Maipo Bajo (entre río mapocho y desembocadura) / 0574		Altura del muro > 5 m	No
Fuente del recurso	esteros y derrames de riego			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Metropolitana
Provincia	Melipilla
Comuna	María Pinto
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.290.488 Este= 293.398
Coordenadas UTM Izq	
Datum	WGS-84, Huso 19
Altitud	151 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

	Medidas en metros
Longitud del coronamiento	210 m
Ancho del coronamiento	4 m
Desarrollo del talud aguas abajo	no apreciable
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida	no apreciable
Paramentos verticales	No
Ángulo talud de aguas abajo	32°
Ángulo talud de aguas arriba	38°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	3
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	44.000
Ancho máximo de la poza (m)	220
Largo de la poza (m)	200
Volumen declarado o proyectado (m3)	86.800

7.A-CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7.B-ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Regular; coronamiento con taludes irregulares y ag. Arr. Erosionado
Compacidad del material estructural	alta
Uniformidad de los taludes	taludes irregulares
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al	no
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	no visibles
Tipo de revestimiento del muro	malla rachel aguas arriba

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	rústico	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Canalón de tierra irregular
Material constructivo	tierra
Estado de conservación y operatividad	operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	6 m de ancho x 1 m de alto

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Compuerta frontal
Mediciones estructurales	0,5 m ancho x 1 m de alto
Funcionamiento actual	operativa 100%

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

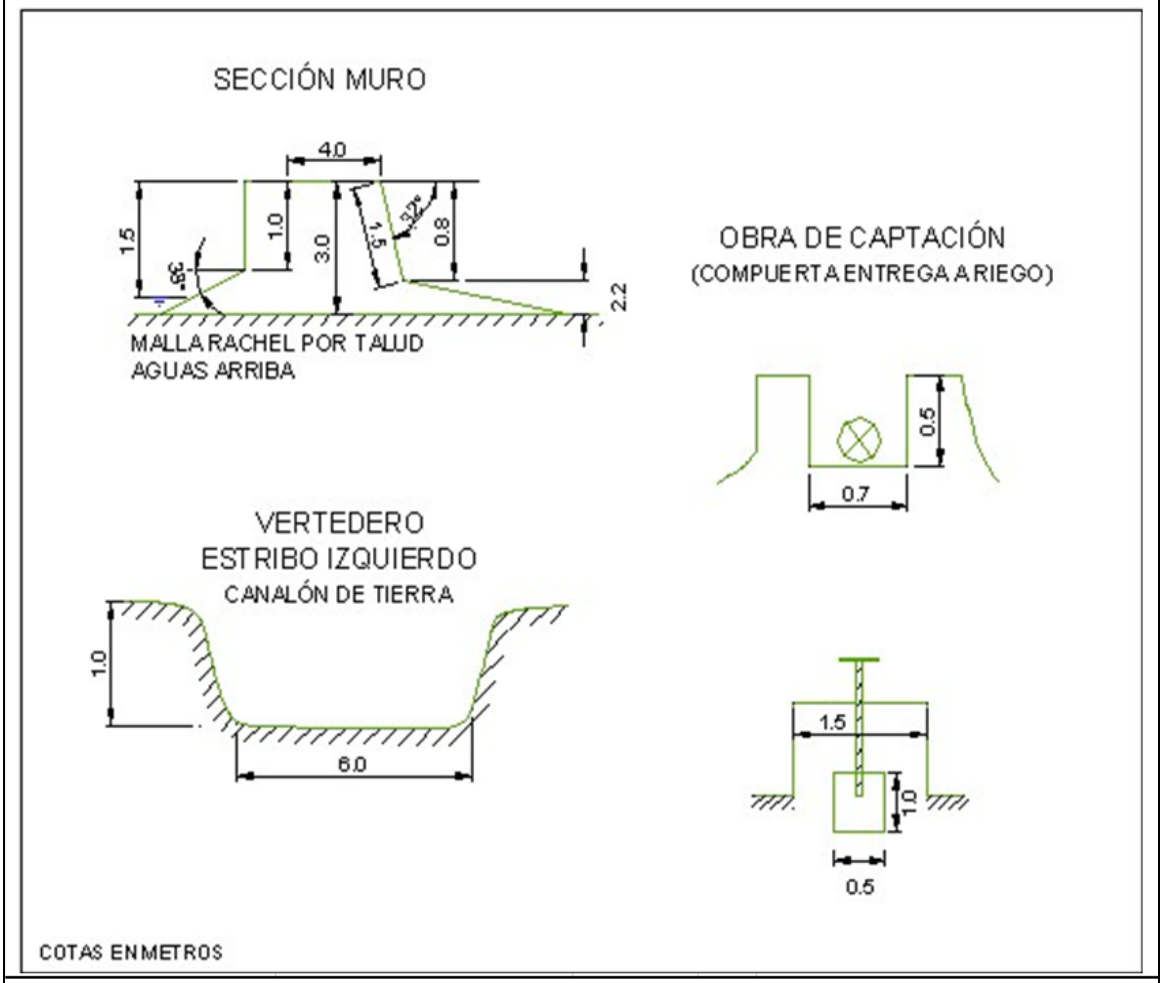
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno,	valle al pie del embalse, i= 0,0035, ancho medio igual al largo del muro
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	no hay cercanos
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	1 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	media
Distancia hacia zonas agrícolas	al pie del muro
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,8 km
Área de riego servida por el tranque analizado	200 hás de Olivos

11. OBSERVACIONES

Embalse fue arreglado al parecer en forma correcta
habría estudio de reparación hecho por Antonio Formo
Se señala que la DGA fiscalizó el trabajo y que los arreglos los hizo Moveterra

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE EL LLANO N° 12



EMBALSE EL LLANO (12)

TALUD AGUAS ARRIBA

VERTEDERO

CORONAMIENTO DESDE EL ESTRIBO IZQUIERDO

ENTREGA PARA RIEGO

PRUEBA PENETROMÉTRICA

17.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse El Llano, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos arcillo arenosos con gravas de tamaño máximo 1 pulgada. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El embalse El Llano sufrió daños importantes debido al sismo del año 2010, de hecho su funcionamiento quedó limitado a partir de ese año. Debido a lo anterior, según informó el administrador del fundo donde se ubica, se removieron los 2.5 metros superiores del muro, recolocándose este material compactando en capas. Según se informó existe un proyecto de reparación para el muro, El embalse se forma por un muro ubicado en el lado oriente del embalse. En todo caso, las grietas y fallas ya no son

visibles. Para el nivel de aguas de ese momento (embalse casi lleno) no se observaron filtraciones.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 207 m; ancho de coronamiento 4 m; inclinación talud aguas arriba vertical el primer metro y luego 38°; altura talud aguas arriba hasta el nivel de agua 2 m; inclinación talud aguas abajo 32°; altura máxima talud aguas abajo 0.8 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

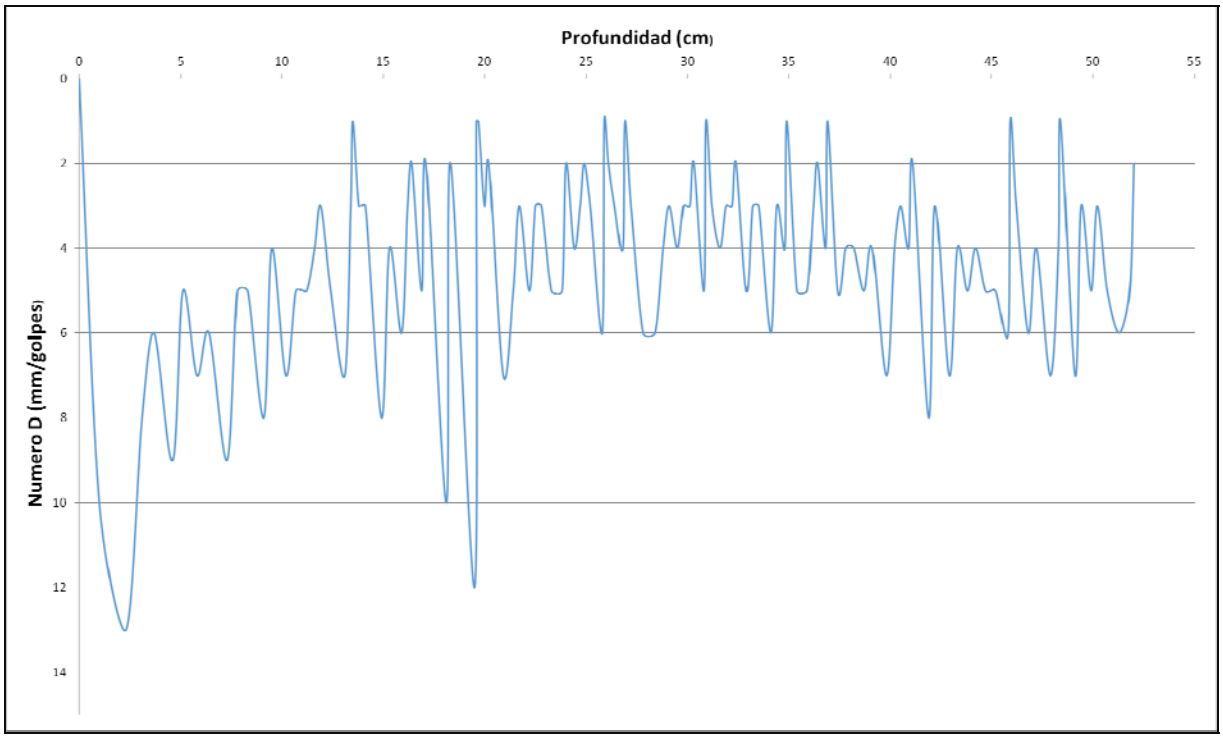
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse El Llano

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1,0	101	111	10	21,9	41	21,7	315	318	3	99,7	81	35,4	450	455	5	52,4
2	2,3	111	124	13	15,7	42	22,2	318	323	5	52,4	82	35,9	455	460	5	52,4
3	3,1	124	132	8	29,0	43	22,5	323	326	3	99,7	83	36,2	460	463	3	99,7
4	3,7	132	138	6	41,6	44	22,8	326	329	3	99,7	84	36,4	463	465	2	166,2
5	4,6	138	147	9	25,0	45	23,3	329	334	5	52,4	85	36,8	465	469	4	69,4
6	5,1	147	152	5	52,4	46	23,8	334	339	5	52,4	86	36,9	469	470	1	398,1
7	5,8	152	159	7	34,3	47	24,0	339	341	2	166,2	87	37,4	470	475	5	52,4
8	6,4	159	165	6	41,6	48	24,4	341	345	4	69,4	88	37,8	475	479	4	69,4
9	7,3	165	174	9	25,0	49	24,7	345	348	3	99,7	89	38,2	479	483	4	69,4
10	7,8	174	179	5	52,4	50	24,9	348	350	2	166,2	90	38,7	483	488	5	52,4
11	8,3	179	184	5	0,0	51	25,2	350	353	3	99,7	91	39,1	488	492	4	69,4
12	9,1	184	192	8	29,0	52	25,8	353	359	6	41,6	92	39,8	492	499	7	34,3
13	9,5	192	196	4	69,4	53	25,9	359	360	1	398,1	93	40,2	499	503	4	69,4
14	10,2	196	208	7	34,3	54	26,1	360	362	2	166,2	94	40,5	503	506	3	99,7
15	10,7	203	208	5	52,4	55	26,4	362	365	3	99,7	95	40,9	506	510	4	69,4
16	11,2	208	213	5	52,4	56	26,8	365	369	4	69,4	96	41,1	510	512	2	166,2
17	11,6	213	217	4	69,4	57	26,9	369	370	1	398,1	97	41,9	512	520	8	29,0
18	11,9	217	220	3	99,7	58	27,2	370	373	3	99,7	98	42,2	520	523	3	99,7
19	12,4	220	225	5	52,4	59	27,8	373	379	6	41,6	99	42,9	523	530	7	34,3
20	13,1	225	232	7	34,3	60	28,4	379	385	6	41,6	100	43,3	530	534	4	69,4
21	13,4	232	235	3	99,7	61	28,8	385	389	4	69,4	101	43,8	534	539	5	52,4
22	13,5	235	236	1	398,1	62	29,1	389	392	3	99,7	102	44,2	539	543	4	69,4
23	13,8	236	239	3	99,7	63	29,5	392	396	4	69,4	103	44,7	543	548	5	52,4
24	14,1	239	242	3	99,7	64	29,8	396	399	3	99,7	104	45,2	548	553	5	52,4
25	14,9	242	250	8	29,0	65	30,1	399	402	3	99,7	105	45,8	553	559	6	41,6
26	15,3	250	254	4	69,4	66	30,3	402	404	2	166,2	106	45,9	559	560	1	398,1
27	15,9	254	260	6	41,6	67	30,8	404	409	5	52,4	107	46,2	560	563	3	99,7
28	16,2	260	263	3	99,7	68	30,9	409	410	1	398,1	108	46,8	563	569	6	41,6
29	16,4	263	265	2	166,2	69	31,2	410	413	3	99,7	109	47,2	569	573	4	69,4
30	16,9	265	270	5	52,4	70	31,6	413	417	4	69,4	110	47,9	573	580	7	34,3
31	17,1	270	272	2	166,2	71	31,9	417	420	3	99,7	111	48,3	580	584	4	69,4
32	18,1	272	282	10	21,9	72	32,2	420	423	3	99,7	112	48,4	584	585	1	398,1
33	18,3	282	284	2	166,2	73	32,4	423	425	2	166,2	113	49,1	585	592	7	34,3
34	19,5	284	296	12	17,4	74	32,9	425	430	5	52,4	114	49,4	592	595	3	99,7
35	19,6	296	297	1	398,1	75	33,2	430	433	3	99,7	115	49,9	595	600	5	52,4
36	19,7	297	298	1	398,1	76	33,5	433	436	3	99,7	116	50,2	600	603	3	99,7
37	20,0	298	301	3	99,7	77	34,1	436	442	6	41,6	117	50,7	603	608	5	52,4
38	20,2	301	303	2	166,2	78	34,4	442	445	3	99,7	118	51,3	608	614	6	41,6
39	20,9	303	310	7	34,3	79	34,8	445	449	4	69,4	119	51,8	614	619	5	52,4
40	21,4	310	315	5	52,4	80	34,9	449	450	1	398,1	120	52,0	619	621	2	166,2

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que la mayoría de los valores del índice de penetración (Numero D) se encuentran entre 2 y 6 mm/golpes. Esto se relaciona con un suelo del muro de compacidad alta. Sin embargo hay profundidades que presentan índices de penetración sobre los 6 mm/golpe, lo que se relaciona con una compacidad relativa levemente menor de algunos de los sustratos del muro.

17.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse destinado a riego, se encuentra en la comuna de María Pinto, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Se llega a él a través de la ruta 68, en dirección a la costa; antes de Curacaví se toma la ruta G-730, en dirección suroeste. Continuando dicha dirección, se llega al cruce con la ruta G-74-F, la cual se debe tomar en dirección sur, hasta llegar a la Hacienda Chorombo. Dentro de ella, se debe recorrer 4km por camino interior, hasta llegar al embalse.

Si bien el embalse cuenta con canalización artificial para la entrega del recurso, el cauce principal en caso de falla corresponde al valle ubicado directamente aguas abajo del muro, cuya superficie, en el sentido de las aguas, posee una pendiente del 3,5 ‰ (baja) y una longitud de desarrollo de 3,43km, medida desde los pies del muro hasta que el valle intercepta el estero Améstica.

En cuanto al uso de suelo del valle aguas abajo, se aprecian dos tipos de superficie:

- Faja central: terreno natural de baja densidad vegetal, en cuyo borde oriente se desarrolla el cauce para la evacuación de crecidas, consistente en una canalización rústica, que descarga al estero Améstica.

En su borde opuesto, es decir poniente, se desarrolla el canal de entrega a riego, el cual también descarga al estero mencionado.

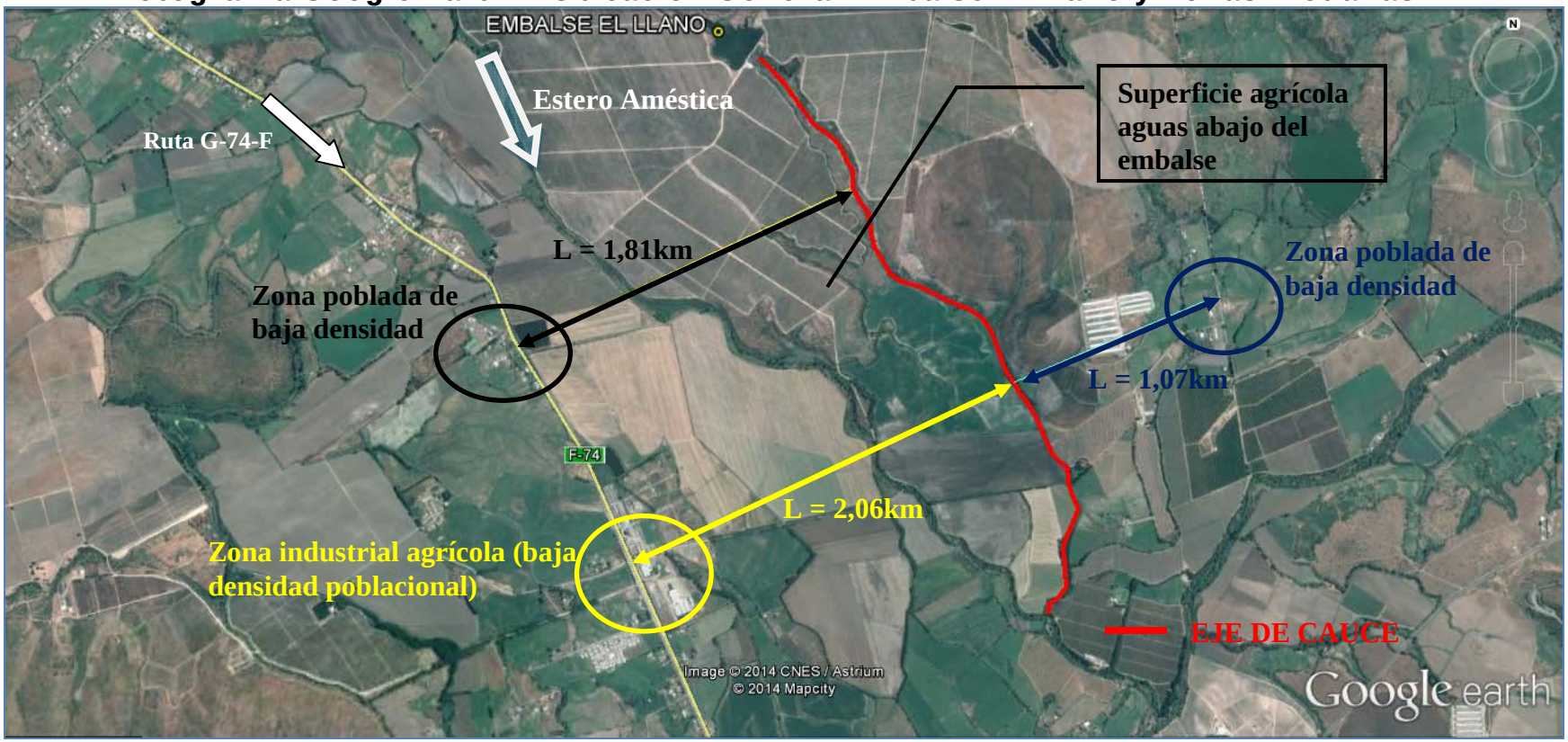
- Fajas laterales: extensas superficies de cultivo con algunas instalaciones agrícolas.

Al buscar zonas habitadas, sólo se observan asentamientos de baja densidad poblacional en el sentido perpendicular al cauce (ver fotograma correspondiente): algunas de ellas, ubicadas al lado poniente, al costado de la ruta G-74-F y otras hacia el lado oriente en torno a caminos rurales interiores. En conjunto, podrían constituir una densidad total media.

Respecto a la existencia de infraestructura vial de importancia o de otro tipo, no se observa ninguna de ellas que pudieran estar dentro de la potencial área de inundación, producto de una eventual falla del muro.

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse El Llano respecto a su entorno.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse El Llano y Zonas Aledañas



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse El Llano:

CUADRO 17-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE EL LLANO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		El Llano	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle al pie del embalse	---
	Tipo de Terreno	Valle (prado natural) y terreno cultivado	---
	Pendiente Media	0,0035	m/m
	Ancho medio	Igual a la longitud de falla del muro	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce (1)	1,07	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (1)	1,81	km
	Zonas Agrícolas	Al pie del muro	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse (2)	Media	---

(1) Se toma el menor valor de los observados, según muestra fotograma Google Earth.
(2) Se indica la densidad en el conjunto de asentamientos detectados en las cercanías del embalse.

17.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
El Llano	10,112	7,713	676	165	511

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,911	1,003	2,491	1,701

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 17-2 siguiente.

CUADRO 17-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m^3/s)	V-K MOD (m^3/s)	RAC. MOD. (m^3/s)	RACIONAL (m^3/s)	HUS (m^3/s)	ADOPTADO (m^3/s)	MAX (m^3/s)
12 Embalse El Llano	2	2,21	3,62	5,01	6,98	9,31	8,14	9,31
	5	6,87	7,92	9,97	13,57	15,42	14,50	15,42
	10	12,26	11,99	14,38	19,01	19,79	19,40	19,79
	20	19,74	17,01	19,57	25,05	24,19	24,62	25,05
	25	22,81	18,91	21,50	26,32	25,69	26,01	26,32
	50	33,97	24,88	27,36	33,39	30,14	31,77	33,97
	100	48,68	33,94	36,21	40,44	34,83	37,64	48,68
	250	53,02	37,73	40,62	47,02	40,66	43,84	53,02
	500	61,09	42,97	46,02	52,92	45,16	49,04	61,09
	1000	69,15	48,20	51,41	58,82	49,66	54,24	69,15

17.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse El Llano fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
El Llano	Arcilla arenosa con gravas	20	0,15	1,85	3	38	32	4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.35
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.73
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	2.53

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	8.56
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	4.54

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

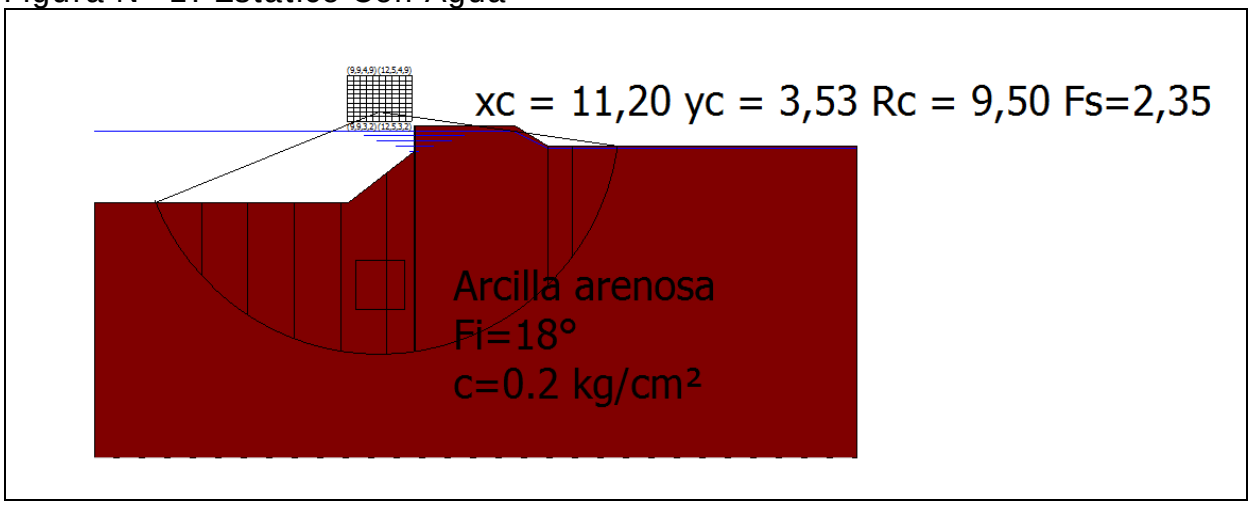


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

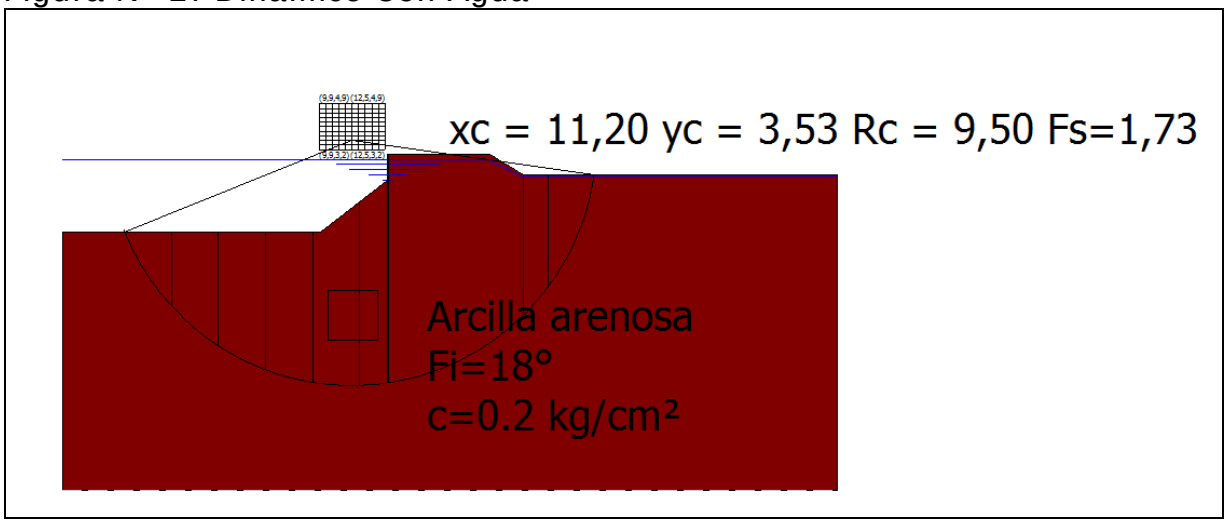
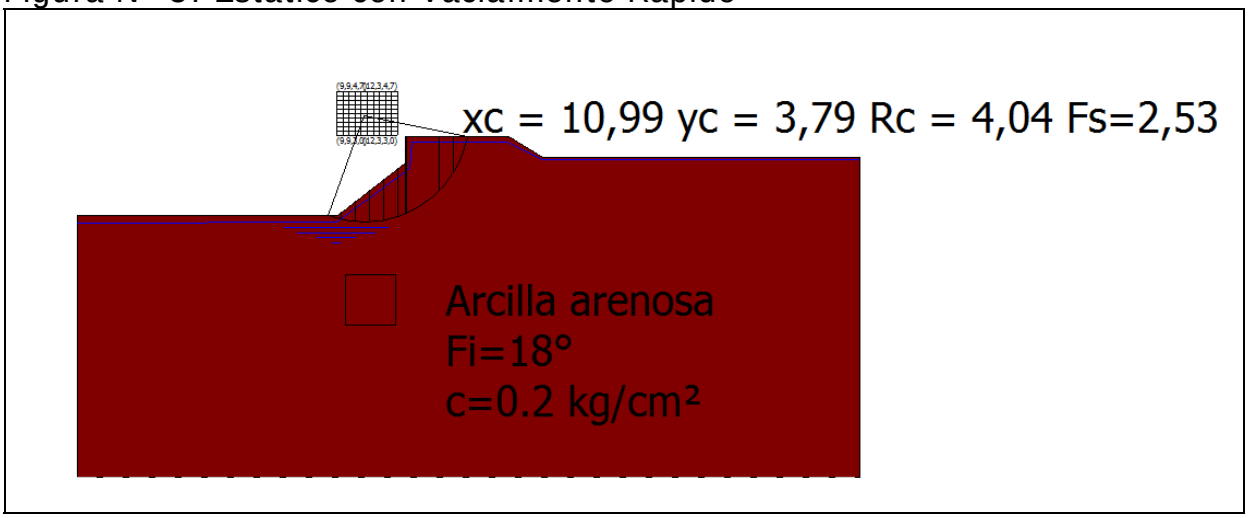


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

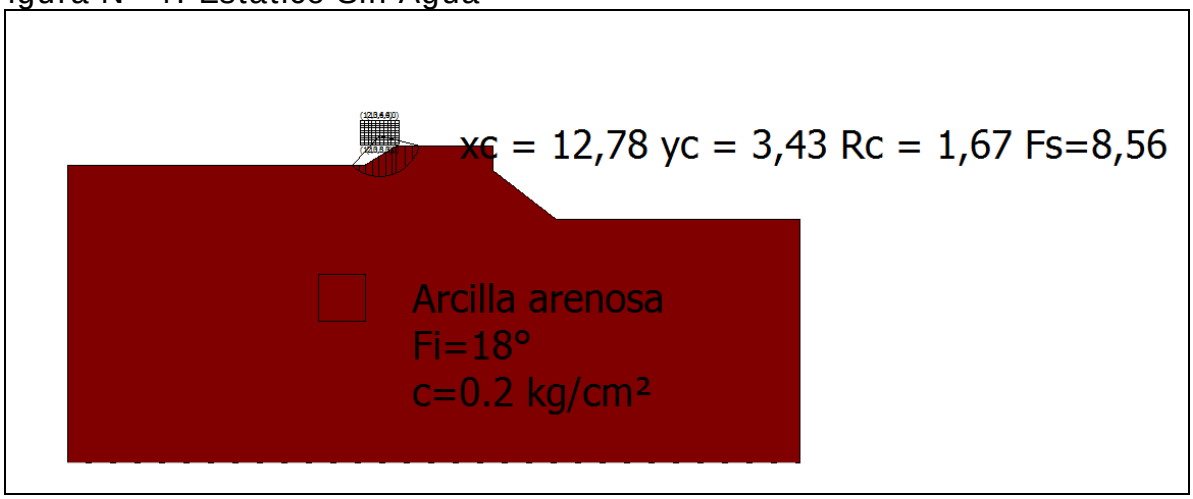
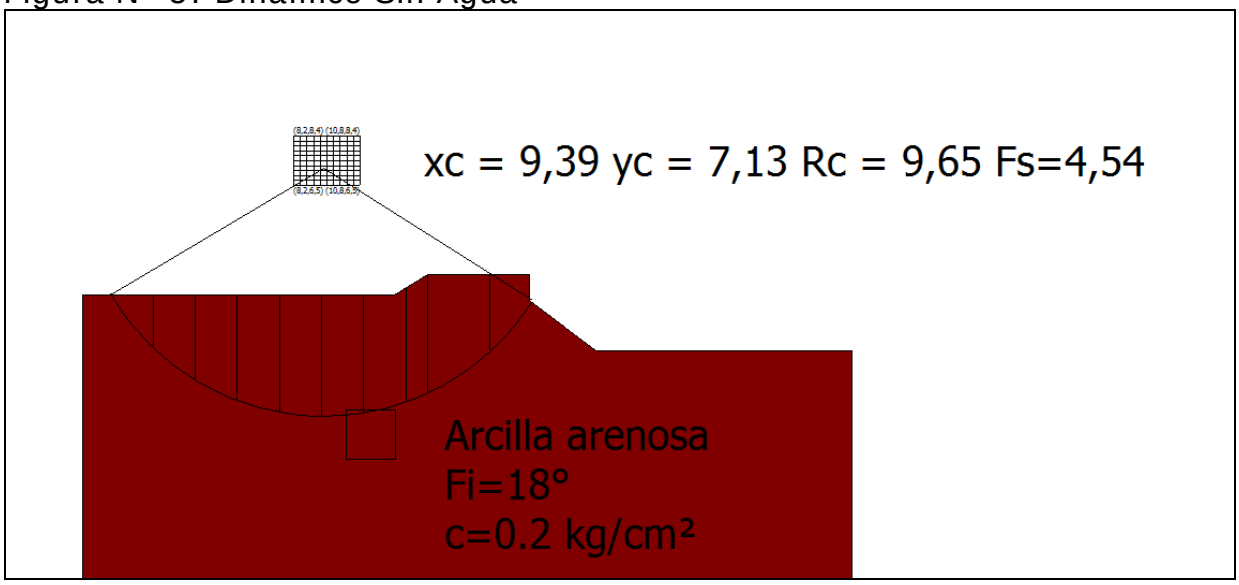


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque El Llano sufrió daños importantes durante el terremoto del año 2010.

ii) Según lo informado por el administrador del fundo donde se ubica el embalse, se removieron los 2.50 m. superiores del muro, recolocándose este material compactado en capas. Al parecer sí existe un proyecto de reparación para el muro.

iii) Al momento de la visita no se visualizaron grietas ni fallas.

iv) Para el nivel de aguas existente (embalse casi lleno) no se observaron filtraciones.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) Respecto a los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Aún cuando el embalse El Llano se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, el que

deberá ser firmado por un ingeniero civil competente, y dicho proyecto sea aprobado por la DGA.

17.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 17-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
El Llano	Arcillosos	6,9	0	2,3	1	6,0	6,0	Si

17.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 17-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
El Llano	Lateral	Canal de Tierra		1	1	6	0,002	0,035				**6,33**

17.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento

V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores "p" y "V" son independientes por evento, y el valor "E" es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: El Llano, María Pinto

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	0,6

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	0,8
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 6,33 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,336 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 2,12 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	43,84	0,95
0,002 (T= 500 años)	49,04	
0,001 (T= 1.000 años)	54,24	

Como la capacidad efectiva es de 2,12 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 3,4 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,3.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	0,7
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,3 (T= 3,4 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,3
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,3 x 0,95 x 1,0= 28,5 %

18. EMBALSE REINA SUR

18.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Reina Sur.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Reina Sur		Nº de ficha	13
Propietario	Cooperativa Reina Sur		Fecha (dd/mm/año)	28/8/2014; 13:15 hrs.
RUT Propietario				
Año de construcción	1976		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	No
Cuenca / Código DGA	rio maipo/ 057		Capacidad > 50.000 m3	No
Subcuenca / Código DGA	mapocho bajo / 0573		Altura del muro > 5 m	No
Fuente del recurso	Canal			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Metropolitana	
Provincia	Chacabuco	
Comuna	Colina	
Coordenadas UTM Der		
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.325.283	Este= 343.150
Coordenadas UTM Izq		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud	585 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	90 m (muro principal)
Ancho del coronamiento	2 a 4 m
Desarrollo del talud aguas abajo	
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas	
Paramentos verticales	
Ángulo talud de aguas abajo	imposible medir
Ángulo talud de aguas arriba	imposible medir

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente)	4 m
Profundidad máxima de agua en sector del muro	
Área estimada o calculada de la poza	0,52 ha
Ancho máximo de la poza	60 m
Largo de la poza	90 m
Volumen declarado o proyectado	8000 m3

7.A-CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación	

7.B-ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	irregular
Compacidad del material estructural	media
Uniformidad de los taludes	irregular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no hay
Grietas visibles y su ubicación	no hay
Indicios de deslizamientos y ubicación	no hay
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación	no se observan
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	si, cercano a la válvula de entrega a riego
Tipo de revestimiento del muro	no tiene

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	en desuso	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Válvula de espejo, D= 300 mm
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativa en muy malas condicones; se producen filtraciones justo aguas arriba de la válvula por el muro

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

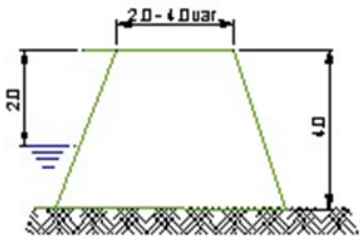
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	explanada al pie del muro, sector residencial aledaño
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	aledaña
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	aledaña
Densidad de población en las cercanías del tranque	alta
Distancia hacia zonas agrícolas	aledaña
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	aledaña
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse en muy mal estado
Fue limpiado pero todo el material se colocó en los muros de embalse
Sólo se limpió el embanque, nada más
Obra de entrega deficiente
Vertedero en desuso y roto
se alimenta con canal

12. MONOGRAFÍAS

SECCIÓN MURO



Nota: No se pueden medir ángulos

COTAS EN METROS

EMBALSE REINA SUR (13)

TALUD AGUAS ARRIBA

CORONAMIENTO Y ENSAYO PENETRÓMETRO

ALIMENTACIÓN EMBALSE

ENTREGA PARA RIEGO

FILTRACIONES EN TALUD DE AGUAS ABAJO, MUY CERCA DE VÁLVULA DE ENTREGA PARA RIEGO

18.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, y de los antecedentes disponibles es posible establecer que el tranque Reina Sur está formado por rellenos de suelos arcillo arenosos de color café oscuro, de compacidad media a baja, plasticidad es media a alta y permeabilidad asociada es baja. Sin embargo, con motivo de la extracción de los sedimentos que llenaban la poza del tranque, se depositaron todos los materiales extraídos (fango fundamentalmente), sobre el muro, lo que, por una parte, impide ver el estado actual de este, y por otra carga al muro con el peso de este material.

El tranque Reina Sur, que está formado por cuatro muros de alturas diferentes, no sufrió daños con el terremoto del año 2010. Sin embargo, el embanque y la vegetación lo cubrían casi por completo. A la fecha de la visita se constató que se procedió a la limpia de la poza, extrayendo una cantidad indeterminada de sedimentos con vegetación. El material extraído se depositó directamente sobre los muros, reduciendo la seguridad de estos. En vista de lo anterior, no fue posible determinar visualmente el estado actual de los muros. Para el nivel de aguas de ese momento (embalse casi lleno) no se observaron filtraciones.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total de los muros 290 m; ancho de coronamiento variable entre 2 y 4 m; inclinación talud aguas arriba casi vertical debido a la depositación de la limpia de los sedimentos de la poza; altura talud aguas arriba hasta el nivel de agua 2 m; inclinación talud aguas abajo 35°; altura máxima talud aguas abajo 4 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

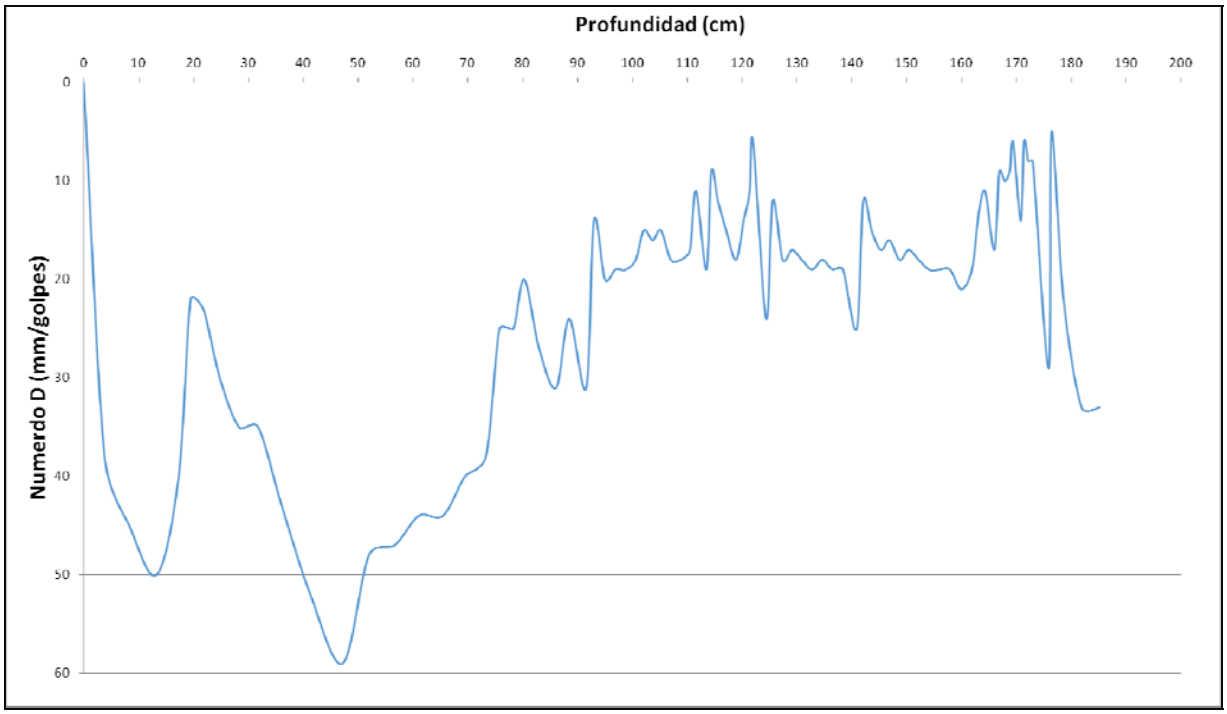
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Reina Sur

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	3,8	117	155	38	4,1	41	117,1	462	477	15	13,1	81	178,6	1070	1092	22	8,1
2	8,3	155	200	45	3,3	42	118,9	477	495	18	10,4	82	181,9	1092	1125	33	4,9
3	13,3	200	250	50	2,9	43	120,3	495	509	14	14,3	83	185,2	1125	1158	33	4,9
4	17,3	250	290	40	3,8	44	121,4	509	520	11	19,4						
5	19,5	290	312	22	8,1	45	122,0	520	526	6	41,6						
6	21,8	312	335	23	7,7	46	124,4	526	550	24	7,3						
7	24,8	335	365	30	5,5	47	125,6	550	562	12	17,4						
8	28,3	365	400	35	4,5	48	127,4	562	580	18	10,4						
9	31,8	400	435	35	4,5	49	129,1	580	597	17	11,2						
10	36,1	435	478	43	3,5	50	130,9	597	615	18	10,4						
11	41,3	478	530	52	2,7	51	132,8	615	634	19	9,7						
12	47,2	530	589	59	2,3	52	134,6	634	652	18	10,4						
13	52,0	589	637	48	3,0	53	136,5	652	671	19	9,7						
14	56,7	637	684	47	3,1	54	138,4	671	690	19	9,7						
15	61,1	684	728	44	3,4	55	140,9	690	715	25	6,9						
16	65,5	728	772	44	3,4	56	142,1	715	727	12	17,4						
17	69,5	772	812	40	3,8	57	143,6	727	742	15	13,1						
18	73,3	812	850	38	4,1	58	145,3	742	759	17	11,2						
19	75,8	850	875	25	6,9	59	146,9	759	775	16	12,1						
20	78,3	875	900	25	6,9	60	148,7	775	793	18	10,4						
21	80,3	900	920	20	9,1	61	150,4	793	810	17	11,2						
22	83,0	920	947	27	6,3	62	152,2	810	828	18	10,4						
23	86,1	136	167	31	5,3	63	154,1	828	847	19	9,7						
24	88,5	167	191	24	7,3	64	156,0	847	866	19	9,7						
25	91,6	191	222	31	5,3	65	157,9	866	885	19	9,7						
26	93,0	222	236	14	14,3	66	160,0	885	906	21	8,6						
27	95,0	236	256	20	9,1	67	161,9	906	925	19	9,7						
28	96,9	256	275	19	9,7	68	163,2	925	938	13	15,7						
29	98,8	275	294	19	9,7	69	164,3	938	949	11	19,4						
30	100,6	294	312	18	10,4	70	166,0	949	966	17	11,2						
31	102,1	312	327	15	13,1	71	166,9	966	975	9	25,0						
32	103,7	327	343	16	12,1	72	167,9	975	985	10	21,9						
33	105,2	343	358	15	13,1	73	168,8	985	994	9	25,0						
34	107,0	358	376	18	10,4	74	169,4	994	1000	6	41,6						
35	108,8	376	394	18	10,4	75	170,8	1000	1014	14	14,3						
36	110,5	394	411	17	11,2	76	171,4	1014	1020	6	41,6						
37	111,6	411	422	11	19,4	77	172,2	1020	1028	8	29,0						
38	113,5	422	441	19	9,7	78	173,0	1028	1036	8	29,0						
39	114,4	441	450	9	25,0	79	175,9	1036	1065	29	5,7						
40	115,6	450	462	12	17,4	80	176,4	1065	1070	5	52,4						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta hasta los 90 cm de profundidad valores sobre los 20 mm/golpes y en algunos casos sobre los 40 o 50 mm/golpes. Esto se relaciona con un suelo de compacidad baja. Luego de los 90 cm de profundidad se aprecia una mayor compacidad sustrato, ya que los valores de D tienden a estar entre los 10 a 25 mm/golpes, lo que se relaciona con un muro de compacidad media-baja.

18.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse destinado a riego se encuentra en la comuna de Colina, provincia de Chacabuco, RM, y se llega a él por la Autopista Los Libertadores, accediendo a la comuna de Colina por el sur a través de la calle General San Martín. Al llegar al cruce con la calle Inmaculada Concepción, virar a la izquierda y mantenerse en ella hasta llegar al cruce con la calle Aconcagua; en dicho cruce, doblar a la izquierda en dirección al norte y tomar la calle Francisco de Asís hacia la izquierda. Esta calle da

un giro, pero manteniéndose en ella se llega a la calle Reina Sur, en la que se encuentra el tranque en estudio.

La poza de este embalse se encuentra delimitada por cuatro muros consistentes en material de relleno, constituyendo en planta una geometría rectangular de 90x60m^2, cuyo lado más largo tiene su eje en sentido oriente-poniente.

Si bien es atendible que un eventual colapso puede producirse en cualquiera de los cuatro muros, los problemas informados en el diagnóstico preliminar de embalses se concentran en el muro sur, en el que se aprecia un socavón antiguo, someramente reparado; dicha falla, vale la pena dejarlo establecido, es previo al terremoto de febrero de 2010 y no se vio acrecentada por los efectos del sismo.

Por su parte, los demás muros no presentaron daños luego del sismo.

Atendiendo todo lo anterior, el análisis de cauce principal se efectuará en el sentido de las aguas del muro sur, ya que éste es el eslabón afectado de la estructura. Si bien es posible pensar que, luego de un eventual colapso del muro sur, se puede producir la falla de uno o más de los demás muros debido al vaciamiento rápido de la poza, esto es presumiblemente descartable, dadas las siguientes consideraciones:

- ✓ Aptitud de los taludes en relación a la altura de los muros.
- ✓ El buen estado actual de ellos.

Siguiendo entonces la línea de análisis planteada, el eje del cauce aguas abajo del muro sur tiene un desarrollo de 260m, con una pendiente media de 3,1%. Dicho trazado comienza a los pies del muro y cruza la explanada cuyos suelos son usados para cultivos, hasta llegar a la zona urbana de Colina, de densidad poblacional alta; perpendicular al eje trazado, la calle Nueva de Colina se encuentra a unos 140m al este.

Por ende, la infraestructura potencialmente en riesgo ante una eventual falla del embalse es de tipo urbana, encontrándose calles pavimentadas, sistemas de distribución AP, de recolección AS, luminaria pública, etcétera.

En cuanto a los demás muros, vale la pena comentar lo siguiente:

- Muro norte: su pie es adyacente a calle Reina Sur, en cuya vereda norte se sitúan instalaciones deportivas (baja densidad poblacional); el terreno adyacente tiene contra pendiente, por lo que un eventual

avance de las aguas (en dirección sur-norte) es limitado a unos 160m.

- Muro Este: su pie es adyacente a la calle Cuprum, en cuya vereda oriente se sitúan viviendas (alta densidad poblacional); el terreno aledaño tiene contra pendiente, por lo que un eventual avance de las aguas (en sentido oeste-este) es limitado a unos 220m.

- Muro Oeste: Aledaño a terrenos de cultivo, el eje en que se moverían las aguas en dirección este-oeste cruza también viviendas (densidad poblacional media) a lo largo de un trazado con pendiente a favor de 2,6km; el primer conjunto habitado se encuentra a 400m del pie del muro en cuestión; la calle Reina Sur se ubica a 30m de distancia, medida perpendicularmente al sentido del cauce.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse en contexto con su entorno:

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Reina Sur y Zonas Aledañas

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce correspondiente al muro sur del embalse Reina Sur:

CUADRO 18-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE REINA SUR, MURO SUR

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Reina Sur	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Explanada a los pies del muro sur	---
	Tipo de Terreno	Explanada con cultivos y zona residencial	---
	Pendiente Media	No hay cauce	m/m
	Ancho medio	No hay cauce	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	Aledaño	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	Aledaño	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	Aledaño	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Alta	---

18.4. Caudales Máximos Instantáneos

No se realiza estudio hidrológico de crecidas afluentes al embalse, ya que no posee cuenca aportante.

18.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Reina Sur fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Reina Sur	Arcilla arenosa	18	0,20	1,80	4	vertical	35	2 a 4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.29
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.13
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.26

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.39
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.94

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

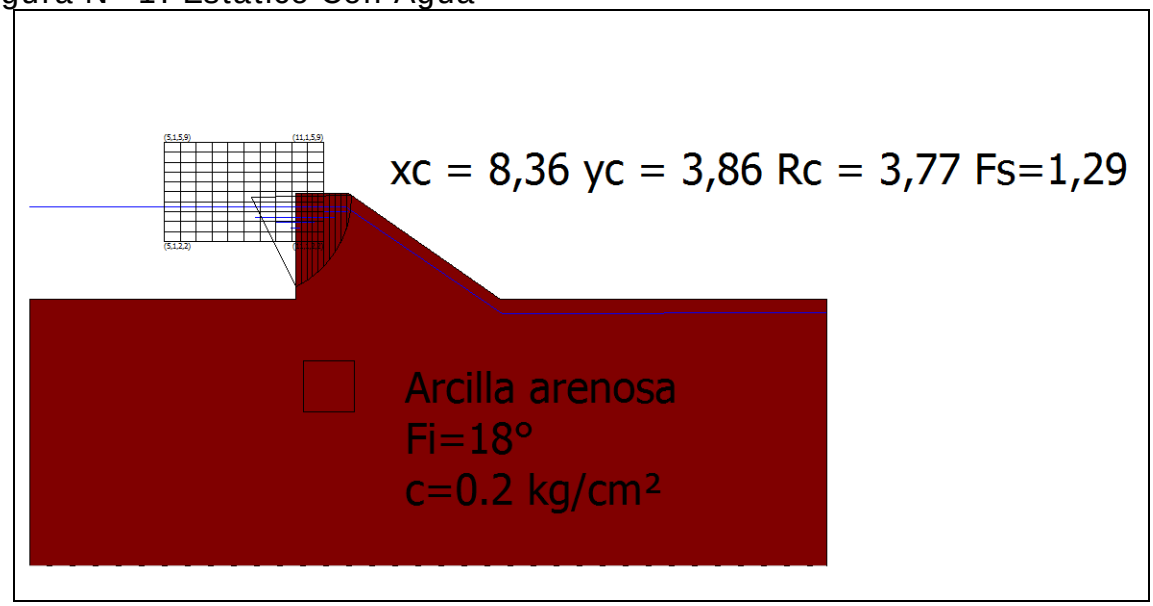


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

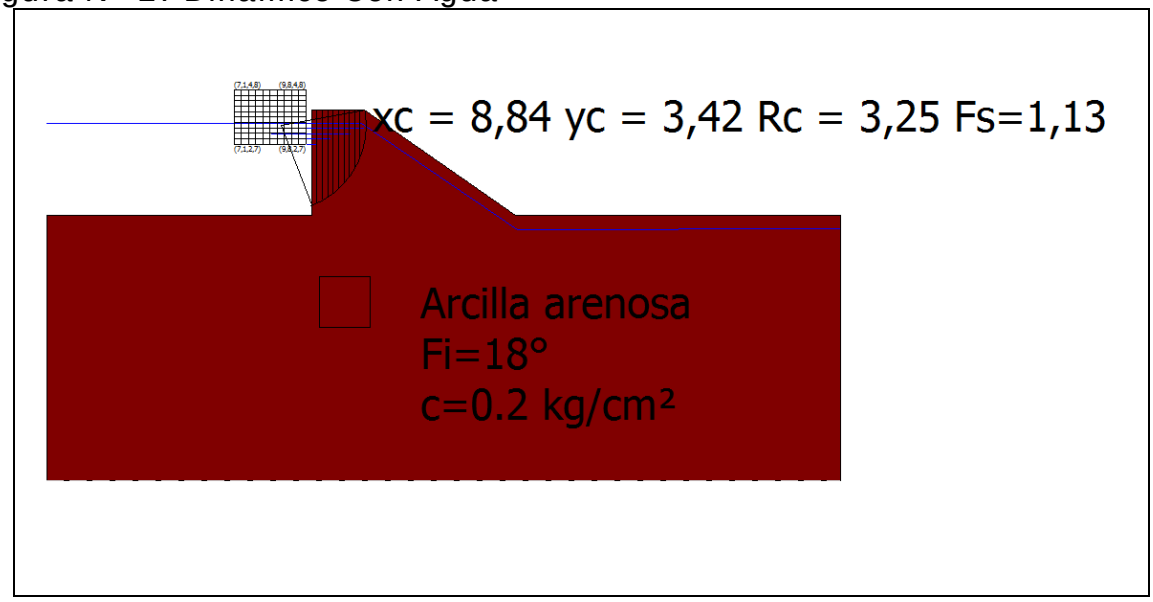
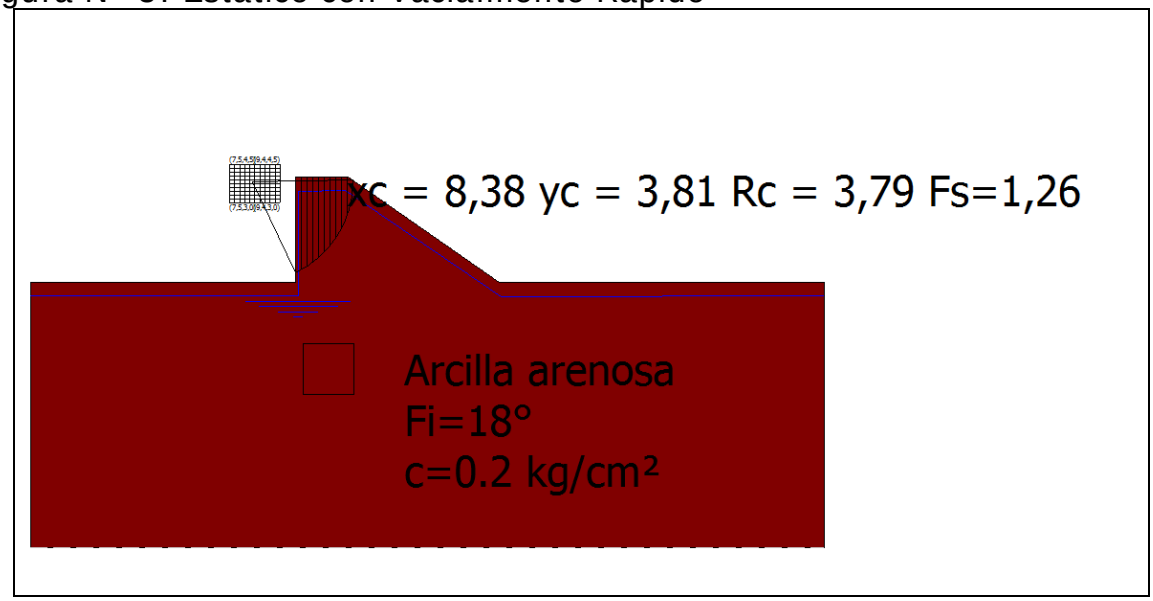


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

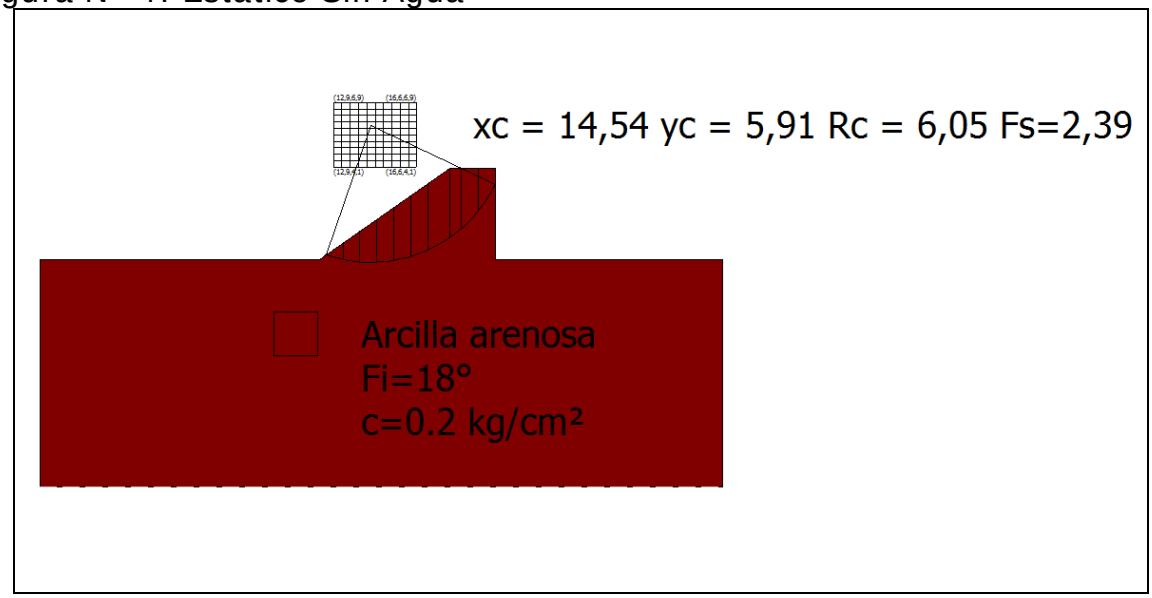
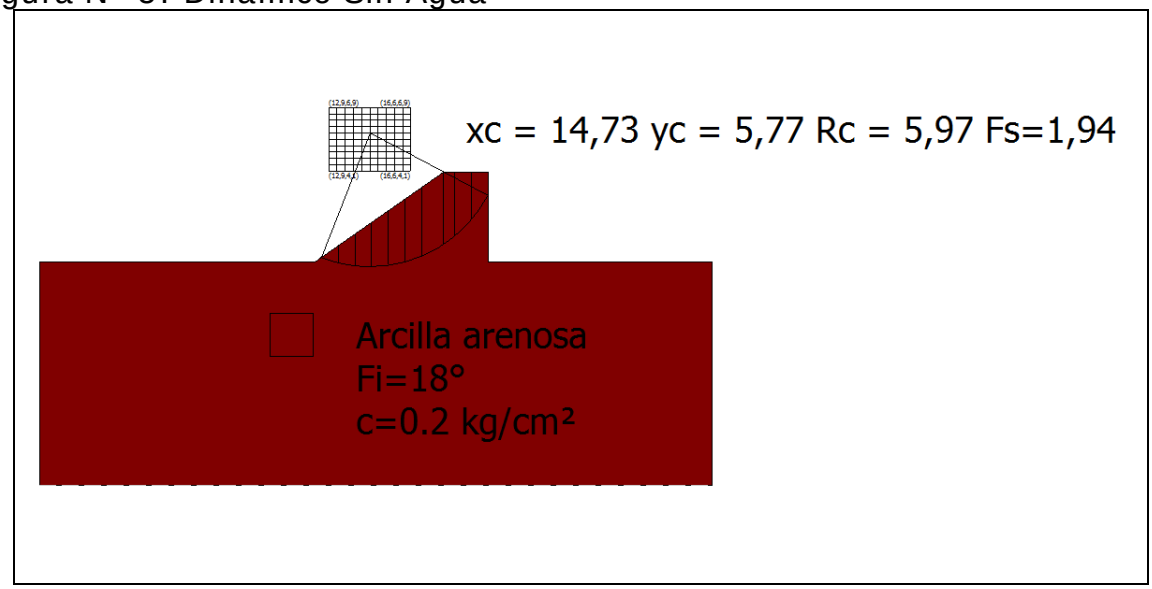


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Reina Sur está formado por cuatro muros de alturas diferentes, no sufrió daños con el terremoto del año 2010, sin embargo, el embanque y la vegetación lo cubrían casi por completo.

ii) A la fecha de la visita se constató que se procedió a la limpia de la poza, extrayendo una cantidad indeterminada de sedimentos con vegetación. El material extraído se depositó directamente sobre los muros, reduciendo la seguridad de estos. En vista de lo anterior, no fue posible determinar visualmente el estado actual de los muros.

iii) Para el nivel de aguas existente (embalse casi lleno) no se observaron filtraciones.

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos estáticos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

Dado que el embalse Reina Sur presenta riesgos potenciales de falla, se recomienda solicitar a los propietarios la reparación completa de los muros. Para esto se deberá contar con un estudio desarrollado por un

ingeniero civil competente. El estudio desarrollado deberá contar con la aprobación de la DGA.

18.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 18-2
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Reina Sur	Arcillo Arenosos	11,7	0	3,7	3	4,0	12,0	Si

18.7. Caudal Máximo en Vertedero

No tiene cuenca aportante ni vertedero operativo.

18.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Reina Sur, Colina

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3 g** es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**
(sismo intraplaca) **M= 7,796**

A= 294,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 23,4 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,6
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: No tiene cuenca aportante ni vertedero

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 0 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)		
0,002 (T= 500 años)		
0,001 (T= 1.000 años)		

Nota: No tiene cuenca aportante ni vertedero

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	0,5
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

Nota: No tiene cuenca aportante.

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	0,5

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= sin cuenca aportante

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,043
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,6
Potencialidad de Falla= 0,5

Riesgo Total= 0,043 x 0,6 x 0,5= 1,4 %

19. EMBALSE LA DEHESA

19.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse La Dehesa.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	La Dehesa		Nº de ficha / ID (mapa)	14
Propietario	Aguas Cordillera		Fecha (dd/mm/año)	28/8/2014; 17:15 hrs.
RUT Propietario				
Año de construcción			Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)			Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación			Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	MAIPO	57		
Subcuenca / Código DGA	RIO MAPOCHO	572		
Fuente del recurso	RIO MAIPO PRIMERA SECCION			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Región Metropolitana
Provincia	santiago
Comuna	La Dehesa
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.311.274 Este= 357.755
Coordenadas UTM Izq	
Datum/ huso	WGS84 / 19S
Altitud	1000 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	X
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	550 m
Ancho del coronamiento	8 m
Desarrollo del talud aguas abajo	44 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas	
Paramentos verticales	
Ángulo talud de aguas abajo	25 °
Ángulo talud de aguas arriba	37 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente)	20 m
Profundidad máxima de agua en sector del muro	
Área estimada o calculada de la poza	
Ancho máximo de la poza	300 m
Largo de la poza	550 m
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	1,2

7.A-CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación	

7.B-ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación	no
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	
Tipo de revestimiento del muro	poco enrocado por aguas arriba

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	lateral, de hormigón, pared gruesa
Material constructivo	hormigón
Estado de conservación y operatividad	Bueno y operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	ancho 4,5 m, carga máxima 0,45 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Hormigón
Mediciones estructurales	no fue factible medir
Funcionamiento actual	Bueno

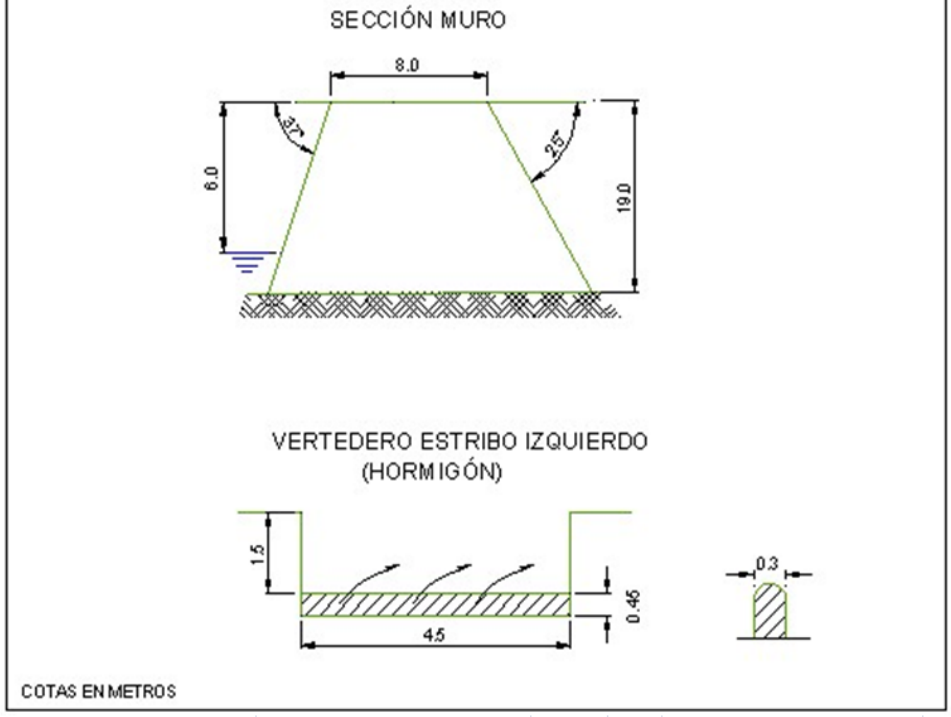
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Quebrada natural alterada, i= 0,05, ancho medio 15 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,25 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,06 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	alta
Distancia hacia zonas agrícolas	no hay
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,035 km
Área de riego servida por el tranque analizado	25 ha

11. OBSERVACIONES

En el terremoto de 1985, grietas en todo el muro; el muro tenía 5 m menos de altura que hoy
En esa oportunida se rebajó 3 m en la parte central del coronamiento y se reparó con diente de arcilla en el centro (3 m)
En 1987, producto de reclamos de vecinos por filtraciones, se construyó un dren por el lado norte al pie del muro, para descargar a un colector de aguas lluvias ubicado en la calle
Para el terremoto del año 2010, se produjeron varias grietas (prof. 2 m, anchos de 0,2 m)
Se arregló sacando el material donde estaban las grietas y colocando nuevo material compactándolo

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE LA DEHESA (14)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

SECTOR OBRA DE ENTREGA (BAJO AGUA)

VISTA HACIA AGUAS ABAJO MURO

VERTEDERO

PRUEBA PENETROMÉTRICA

19.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse La Dehesa, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arcillas limo arenosas, de color café con gravas dispersas. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos arcillo limo arenosos, con gravas dispersas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es de media a alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque La Dehesa sufrió daños debido al terremoto del año 2010. En vista de lo anterior la Empresa Aguas Andinas contrató un estudio de mejoramiento el que se desarrolló ese mismo año. El mejoramiento consistió en remover y recolocar los 3 metros superiores del muro y colocar un sistema de drenaje que recibiera y condujera las filtraciones que históricamente ha tenido este embalse. En el transcurso de la visita se inspeccionó detalladamente el muro no observándose grietas ni

deformidades ni indicios de deslizamientos. Para el nivel de aguas de ese momento (embalse a la mitad de su capacidad) no se observaron filtraciones en el talud de aguas abajo.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 540 m; ancho de coronamiento 8 m; inclinación talud aguas 37°; altura talud aguas arriba hasta el nivel de agua 6 m; inclinación talud aguas abajo 25°; altura máxima talud aguas abajo 19 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

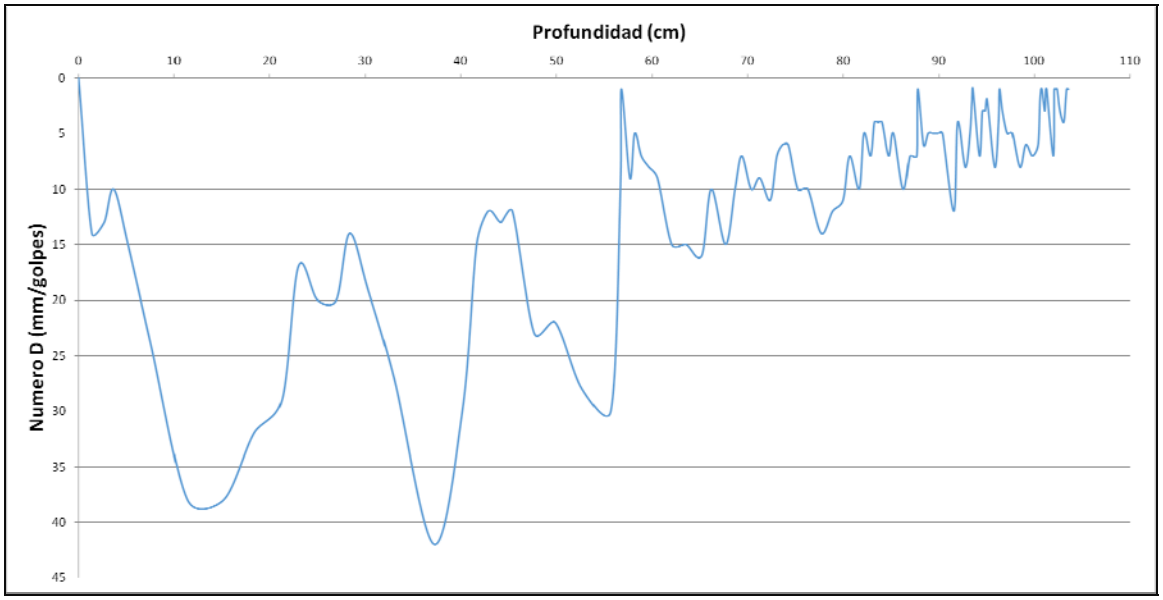
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse La Dehesa

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1,4	111	125	14	14,3	41	71,3	827	836	9	25,0	81	96,4	69	70	1	398,1
2	2,7	137	150	13	15,7	42	72,4	836	847	11	19,4	82	96,7	70	73	3	99,7
3	3,7	150	160	10	21,9	43	73,1	847	854	7	34,3	83	97,2	73	78	5	52,4
4	5,2	160	175	15	13,1	44	73,7	854	860	6	41,6	84	97,7	78	83	5	52,4
5	7,6	175	199	24	7,3	45	74,3	44	50	6	41,6	85	98,5	83	91	8	29,0
6	11,4	199	237	38	4,1	46	75,3	50	60	10	21,9	86	99,1	91	97	6	41,6
7	15,2	237	275	38	4,1	47	76,3	60	70	10	21,9	87	99,8	97	104	7	34,3
8	18,4	275	307	32	5,1	48	77,7	70	84	14	14,3	88	100,4	104	110	6	41,6
9	21,3	307	336	29	5,7	49	78,9	84	96	12	17,4	89	100,6	110	112	2	166,2
10	23,0	336	353	17	11,2	50	80,0	96	107	11	19,4	90	100,7	112	113	1	398,1
11	25,0	353	373	20	9,1	51	80,7	107	114	7	34,3	91	100,8	113	114	1	398,1
12	27,0	373	393	20	9,1	52	81,7	114	124	10	21,9	92	101,1	114	117	3	99,7
13	28,4	393	407	14	14,3	53	82,2	124	129	5	52,4	93	101,2	117	118	1	398,1
14	30,3	407	426	19	9,7	54	82,9	129	136	7	34,3	94	101,3	118	119	1	398,1
15	33,0	426	453	27	6,3	55	83,3	136	140	4	69,4	95	102,0	119	126	7	34,3
16	37,2	453	495	42	3,6	56	83,7	140	144	4	69,4	96	102,1	126	127	1	398,1
17	40,2	495	525	30	5,5	57	84,1	144	148	4	69,4	97	102,2	127	128	1	398,1
18	41,7	525	540	15	13,1	58	84,8	148	155	7	34,3	98	102,3	128	129	1	398,1
19	42,9	540	552	12	17,4	59	85,3	155	160	5	52,4	99	102,4	129	130	1	398,1
20	44,2	552	565	13	15,7	60	86,3	160	170	10	21,9	100	102,7	130	133	3	99,7
21	45,4	565	577	12	17,4	61	87,0	170	177	7	34,3	101	103,1	133	137	4	69,4
22	47,7	577	600	23	7,7	62	87,7	177	184	7	34,3	102	103,3	137	139	2	166,2
23	49,9	600	622	22	8,1	63	87,8	184	185	1	398,1	103	103,4	139	140	1	398,1
24	52,7	622	650	28	6,0	64	88,4	185	191	6	41,6	104	103,5	140	141	1	398,1
25	55,7	650	680	30	5,5	65	88,9	191	196	5	52,4	105	103,6	141	142	1	398,1
26	56,7	680	690	10	21,9	66	89,4	196	200	5	52,4						
27	56,8	690	691	1	398,1	67	89,9	0	5	5	52,4						
28	57,7	691	700	9	25,0	68	90,4	5	10	5	52,4						
29	58,2	700	705	5	52,4	69	91,6	10	22	12	17,4						
30	58,9	705	712	7	34,3	70	92,0	22	26	4	69,4						
31	59,7	712	720	8	29,0	71	92,8	26	34	8	29,0						
32	60,6	720	729	9	25,0	72	93,3	34	39	5	52,4						
33	62,1	729	744	15	13,1	73	93,5	39	41	2	166,2						
34	63,6	744	759	15	13,1	74	93,6	41	42	1	398,1						
35	65,2	759	775	16	12,1	75	94,3	42	49	7	34,3						
36	66,2	775	785	10	21,9	76	94,6	49	52	3	99,7						
37	67,7	785	800	15	13,1	77	94,9	52	55	3	99,7						
38	68,7	800	810	10	21,9	78	95,1	55	57	2	166,2						
39	69,4	810	817	7	34,3	79	95,9	57	65	8	29,0						
40	70,4	817	827	10	21,9	80	96,3	65	69	4	69,4						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que entre el nivel superficial y los 55 cm de profundidad, el índice de penetración (Numero D) presenta valores sobre los 20 mm/golpes, incluso sobrepasando los 30 mm/golpes. Esto se relaciona con suelos de compacidad media a baja. A partir de los 55 cm de profundidad los valores de D son mucho menores, no sobrepasando los 15 mm/golpes. Lo que se refiere a suelos más compactos, con una compacidad media.

19.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse se encuentra en la comuna de Lo Barnechea, provincia de Santiago, RM y se utiliza fundamentalmente para fines de producción de agua potable.

Se llega a él a través de la calle Bernardo Larraín Cotapos (hacia la cordillera), por la cual se debe ascender hasta bordear el embalse.

El cauce principal aguas abajo del muro, corresponde a una quebrada natural alterada de baja densidad vegetal, quebrada que se encuentra empalmada a la descarga del vertedero evacuador de crecidas.

La pendiente de dicho cauce es de 4,37% y tiene una longitud aproximada de 0,25km, medida entre el empalme con el fin de la canalización de crecidas y la alcantarilla a la cual descarga, al llegar a las proximidades de la rotonda a la que confluyen las calles Bernardo Larraín Cotapos, Teresa Vial y Panorámica Sur.

La zona habitada a los pies del cauce es de alta densidad poblacional y completamente urbanizada (calles pavimentadas, redes AP y AS, luminaria pública, etcétera). En el sentido del cauce, la zona residencial se encuentra a los 250m, y, en el sentido perpendicular, se observan casas a una distancia de 60m.

En cuanto a la presencia de otro tipo de infraestructura importante, se destacan unidades de tratamiento de agua potable y otras instalaciones, que, perpendicular al eje del cauce se encuentran a una distancia estimada de 35m.

Cabe establecer que no se observan superficies de cultivo en el entorno del embalse.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse en contexto con su entorno:

Fotograma Google Earth – Ubicación General
Embalse La Dehesa, Infraestructura y Zona Residencial
Aledaña

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce correspondiente al embalse La Dehesa:

CUADRO 19-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE LA DEHESA

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		La Dehesa	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada natural alterada	---
	Tipo de Terreno	Baja densidad vegetal	---
	Pendiente Media	0,0437	m/m
	Ancho medio	15	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,25	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,06	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (*)	0,035	km
	Zonas Agrícolas	No hay	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Alta	---

(*) Se indica la distancia más corta, esto es, a las instalaciones de la PTAP.

19.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
La Dehesa	3,657	4,397	1701	928	773

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,406	0,471	1,385	0,896

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 19-2 siguiente.

CUADRO 19-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
14 Embalse La Dehesa	2	1,23	1,24	1,69	3,10	-	3,10	3,10
	5	2,17	2,72	3,37	4,74	-	4,74	4,74
	10	2,93	4,11	4,86	5,96	-	5,96	5,96
	20	3,78	5,83	6,62	7,57	-	7,57	7,57
	25	4,08	6,49	7,27	7,90	-	7,90	7,90
	50	5,04	8,53	9,25	9,53	-	9,53	9,53
	100	6,16	11,64	12,24	11,53	-	11,53	12,24
	250	7,07	12,94	13,74	13,05	-	13,05	13,74
	500	7,94	14,74	15,56	14,52	-	14,52	15,56
	1000	8,81	16,53	17,38	15,99	-	15,99	17,38

19.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse La Dehesa fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
La Dehesa	Arcilla limo arenosa con gravas	25	0,20	1,85	19	37	25	8

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.26
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.06
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.17

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.62
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.29

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

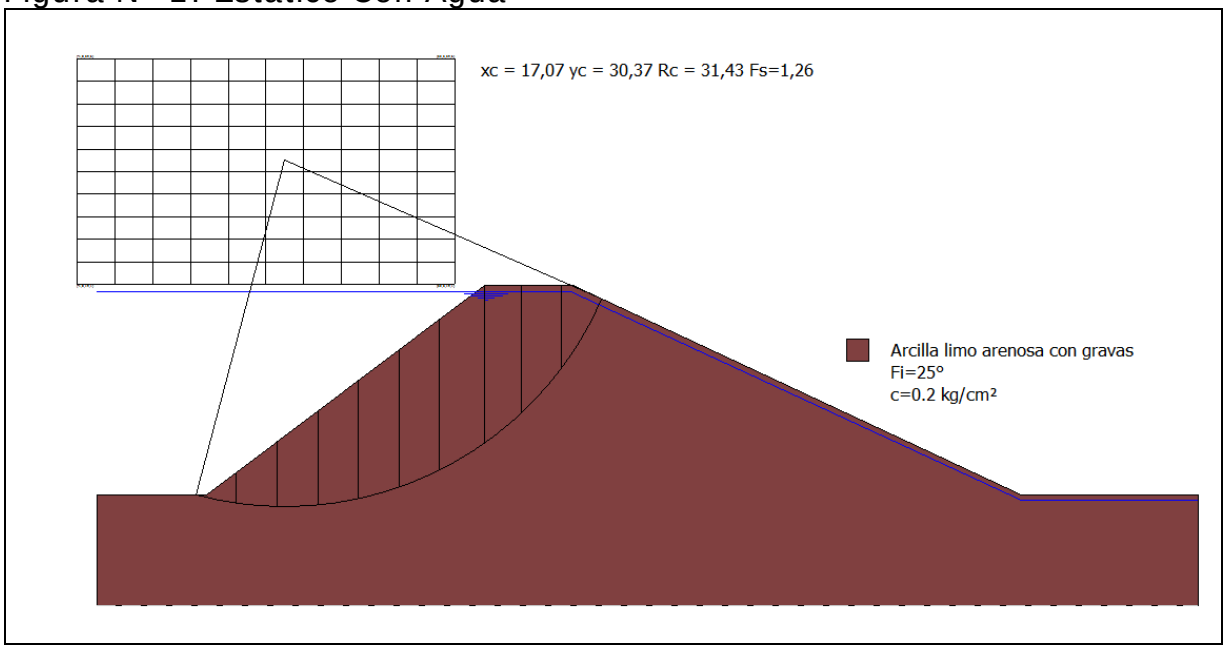


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

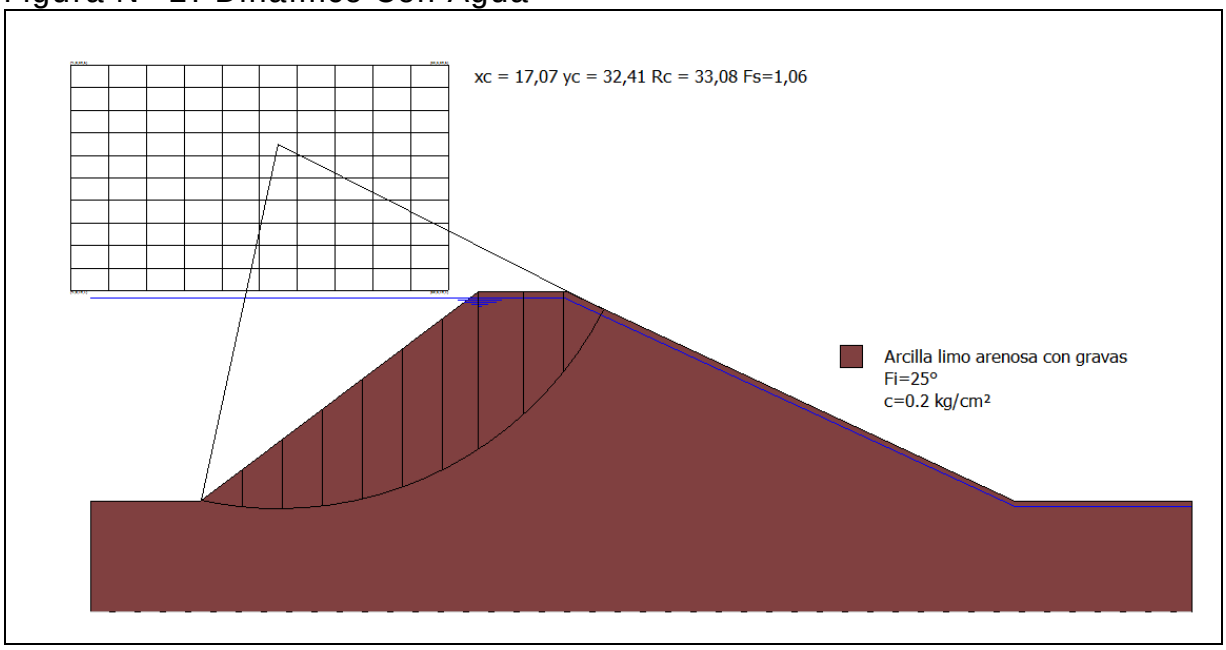
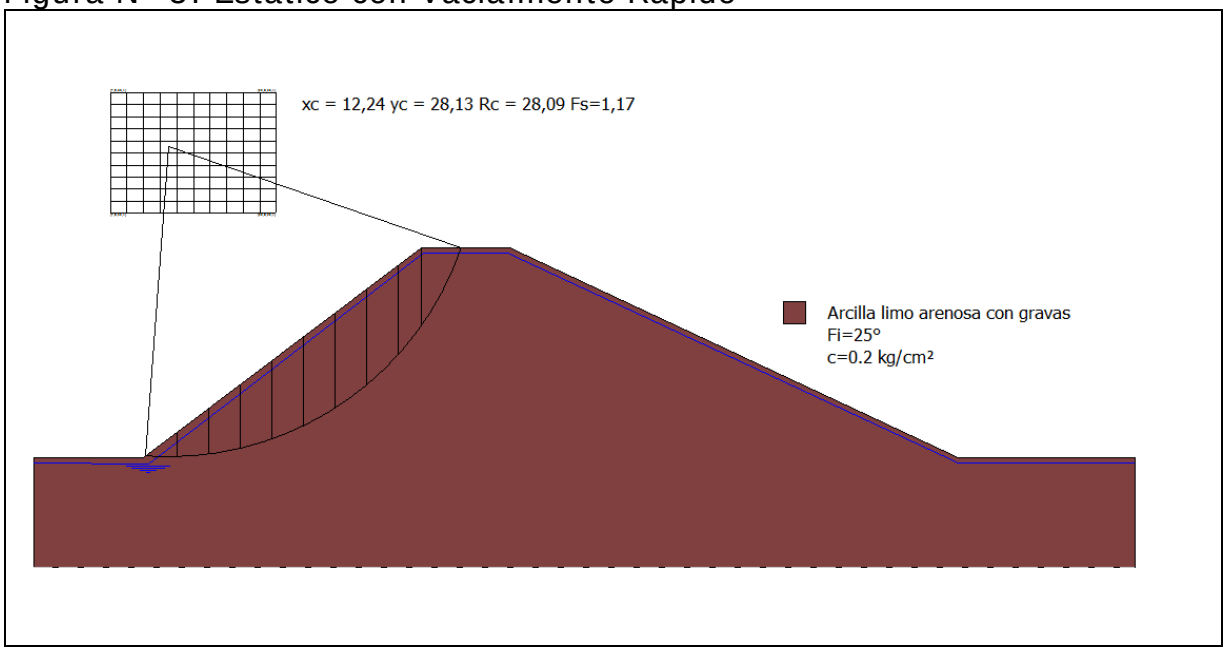


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

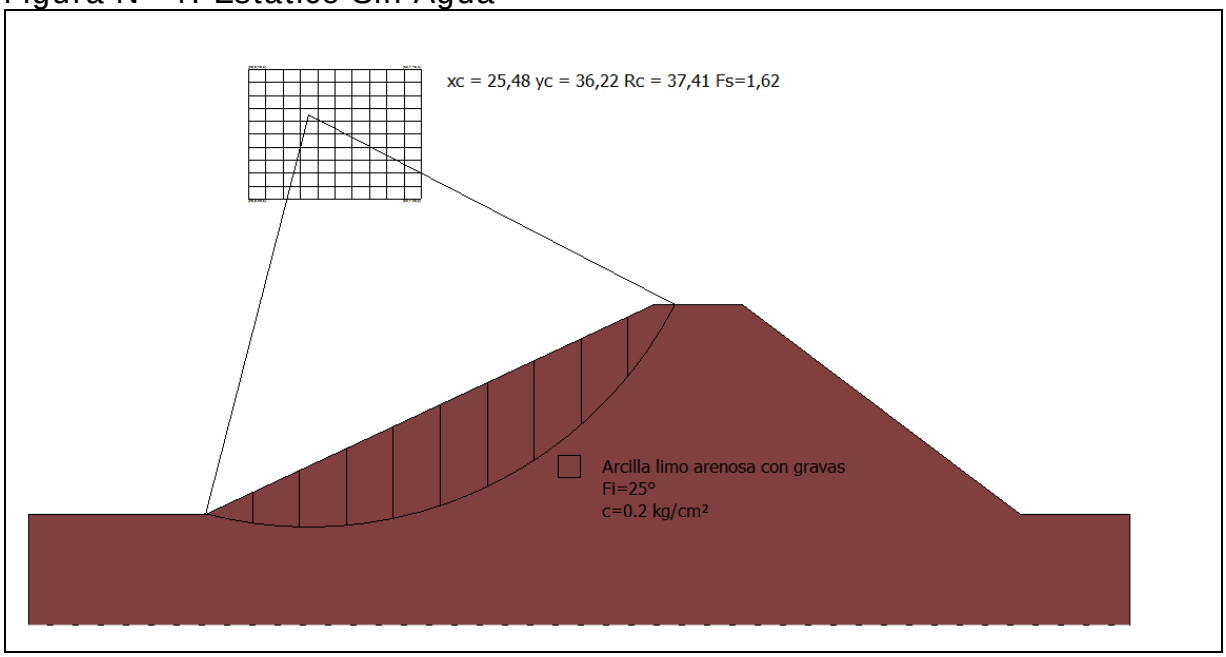
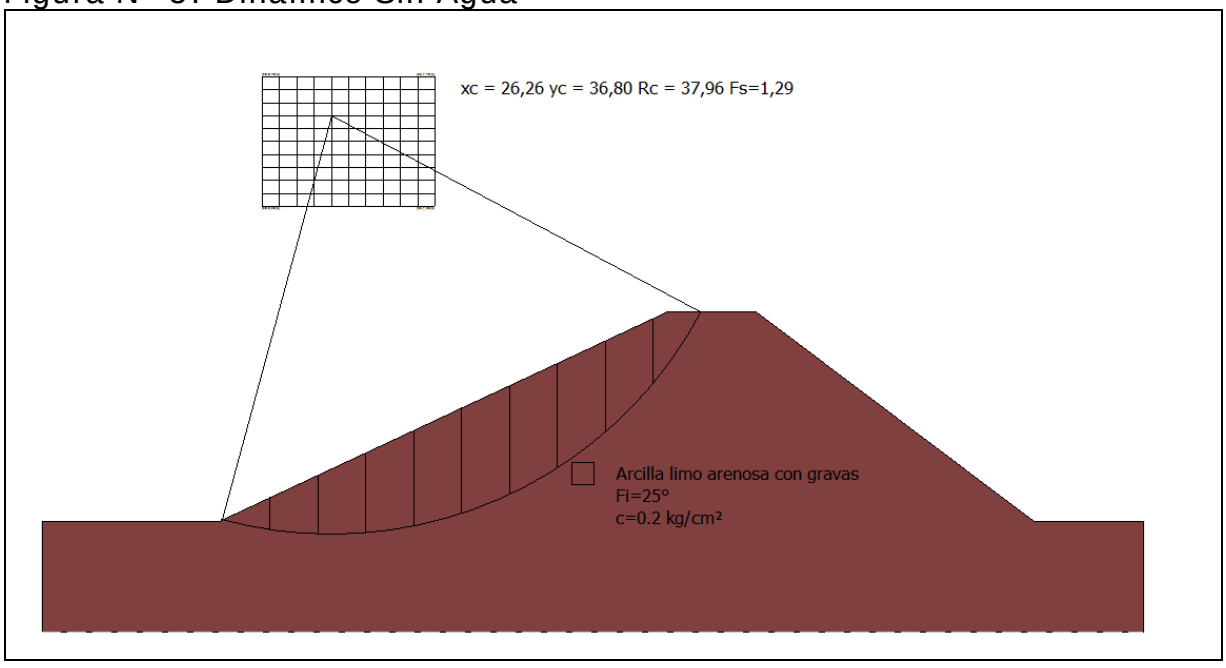


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque La Dehesa sufrió daños debido al terremoto del año 2010. En vista de lo anterior la Empresa Aguas Andinas contrató un estudio de mejoramiento el que se desarrolló ese mismo año. El mejoramiento consistió en remover y recolocar los 3 metros superiores del muro y colocar un sistema de drenaje que recibiera y condujera las filtraciones que históricamente ha tenido este embalse.

ii) En el transcurso de la visita se inspeccionó detalladamente el muro no observándose grietas ni deformidades ni indicios de deslizamientos.

iii) Para el nivel de aguas al momento de la visita (embalse a la mitad de su capacidad) no se observaron filtraciones en el talud de aguas abajo.

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos estáticos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

vi) Aún cuando el embalse La Dehesa se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de

su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente y aprobado por la DGA.

19.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 19-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
La Dehesa	Limos Areno Arcillosos	73,8	0	24,6	6	19,0	114,0	Si

19.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 19-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
La Dehesa	Lateral	Hormigón, pared gruesa	4,5	0,65	1,5							**7,41**

19.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento

V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: La Dehesa, Región Metropolitana

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g**
es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	0,95

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor adoptado**
Canal revestido en hormigón	1	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 7,41 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 1 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 7,42 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	13,05	0,05
0,002 (T= 500 años)	14,52	
0,001 (T= 1.000 años)	15,99	

Como la capacidad efectiva es de 7,42 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 62 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,016.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	0,3

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,016 (T= 62 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,043
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,043 x 0,95 x 1,0= 4 %

20. EMBALSE PAILIMO I

20.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Pailimo I.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Cocauquén o Pailimo 1	Nº de ficha	15
Propietario	Bien Común	Fecha (dd/mm/año)	9/9/2014; 10:40 hrs.
RUT Propietario			
Año de construcción	1890	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	SI	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación	1993	Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Estero Quebrada Honda		
Subcuenca / Código DGA	Estero Pailimo		
Fuente del recurso	Estero Cocauquén		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'Higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.202.484	E= 241.772
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84	
Altitud m.s.n.m	225	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	340 m
Ancho del coronamiento (m)	3
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	25
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	
Paramentos verticales	No
Ángulo talud de aguas abajo	35 °
Ángulo talud de aguas arriba	26 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	14,00
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	
Área estimada o calculada de la poza (ha)	386
Ancho máximo de la poza (km)	0,28
Largo de la poza (km)	1,38
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	1,000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)
Identificación del punto de toma de muestra
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado
Coordenadas UTM
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Irregular
Compacidad del material estructural	media a baja
Uniformidad de los taludes	irregulres
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, hasta 0,5 m
Grietas visibles y su ubicación	sí, en coronamiento central, antiguas y nuevas
Indicios de deslizamientos y ubicación	sí, en varios sectores
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se aprecian sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se aprecian filtraciones
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada. El talud aguas arriba está cubierto por enrocado de protección

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	X
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero de caída libre de estructura de hormigón con compuertas de madera. El agua sale a queb.
Material constructivo	Hormigón, fierro y madera
Estado de conservación y operatividad	Buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Carga máxima 26 m3/s; Ancho: 11,70 mts; Alto: 1,5 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Tubería de acero de diámetro desconocido debido a que se encuentra bajo el agua, la que entrega agua al cajón de hormigón con 2 compuer
	cada una de estas le entregan a canal en tierra de 1,5 mts por 1,0 mts de profundidad
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativa

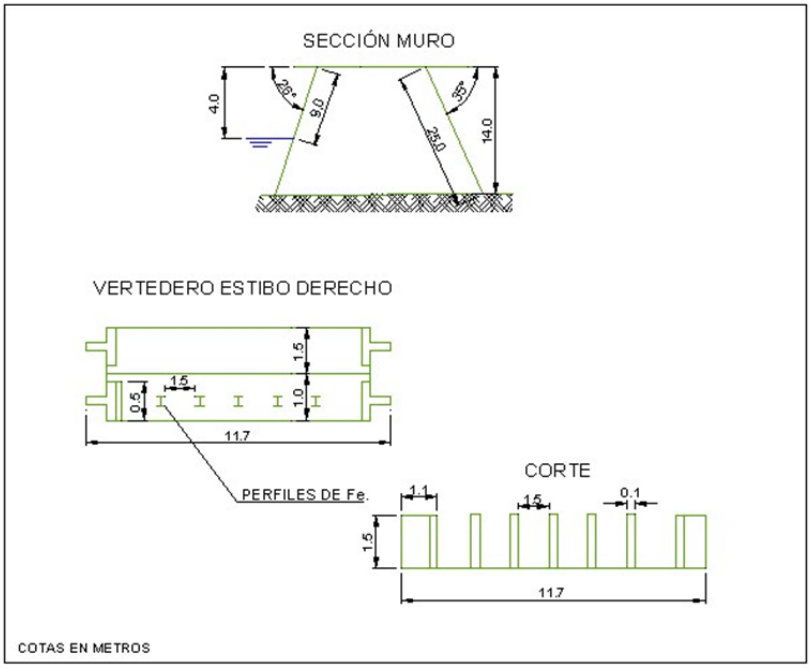
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Canal en tierra, terrenos agrícolas, i= 0,007, ancho medio cauce 5 mts
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	no hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,12 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,115 km
Área de riego servida por el tranque analizado	60 ha

11. OBSERVACIONES

Se presentan grietas, deslizamientos y depresiones
vertedero funcionando sin tablones para mantener bajo el nivel de agua
deslizamientos en el sector central y hacia la izq. Y derecha
Grietas antiguas y nuevas

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE PAILIMO 1 (15)

TALUD AGUAS ARRIBA Y SECTOR VERTEDERO

TALUD AGUAS ARRIBA

GRIETAS

GRIETAS

HUNDIMIENTO EN CORONAMIENTO

ENSAYO PENETRÓMETRO

20.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Pailimo I, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arenas limosas con gravas (tipo maicillo), de color café claro. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arenas limosas con gravas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Pailimo I sufrió daños severos debido al terremoto del año 2010. En el transcurso de la visita se pudo apreciar que aún quedan evidencia claras de los deslizamientos, hundimientos y grietas que se produjeron, observándose en algunos sectores desniveles de hasta 0.3

metros. En la parte más alta del muro (sector central) han aparecido algunas grietas nuevas, lo que es preocupante. Lo anterior implica que no se han efectuado reparaciones al muro, aún cuando el embalse se utiliza prácticamente a su máxima capacidad.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 340 m; ancho de coronamiento variable entre 2.5 y 3.5 m; inclinación talud aguas arriba 26°; Altura hasta el nivel de agua 4 m; inclinación talud aguas abajo 35°; altura máxima talud aguas abajo 14 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

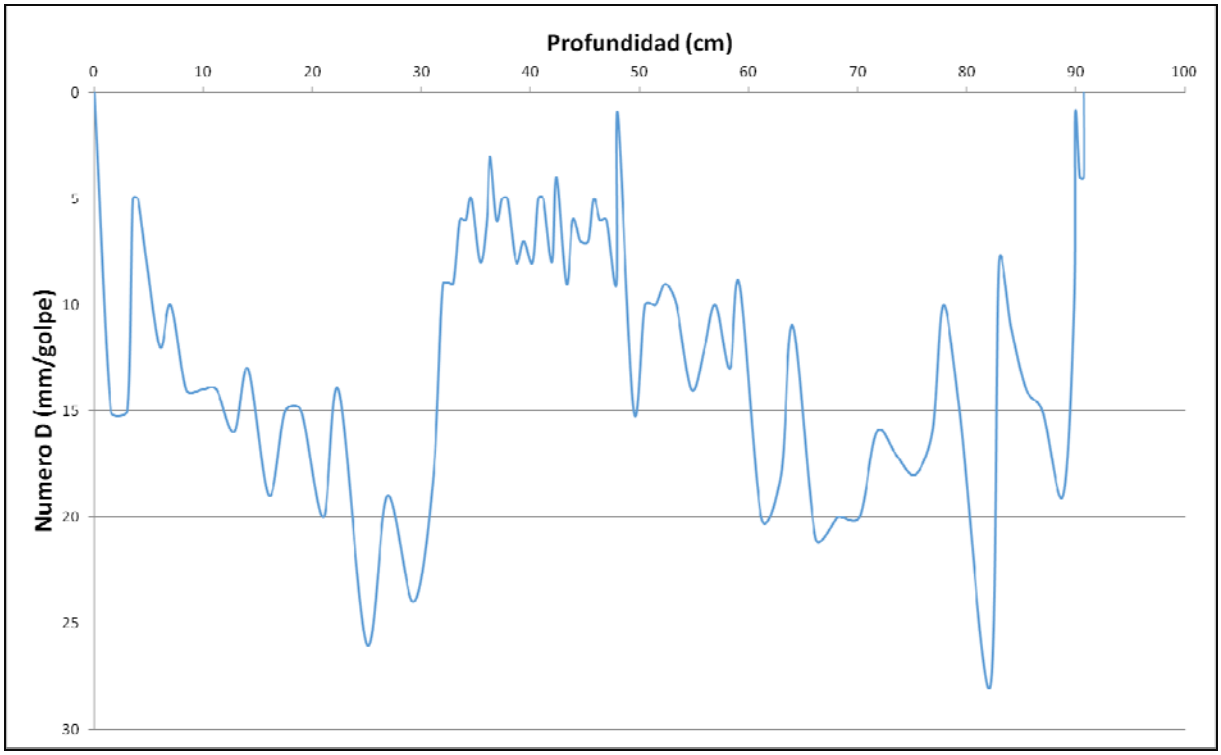
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Pailimo I

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1,5	100	115	15	13,1	41	43,9	533	539	6	41,6
2	3,0	115	130	15	13,1	42	44,6	539	546	7	34,3
3	3,5	130	135	5	52,4	43	45,3	546	553	7	34,3
4	4,0	135	140	5	52,4	44	45,8	553	558	5	52,4
5	4,8	140	148	8	29,0	45	46,4	558	564	6	41,6
6	6,0	148	160	12	17,4	46	47,0	564	570	6	41,6
7	7,0	160	170	10	21,9	47	47,9	570	579	9	25,0
8	8,4	170	184	14	14,3	48	48,0	579	580	1	398,1
9	9,8	184	198	14	14,3	49	49,5	580	595	15	13,1
10	11,2	198	212	14	14,3	50	50,5	595	605	10	21,9
11	12,8	212	228	16	12,1	51	51,5	605	615	10	21,9
12	14,1	228	241	13	15,7	52	52,4	615	624	9	25,0
13	16,0	241	260	19	9,7	53	53,4	624	634	10	21,9
14	17,5	260	275	15	13,1	54	54,8	634	648	14	14,3
15	19,0	275	290	15	13,1	55	56,0	648	660	12	17,4
16	21,0	290	310	20	9,1	56	57,0	660	670	10	21,9
17	22,4	310	324	14	14,3	57	58,3	670	683	13	15,7
18	25,0	324	350	26	6,6	58	59,2	683	692	9	25,0
19	26,9	350	369	19	9,7	59	61,2	692	712	20	9,1
20	29,3	369	393	24	7,3	60	63,0	712	730	18	10,4
21	31,1	393	411	18	10,4	61	64,1	730	741	11	19,4
22	32,0	411	420	9	25,0	62	66,2	741	762	21	8,6
23	32,9	420	429	9	25,0	63	68,2	762	782	20	9,1
24	33,5	429	435	6	41,6	64	70,2	782	802	20	9,1
25	34,1	435	441	6	41,6	65	71,8	802	818	16	12,1
26	34,6	441	446	5	52,4	66	73,5	818	835	17	11,2
27	35,4	446	454	8	29,0	67	75,3	835	853	18	10,4
28	36,0	454	460	6	41,6	68	76,9	853	869	16	12,1
29	36,3	460	463	3	99,7	69	77,9	869	879	10	21,9
30	36,9	463	469	6	41,6	70	79,4	879	894	15	13,1
31	37,4	469	474	5	52,4	71	82,2	894	922	28	6,0
32	37,9	474	479	5	52,4	72	83,0	922	930	8	29,0
33	38,7	479	487	8	29,0	73	84,1	117	128	11	19,4
34	39,4	487	494	7	34,3	74	85,5	128	142	14	14,3
35	40,2	494	502	8	29,0	75	87,0	142	157	15	13,1
36	40,7	502	507	5	52,4	76	88,9	157	176	19	9,7
37	41,2	507	512	5	52,4	77	89,9	176	186	10	21,9
38	42,0	512	520	8	29,0	78	90,0	186	187	1	398,1
39	42,4	520	524	4	69,4	79	90,4	187	191	4	69,4
40	43,3	524	533	9	25,0	80	90,8	191	195	4	69,4

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores mayores a 10 y menores a 25 mm/golpes hasta los 30 cm de profundidad y luego desde los 50 a los 90 cm aproximadamente. Esto se relaciona con suelos finos de compacidad media. Por otra parte entre los 32 a 50 cm de profundidad hay una mayor compacidad del sustrato, ya que los valores del Numero D no sobrepasan los 10 mm/golpes.

20.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse destinado a riego (también conocido como embalse Cocauquén) se ubica en la comuna de Marchigüe, provincia de Cardenal Caro, VI Región.

Se puede llegar a él tomando la ruta 90 (acceso sur a San Fernando) en dirección a la costa. Al llegar al cruce con la ruta I-170, tomarla en dirección norte hasta un nuevo cruce, esta vez con la ruta I-182. Ésta última, es la que lleva directamente al embalse Pailimo I.

Para el estudio del cauce principal aguas abajo del muro, se ha trazado un eje considerando los puntos más bajos del valle ubicado a los pies del muro, hasta que descarga al estero Pailimo. Coincidentemente, la unión de los puntos bajos del valle genera un trazado equivalente al de la canalización artificial ubicada en el centro del valle en cuestión.

Con esto, el cauce que tomarían las aguas en caso de una eventual falla del muro tiene una pendiente media del 6,8‰ y una longitud de 1,92km, medida entre su inicio y el punto de descarga al estero Pailimo.

El tipo de suelo que rodea al cauce es fundamentalmente agrícola, con la presencia de sectores habitados dispersos (densidad poblacional baja), algunos muy cerca del embalse, pero sobre la cota del cauce. De esta manera, el grupo habitado más cercano se encuentra a unos 300m, medidos de manera radial a partir del centro del muro; perpendicular al eje del cauce, las casas más cercanas se encuentran a 120m.

En referencia a la infraestructura vial en torno al cauce de aguas abajo, se aprecia la ruta I-182, toda ella por sobre la cota del lecho en estudio. Sin perjuicio de lo anterior, en términos perpendiculares al cauce, la menor distancia medida es de 115m.

Cabe destacar que si bien la ruta 90 pasa por las cercanías del cauce en análisis, el trazado de dicha ruta se encuentra a una elevación mucho mayor que el eje trazado del lecho, por lo que no se encontraría dentro de la zona de influencia o de inundación.

No se observa la presencia la ningún otro tipo de infraestructura relevante en las proximidades del embalse Pailimo I aguas abajo.

El siguiente fotograma Google Earth contextualiza la ubicación del embalse Pailimo I respecto de su entorno próximo a su cauce aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Pailimo

I

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Pailimo I:

CUADRO 20-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE PAILIMO I

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Pailimo I	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle alterado	---
	Tipo de Terreno	Suelo agrícola	---
	Pendiente Media	0,0068	m/m
	Ancho medio	5	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,12	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,115	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

20.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Pallimo I	24	6,1	508	229	279

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,872	0,947	2,210	1,541

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 20-2 siguiente.

CUADRO 20-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
15 Embalse Pailimo I	2	4,24	6,92	9,75	16,66	15,58	16,12	16,66
	5	7,29	13,90	18,13	24,92	24,42	24,67	24,92
	10	9,85	20,14	25,25	30,95	30,51	30,73	30,95
	20	12,61	27,55	33,39	39,32	36,48	37,90	39,32
	25	13,60	30,11	36,17	40,71	38,23	39,47	40,71
	50	16,85	38,73	45,20	48,74	44,36	46,55	48,74
	100	20,49	51,41	58,50	59,06	50,39	54,73	59,06
	250	23,52	57,57	65,89	66,61	58,64	62,63	66,61
	500	26,38	65,26	74,32	74,00	64,76	69,38	74,32
	1000	29,24	72,94	82,75	81,39	70,88	76,14	82,75

20.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Pailimo I fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Pailimo I	Arena limosa (maicillo) con gravas	38	0,15	1,85	14	26	35	2,5 a 3,5

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.91
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.47
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.34

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.76
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.39

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

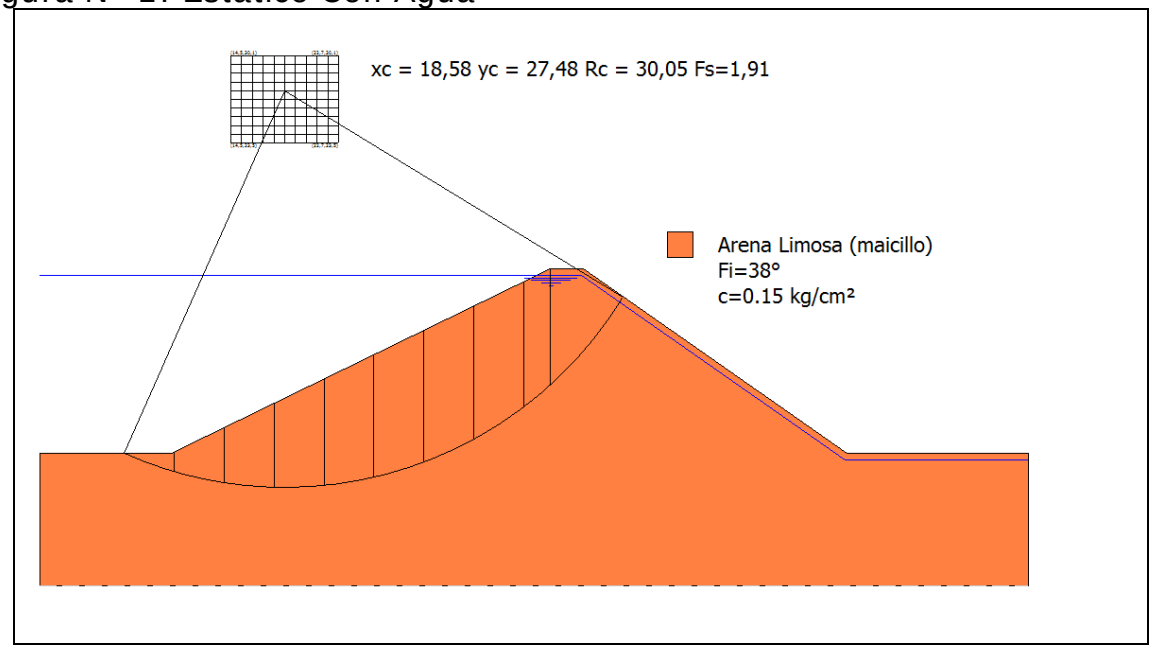


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

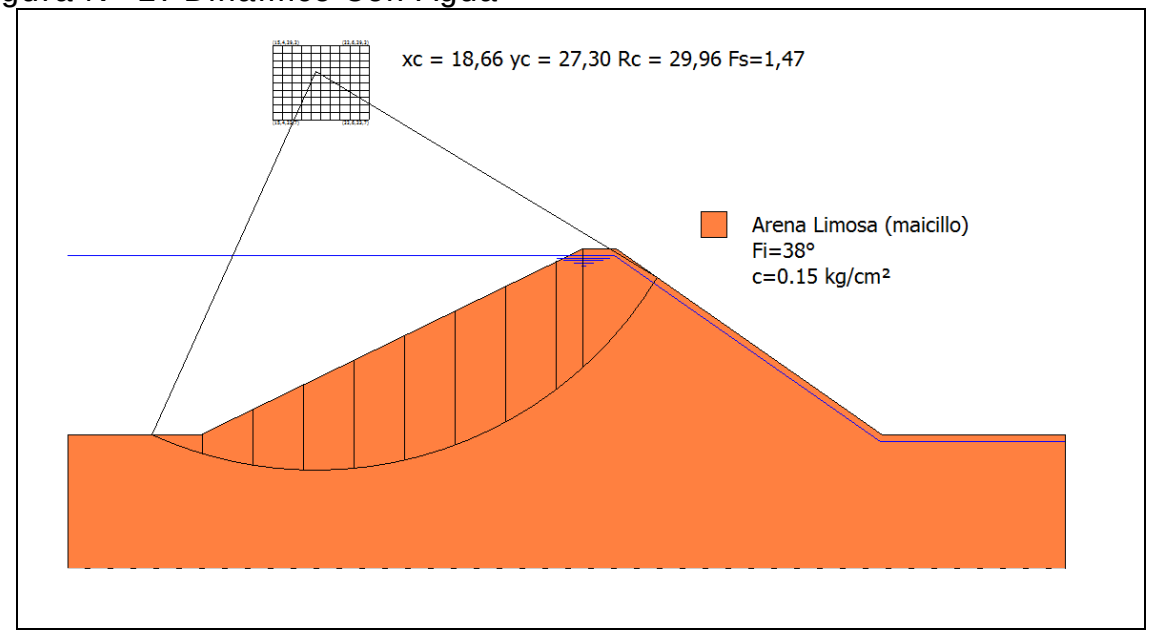
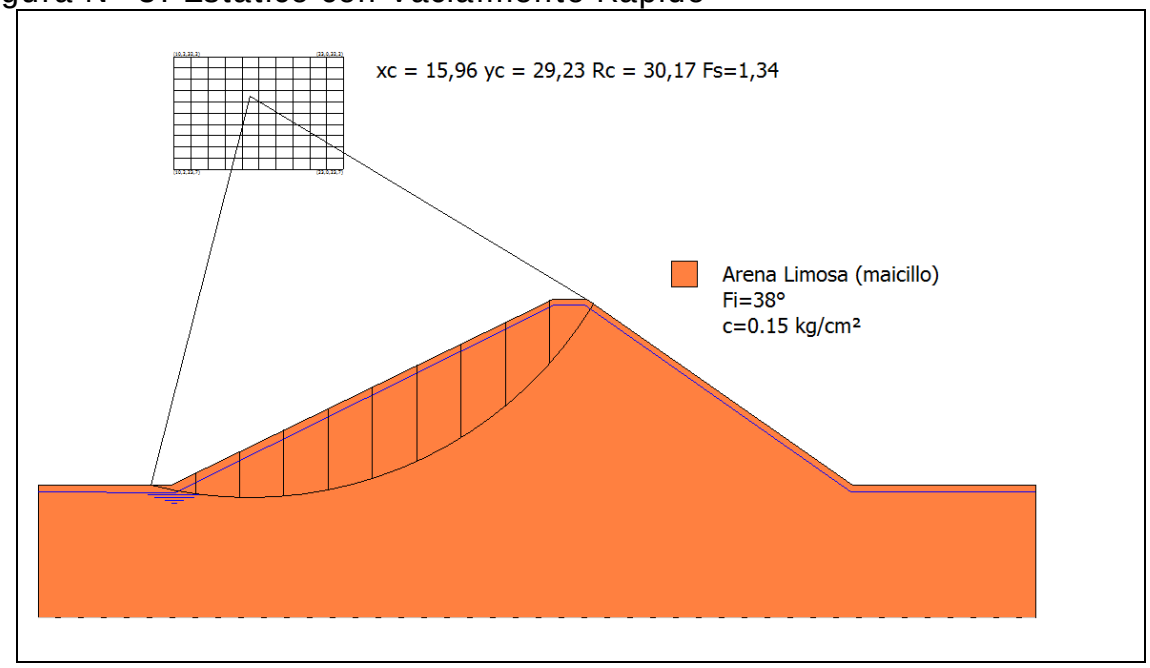


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

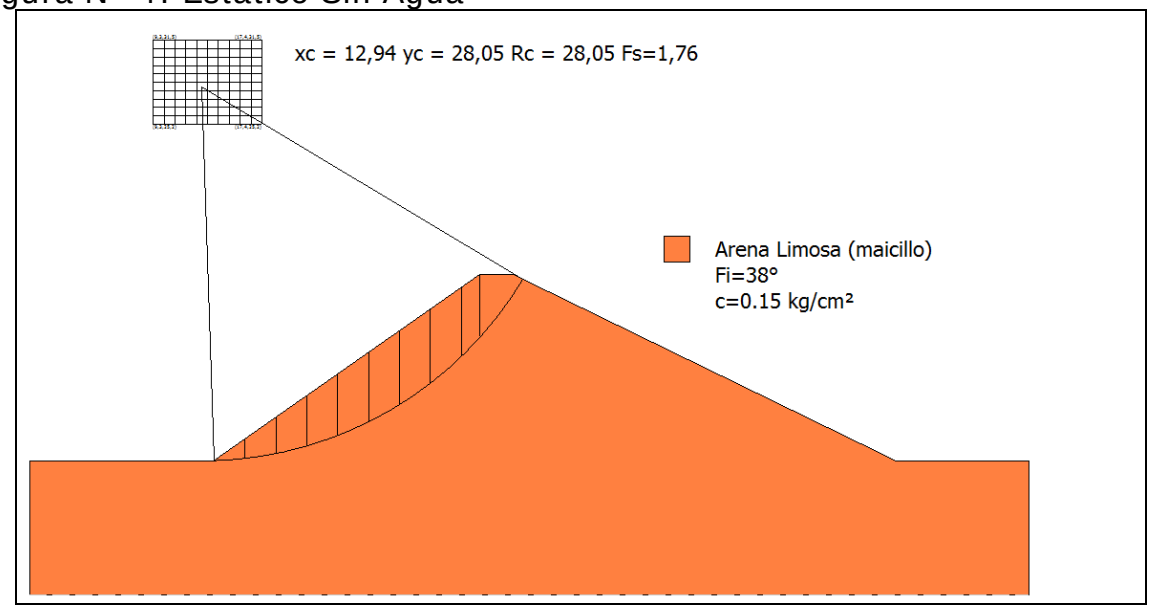
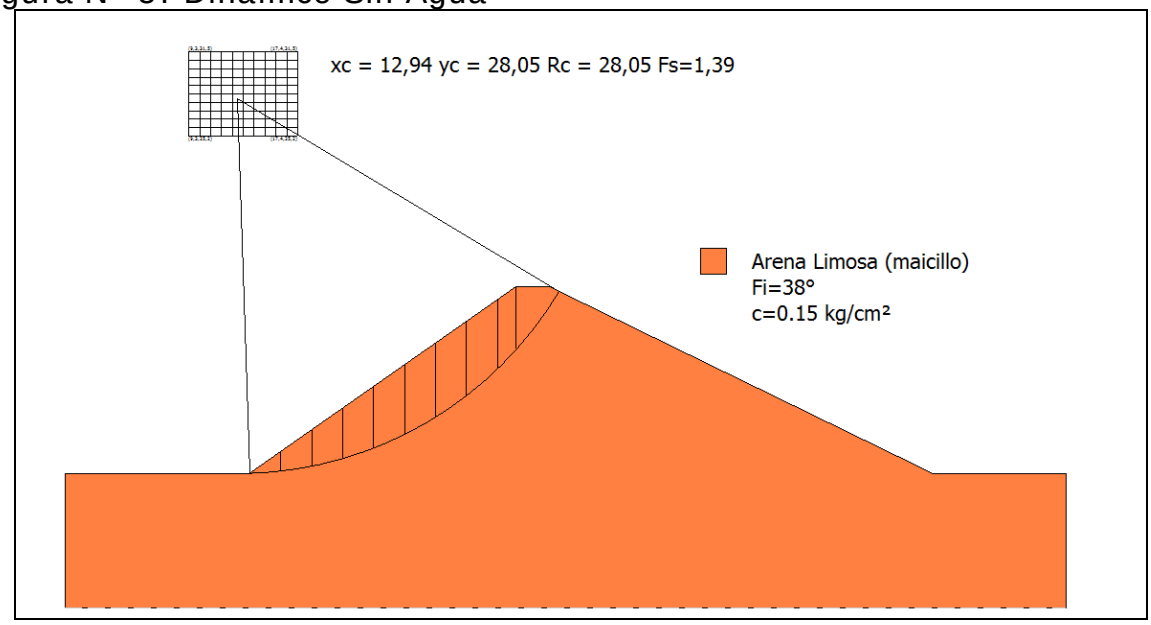


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Pailimo I sufrió daños severos debido al terremoto del año 2010. En el transcurso de la visita se pudo apreciar que aún quedan evidencia claras de los deslizamientos, hundimientos y grietas que se produjeron, observándose en algunos sectores desniveles de hasta 0.3 metros.

ii) En la parte más alta del muro (sector central) han aparecido algunas grietas nuevas, lo que es preocupante. Lo anterior implica que no se han efectuado reparaciones al muro, aún cuando el embalse se utiliza prácticamente a su máxima capacidad.

iii) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

iv) De acuerdo con los análisis de estabilidad realizados, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados, excepto el caso estático con vaciamiento rápido.

v) Se considera que la utilización normal del embalse Pailimo I presenta riesgos de falla.

vi) Se recomienda restringir la operación del tranque, de manera que la altura del agua no sobrepase la mitad de la altura máxima del muro, contada hasta el nivel del umbral del vertedero.

Lo anterior debería mantenerse hasta que se efectúen las reparaciones que indique un estudio de mejoramiento desarrollado por un ingeniero civil competente. Dicho estudio deberá ser aprobado por la DGA.

20.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 20-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Pailimo I	Arenas Limosas con Gravas	55,8	0	18,6	6	14,0	84,0	Si

20.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 20-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Pailimo I	Lateral	Hormigón, pared delgada	12	1					2	0,43		**23,00**

20.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento

V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores "p" y "V" son independientes por evento, y el valor "E" es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Pailimo I, Marchigue, VI R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,06
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor adoptado**
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 23,0 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 16,1 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	62,63	
0,002 (T= 500 años)	69,38	
0,001 (T= 1.000 años)	76,14	

Como la capacidad efectiva es de 16,1 m3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,5.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,5 (T= 2 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,5
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,5 x 0,95 x 1,0= 47,5 %

21. EMBALSE PAILIMO II

21.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Pailimo II.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Piedras Blancass o Pailimo 2 (M1)	Nº de ficha	16
Propietario	Bien común	Fecha (dd/mm/año)	9/9/2014; 11:40 hrs.
RUT Propietario	En trámite		
Año de construcción	1860	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	SI	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación	1993	Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Estero Quebrada Honda		
Subcuenca / Código DGA	Estero Pailimo		
Fuente del recurso	Estero Piedras blancas		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'Higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.202.243	E = 245.840
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	202	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	200 m
Ancho del coronamiento (m)	3 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	Muro Norte= 9 m; Muro Sur 8 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	Muro Norte 28°; Muro Sur 30 °
Ángulo talud de aguas arriba	Muro Norte 33 °; Muro Sur 30 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	4,00
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	
Área estimada o calculada de la poza (ha)	
Ancho máximo de la poza (km)	
Largo de la poza (km)	
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Coronamiento y taludes irregulares
Compacidad del material estructural	Alto
Uniformidad de los taludes	No uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se aprecian depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se aprecian indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se aprecian sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	se aprecian filtraciones (laguna)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada con enrocado de protección en el talud aguas arriba

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")
Vertederos frontales	
Vertederos laterales	
Vertederos de campana	

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:	("x")
Vertederos libres, sin control	
Vertederos controlados por compuertas	

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:	
Vertedero de pared delgada	
Vertedero de pared gruesa	
Vertedero con perfil hidráulico	

Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:	
Rectangulares	
Trapezoidales	
Triangulares	
Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Torre de hormigón controlada por compuerta que mediante una válvula de volante entrega a quebrada
Mediciones estructurales	Ancho 1,5 mts; Alto: 15,0 mts (ver monografías)
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

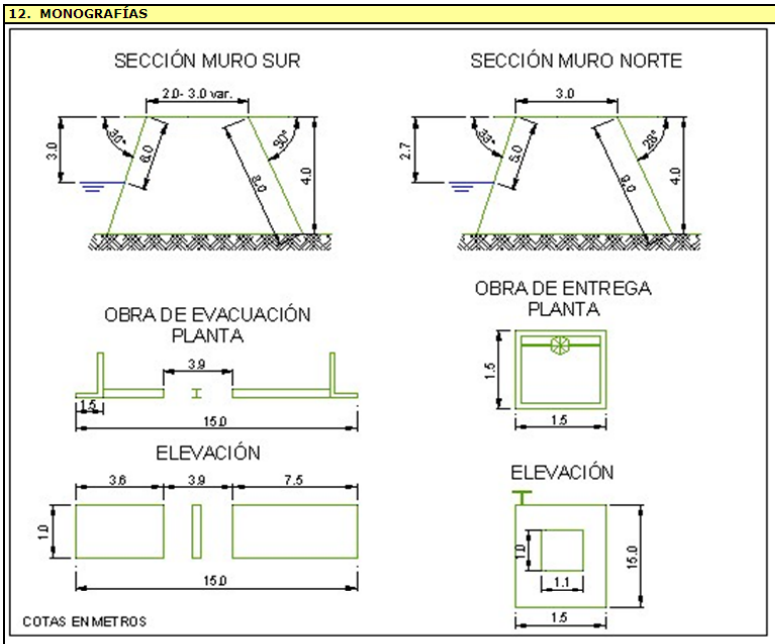
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Suelo vegetal con terrenos arados, i= 0,006, ancho medio 5 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	no hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	no hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	no hay
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,9 km
Área de riego servida por el tranque analizado	30 ha

11. OBSERVACIONES

Muro reparado después del terremoto del 2010; al parecer, se hizo una buena reparación

Regularidad de la geometría actual	Coronamiento y taludes irregulares
Compacidad del material estructural	Alto
Uniformidad de los taludes	No uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se aprecian depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se aprecian indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se aprecian sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	se aprecian filtraciones (laguna)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada con enrocado de protección en el talud aguas arriba

12. MONOGRAFÍAS



Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	no hay
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,9 km
Área de riego servida por el tranque analizado	30 ha

11. OBSERVACIONES

Muro reparado después del terremoto del 2010; al parecer, se hizo una buena reparación

Regularidad de la geometría actual	Coronamiento y taludes irregulares
Compacidad del material estructural	Alto
Uniformidad de los taludes	No uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se aprecian depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se aprecian indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se aprecian sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	se aprecian filtraciones (laguna)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada con enrocado de protección en el talud aguas arriba

EMBALSE PAILIMO 2 (16)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

OBRA DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA RIEGO

VERTEDERO

ENSAYO PENETRÓMETRO

21.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Pailimo II, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arenas limosas con gravas dispersas (tipo maicillo), de color café claro. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arenas limosas con gravas dispersas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

Los dos muros del embalse Pailimo II sufrieron graves daños debido al terremoto del año 2010. De lo observado en la visita y según lo conversado con un representante de los regantes del sector, se estableció que ambos muros fueron reparados, excavando una franja longitudinal de un ancho de unos 3.5 metros y de igual profundidad, para luego colocar material de relleno (no quedó claro si se colocó el mismo material extraído o uno nuevo) compactando en capas. En todo caso, no se encontraron signos de grietas ni fallas en ninguno de los muros.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de aguas existente (aproximadamente a un 70% del máximo) ambos muros presentaban filtraciones, las que no tienen escurrimiento, formando una pequeña poza aguas abajo del muro. Dichas filtraciones, según informó el representante de los regantes, eran previas al terremoto del 2010 y dado que no involucran escurrimiento no implican riesgo

Las mediciones efectuadas en los muros son las siguientes.

Muro norte: longitud total del muro 220 m; ancho de coronamiento 3 m; inclinación talud aguas arriba 33°; Altura hasta el nivel de agua 3 m; inclinación talud aguas abajo 28°; altura máxima talud aguas abajo 4 m.

Muro Este: longitud total del muro 180 m; ancho de coronamiento variable entre 2 y 3 m; inclinación talud aguas arriba 30°; Altura hasta el nivel de agua 3 m; inclinación talud aguas abajo 30°; altura máxima talud aguas abajo 4 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

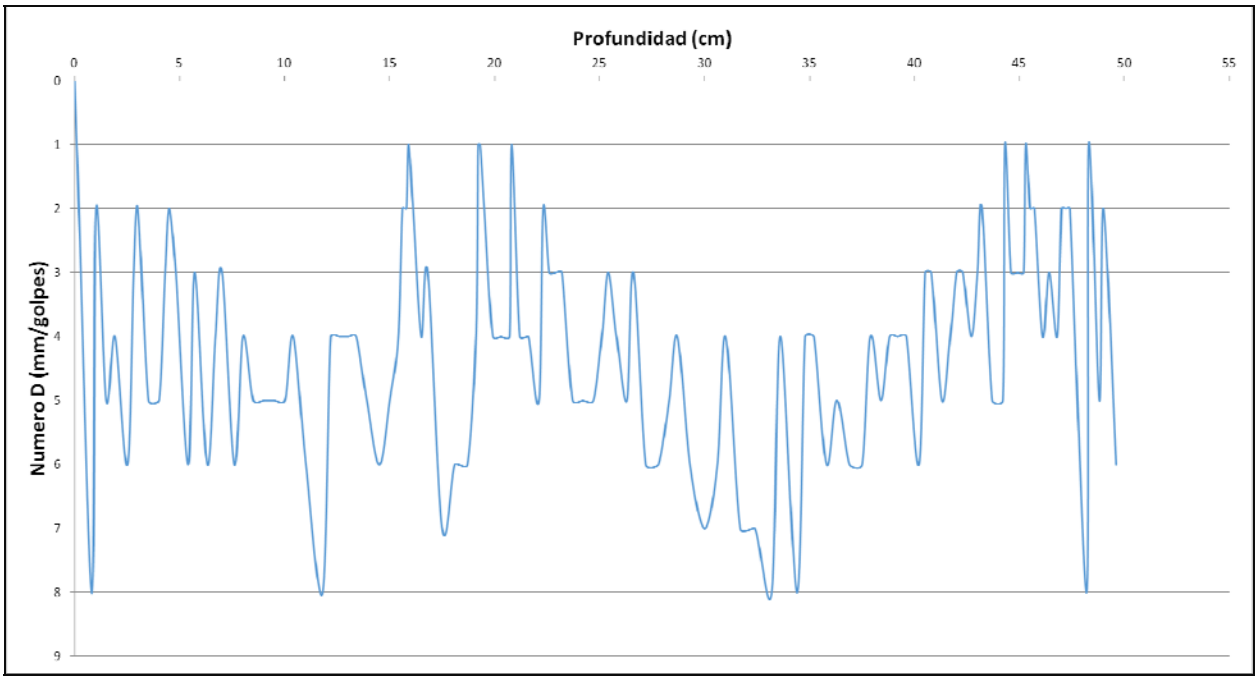
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Paillimo II

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	0.8	100	108	8	29.0	41	17.5	265	272	7	34.3	81	35.2	445	449	4	69.4
2	1.0	108	110	2	166.2	42	18.1	272	278	6	41.6	82	35.8	449	455	6	41.6
3	1.5	110	115	5	52.4	43	18.7	278	284	6	41.6	83	36.3	455	460	5	52.4
4	1.9	115	119	4	69.4	44	19.1	284	288	4	69.4	84	36.9	460	466	6	41.6
5	2.5	119	125	6	41.6	45	19.2	288	289	1	398.1	85	37.5	466	472	6	41.6
6	2.8	125	128	3	99.7	46	19.3	289	290	1	398.1	86	37.9	472	476	4	69.4
7	3.0	128	130	2	166.2	47	19.5	290	292	2	166.2	87	38.4	476	481	5	52.4
8	3.5	130	135	5	52.4	48	19.9	292	296	4	69.4	88	38.8	481	485	4	69.4
9	4.0	135	140	5	52.4	49	20.3	296	300	4	69.4	89	39.2	485	489	4	69.4
10	4.3	140	143	3	99.7	50	20.7	300	304	4	69.4	90	39.6	489	493	4	69.4
11	4.5	143	145	2	166.2	51	20.8	304	305	1	398.1	91	40.2	493	499	6	41.6
12	4.8	145	148	3	99.7	52	21.2	305	309	4	69.4	92	40.5	499	502	3	99.7
13	5.4	148	154	6	41.6	53	21.6	309	313	4	69.4	93	40.8	502	505	3	99.7
14	5.7	154	157	3	99.7	54	22.1	313	318	5	52.4	94	41.3	505	510	5	52.4
15	6.3	157	163	6	41.6	55	22.3	318	320	2	166.2	95	41.7	510	514	4	69.4
16	6.7	163	167	4	69.4	56	22.6	320	323	3	99.7	96	42.0	514	517	3	99.7
17	7.0	167	170	3	99.7	57	22.9	323	326	3	99.7	97	42.3	517	520	3	99.7
18	7.6	170	176	6	41.6	58	23.2	326	329	3	99.7	98	42.7	520	524	4	69.4
19	8.0	176	180	4	69.4	59	23.7	329	334	5	52.4	99	43.0	524	527	3	99.7
20	8.5	180	185	5	52.4	60	24.2	334	339	5	52.4	100	43.2	527	529	2	166.2
21	9.0	185	190	5	52.4	61	24.7	339	344	5	52.4	101	43.7	529	534	5	52.4
22	9.5	190	195	5	52.4	62	25.1	344	348	4	69.4	102	44.2	534	539	5	52.4
23	10.0	195	200	5	52.4	63	25.4	348	351	3	99.7	103	44.3	539	540	1	398.1
24	10.4	200	204	4	69.4	64	25.8	351	355	4	69.4	104	44.6	540	543	3	99.7
25	11.0	204	210	6	41.6	65	26.3	355	360	5	52.4	105	44.9	543	546	3	99.7
26	11.8	210	218	8	29.0	66	26.6	360	363	3	99.7	106	45.2	546	549	3	99.7
27	12.2	218	222	4	69.4	67	27.2	363	369	6	41.6	107	45.3	549	550	1	398.1
28	12.6	222	226	4	69.4	68	27.8	369	375	6	41.6	108	45.5	550	552	2	166.2
29	13.0	226	230	4	69.4	69	28.3	375	380	5	52.4	109	45.7	552	554	2	166.2
30	13.4	230	234	4	69.4	70	28.7	380	384	4	69.4	110	46.1	554	558	4	69.4
31	13.9	234	239	5	52.4	71	29.3	384	390	6	41.6	111	46.4	558	561	3	99.7
32	14.5	239	245	6	41.6	72	30.0	390	397	7	34.3	112	46.8	561	565	4	69.4
33	15.0	245	250	5	52.4	73	30.6	397	403	6	41.6	113	47.0	565	567	2	166.2
34	15.4	250	254	4	69.4	74	31.0	403	407	4	69.4	114	47.2	567	569	2	166.2
35	15.6	254	256	2	166.2	75	31.7	407	414	7	34.3	115	47.4	569	571	2	166.2
36	15.8	256	258	2	166.2	76	32.4	414	421	7	34.3	116	48.2	571	579	8	29.0
37	15.9	258	259	1	398.1	77	33.2	421	429	8	29.0	117	48.3	579	580	1	398.1
38	16.1	259	261	2	166.2	78	33.6	429	433	4	69.4	118	48.8	580	585	5	52.4
39	16.5	261	265	4	69.4	79	34.4	433	441	8	29.0	119	49.0	585	587	2	166.2
40	16.8	265	268	3	99.7	80	34.8	441	445	4	69.4	120	49.6	587	593	6	41.6

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores en general entre 2 y 6 mm/golpe, lo que se relaciona con un suelo de compacidad media-alta. Por otro lado, si bien hay valores del Numero D que son mayores a 6 mm/golpe, esta situación es puntual y acotada.

21.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Embalse de riego también conocido como Piedras Blancas, ubicado en el límite de las comunas de Marchigüe y La Estrella, provincia de Cardenal Caro, VI Región.

Se puede llegar a él tomando la ruta 90 (acceso sur a San Fernando) en dirección a la costa. Al llegar al cruce con la ruta I-170, tomarla en dirección norte hasta un nuevo cruce, esta vez con la ruta I-172. Ésta última, es la que lleva directamente al embalse Pailimo II.

Dado que se trata de un embalse con dos muros (uno principal y otro secundario), el análisis se realizará por separado. El siguiente fotograma Google Earth ilustra la situación de ambos muros:

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Pailimo II

Análisis de Cauce Aguas Abajo Muro Principal

Para el estudio del cauce aguas abajo del muro principal, se ha trazado un eje considerando los puntos más bajos del valle ubicado a los pies del muro, hasta que se intercepta el primer camino rural (sin rol). Contrariamente a lo que pudiera esperarse, el trazado no coincidió con la canalización existente, sin embargo para fines de estimación de pendiente y longitud este hecho no resulta del todo relevante.

De este modo, el cauce aguas abajo corresponde a un valle de cultivos con una canalización artificial de 2 m de ancho; la pendiente media del valle se estima del 9,5 ‰ y tiene una longitud de 0,734 m medidos entre el pie del muro y su intersección con el camino rural señalado en el párrafo anterior.

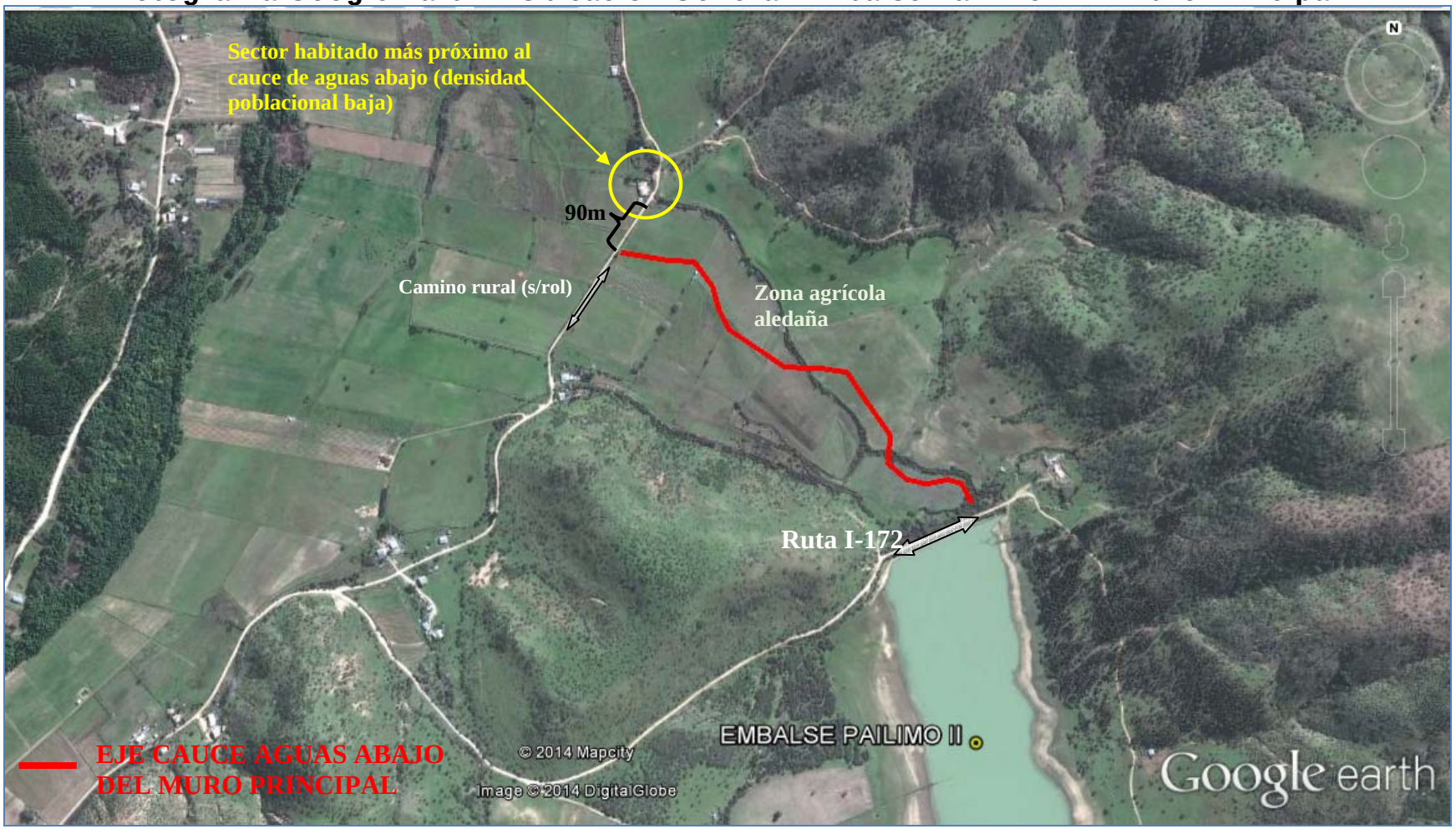
En cuanto a zonas pobladas potencialmente en riesgo por falla del embalse, el asentamiento existente más cercano corresponde a una casa

(baja densidad poblacional) al borde del camino no enrolado, a una distancia perpendicular del cauce de 90m.

Ante una eventual falla de la presa, la ruta I-172 se vería directamente afectada quedando interrumpida ya que pasa por el coronamiento del muro.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra el contexto del embalse respecto de su entorno.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Pailimo II - Muro Principal



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Pailimo II, muro principal:

CUADRO 21-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE PAILIMO II / MURO PRINCIPAL

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Pailimo II – Muro Principal	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle alterado	---
	Tipo de Terreno	Suelo agrícola y canalización	---
	Pendiente Media	0,0095	m/m
	Ancho medio	2	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,734	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,09	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	No hay	---
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

Análisis de Cauce Aguas Abajo Muro Secundario

Análogamente al caso anterior, para el estudio del cauce aguas abajo del muro secundario, se ha trazado un eje considerando los puntos más bajos del terreno ubicado a los pies de dicho muro, hasta que se cruza con la ruta I-80-G.

Desde el punto de vista del cauce propiamente tal, éste corresponde a un valle con un cauce central de riberas semi-boscosas y con algunos terrenos arados. El valle se desarrolla con una pendiente media del 6,25‰ a lo largo de 1,92km hasta que se cruza con la ruta señalada en el párrafo anterior.

No se aprecian zonas pobladas dentro de la eventual superficie de inundación; sólo se aprecia una pequeña casa en las cercanías del eje trazado, presumiblemente deshabitada, por lo que la densidad poblacional aguas abajo del embalse es baja tendiendo a nula.

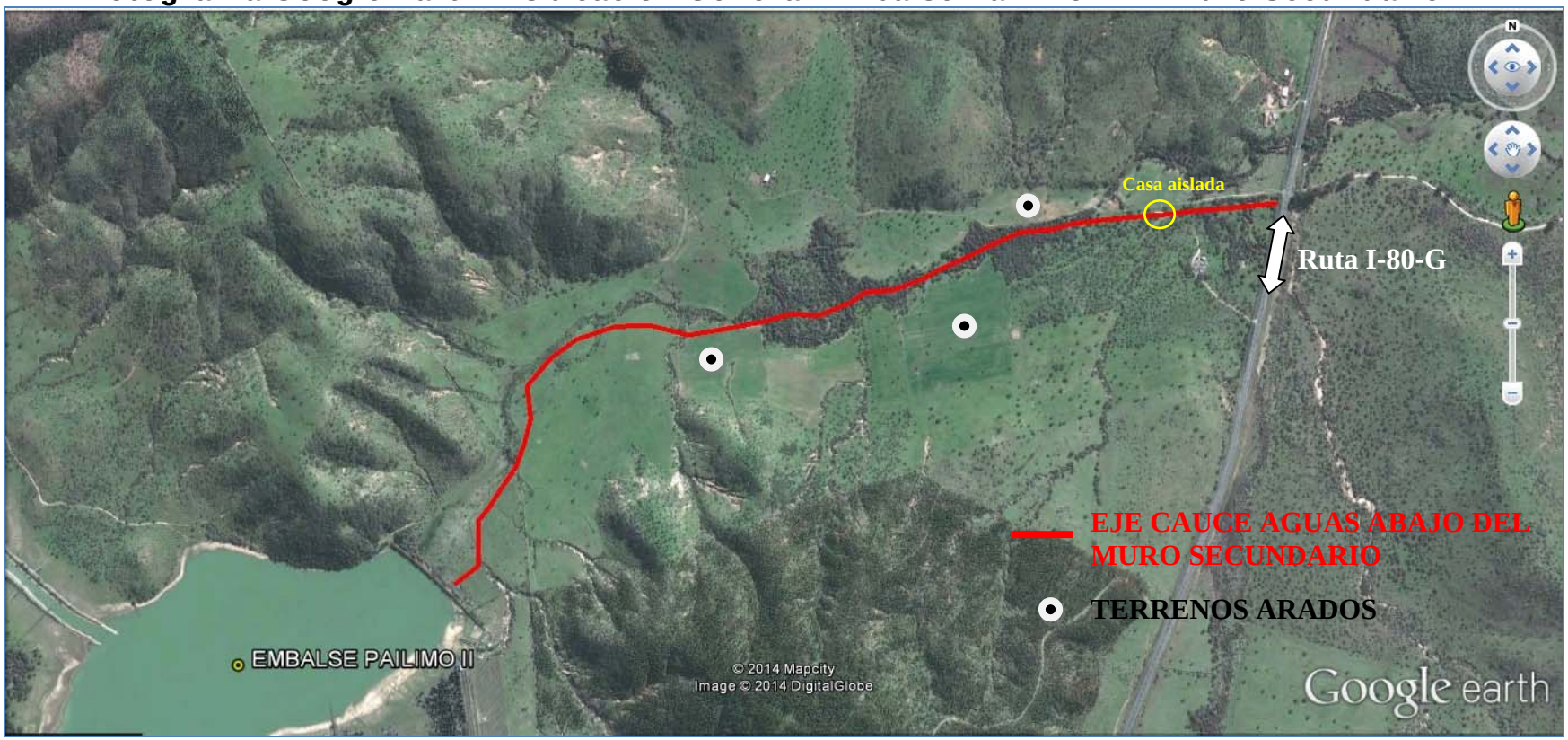
Por su parte, las zonas potencialmente de cultivo se aprecian sólo como terrenos arados.

En cuanto a la infraestructura vial, la ruta I-80-G podría eventualmente verse en riesgo ante una falla masiva del muro secundario.

No se aprecian estructuras o servicios de otro tipo aledaños a la zona.

El siguiente fotograma Google Earth indica la situación del muro secundario.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Pailimo II - Muro Secundario



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Pailimo II, muro secundario:

CUADRO 21-2
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE PAILIMO II / MURO SECUNDARIO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Pailimo II - Muro Secundario	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle alterado	---
	Tipo de Terreno	Suelo vegetal con algunos terrenos arados	---
	Pendiente Media	0,00625	m/m
	Ancho medio	5	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	1,92	km
	Zonas Agrícolas	No hay	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja - Nula	---

21.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Pallimo II	7,782	5,668	456	216	240

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,854	0,956	2,164	1,509

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 21-3 siguiente.

CUADRO 21-3
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
16 Embalse Pailimo II	2	1,51	2,57	3,19	5,45	-	5,45	5,45
	5	2,61	5,16	5,93	8,15	-	8,15	8,15
	10	3,52	7,49	8,26	10,13	-	10,13	10,13
	20	4,51	10,24	10,93	12,87	-	12,87	12,87
	25	4,86	11,19	11,84	13,32	-	13,32	13,32
	50	6,02	14,39	14,79	15,95	-	15,95	15,95
	100	7,32	19,11	19,14	19,33	-	19,33	19,33
	250	8,40	21,40	21,56	21,80	-	21,80	21,80
	500	9,43	24,25	24,32	24,22	-	24,22	24,32
	1000	10,45	27,11	27,08	26,63	-	26,63	27,11

21.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Pailimo II fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Pailimo II	Arena limosa (maicillo) con gravas	38	0,10	1,85	4	33	30	3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.14
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.64
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	2.13

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	3.15
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.42

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

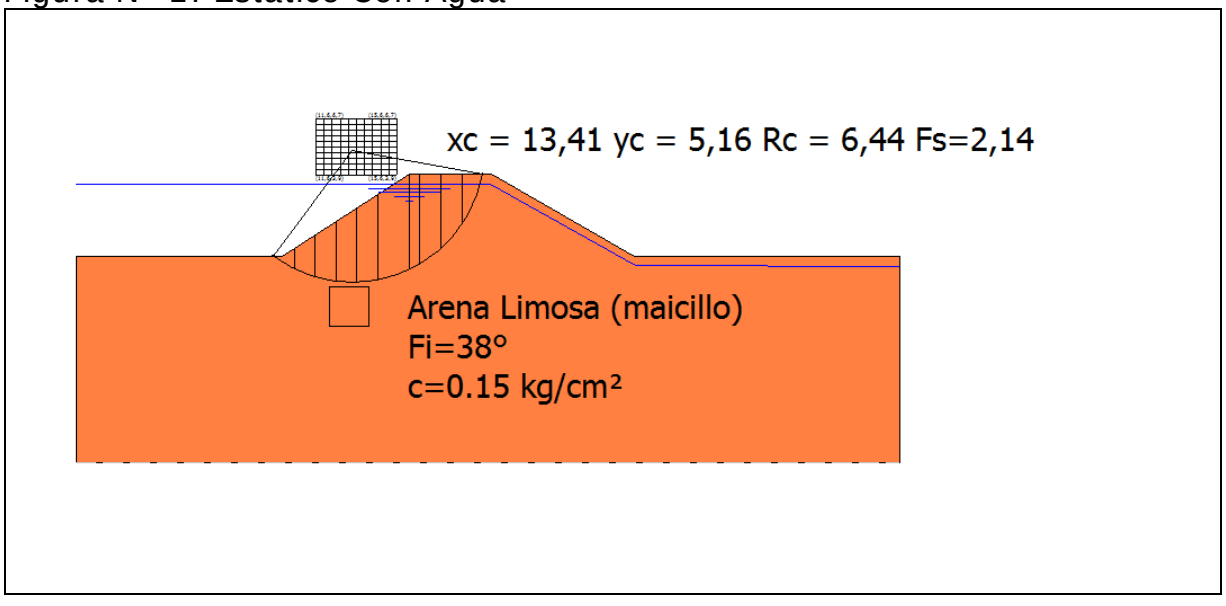


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

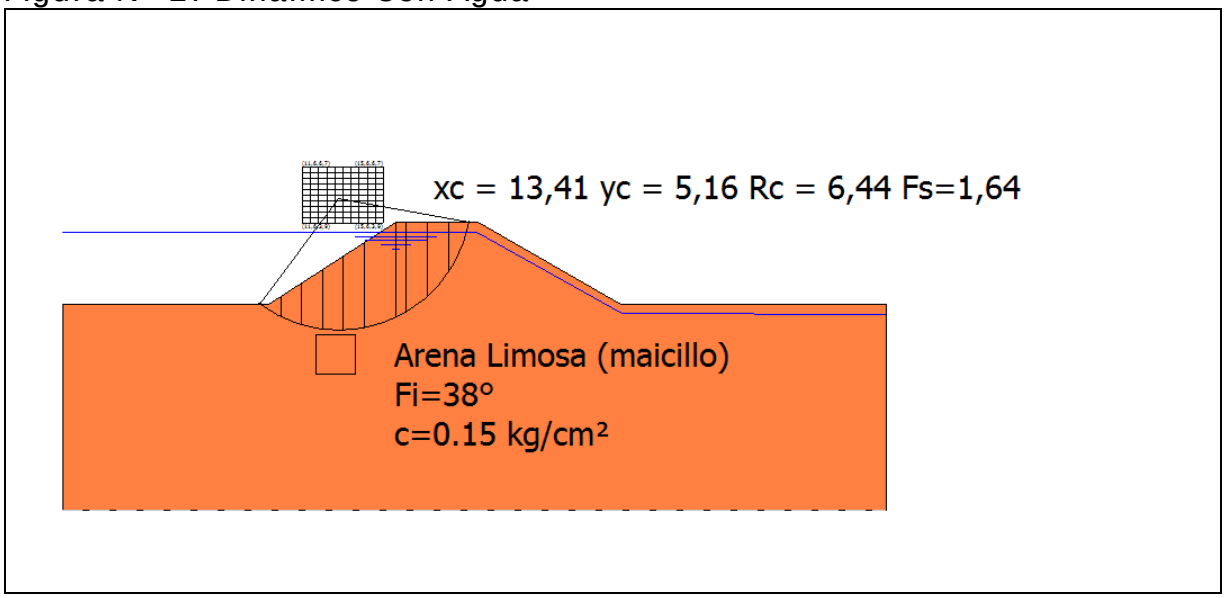
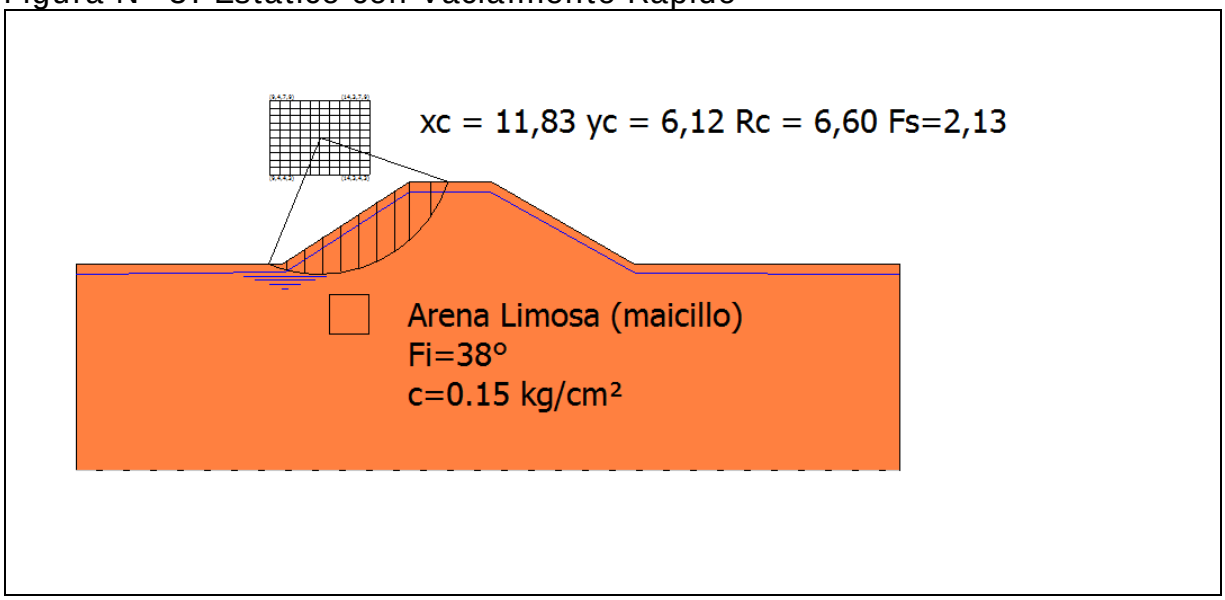


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

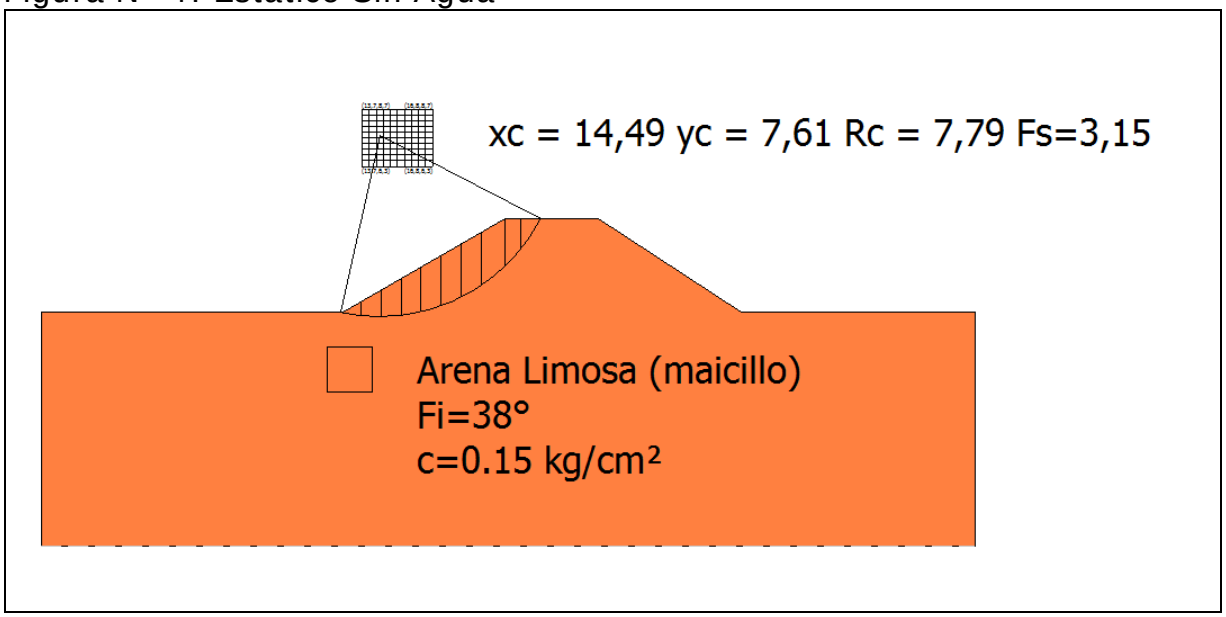
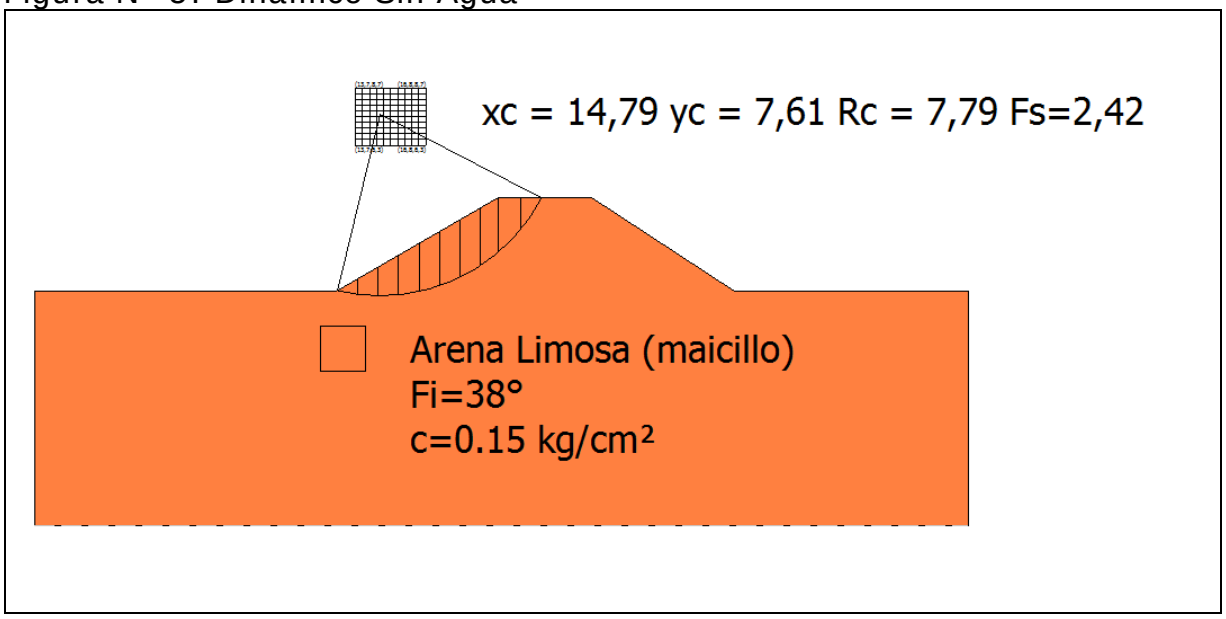


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Pailimo II está compuesto por dos muros. Ambos sufrieron graves daños debido al terremoto del año 2010.

ii) De lo observado en la visita y según lo conversado con un representante de los regantes del sector, se estableció que ambos muros fueron reparados, excavando una franja longitudinal de un ancho de unos 3.5 metros y de igual profundidad, para luego colocar material de relleno (no quedó claro si se colocó el mismo material extraído o uno nuevo) compactando en capas. En todo caso, no se encontraron signos de grietas no fallas en ninguno de los muros.

iii) Para el nivel de aguas existente (aproximadamente a un 70% del máximo) ambos muros presentaban filtraciones, las que no tienen escurrimiento, formando una pequeña poza aguas abajo del muro. Dichas filtraciones, según informó el representante de los regantes, eran previas al terremoto del 2010 y dado que no involucran escurrimiento no implican riesgo

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados.

vi) Aún cuando el embalse Pailimo II se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de umbral de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de

reparación, firmado por un ingeniero civil competente y este sea aprobado por la DGA.

21.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 21-4
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Pailimo II	Arenas Limosas con Gravas	16,8	0	5,6	6	4,0	24,0	Si

21.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 21-5
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Pailimo II	Lateral	Hormigón, pared gruesa	15	1	2							**47,12**

21.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores "p" y "V" son independientes por evento, y el valor "E" es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Pailimo II, Marchigue, VI R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 47,12 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 33,0 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	21,80	
0,002 (T= 500 años)	24,22	0,05
0,001 (T= 1.000 años)	26,63	

Nota: Embalse Tipo B (T= 500 años)

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,002 (T= 500 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,05
Potencialidad de Falla= 1

Riesgo Total= 0,03 x 0,05 x 1,0= 0,15 %

22. EMBALSE PATAGUA CERRO GUAIRABO

22.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Patagua Cerro Guairabo.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Patagua Cerro Guirabo (muro1)	Nº de ficha	17
Propietario	Comunidad de Parceleros Canal de Patagua	Fecha (dd/mm/año)	10/9/2014; 13:45 hrs.
RUT Propietario			
Año de construcción	1970	Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	Si	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación	1998	Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Tinguiririca		
Subcuenca / Código DGA	Estero Las Cadenas		
Fuente del recurso	Estero las Toscas		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Colchagua	
Comuna	Santa Cruz	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 6.157.440	E= 283.281
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud	150 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento (m)	Muro Norte L= 250 m; Muro Oeste L= 420 m
Ancho del coronamiento (m)	2 a 3 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	5,0
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	21 °
Ángulo talud de aguas arriba	28 °

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Irregular
Compacidad del material estructural	Muy baja
Uniformidad de los taludes	No uniforme
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Sí, varias de más de 0,5 m
Grietas visibles y su ubicación	Sí, en muro Norte en coronamiento, 0,3 m espesor, L= 40 m
Indicios de deslizamientos y ubicación	Sí, en muro Norte en ambos taludes
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	Sí, en todos los muros
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	si, mucha
Tipo de revestimiento del muro	En muro Norte un sector con hormigón aguas arriba, deteriorado

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS			
Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
"x" indica localización y estructura del vertedero			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada	X	Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	X
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

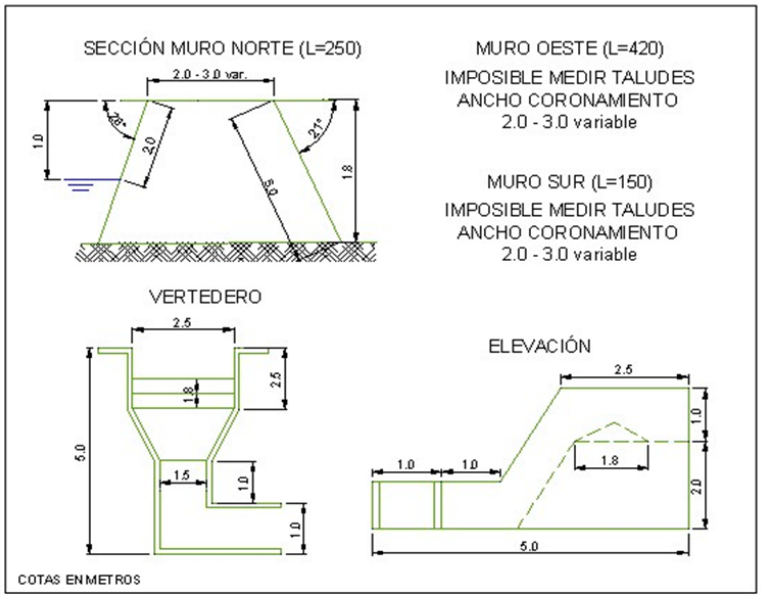
Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero de hormigón armado, de tipo libre sin control
Material constructivo	Hormigón armado
Estado de conservación y operatividad	En buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Ancho 4,5 m; Largo:5,0 m; Alto 2,0 m; Espesor muro 16 cm

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO	
Tipo de estructura	La obra de entrega no se ve, ya que se encuentra en el piso del embalse, la salida es mediante una base de hormigón que capta agua del tranque y la conduce mediante casa de bombas a tubería que llega a un canal en altura el que entrega directamente a los predios
Mediciones estructurales	Tuberías de 30 cms de diámetro
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO AGUAS ABAJO	
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Canal en tierra de 1,5 mts de ancho por 1,0 mts de alto, terrenos agrícolas, pendiente media 0,005, ancho medio 1,5 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	a los pies del muro
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	aledaños
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media-Alta
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Adyacente
Área de riego servida por el tranque analizado	25 ha

1|. OBSERVACIONES	
Muro colapsado, en muy malas condiciones	
Depresiones en el coronamiento, muchas grietas, filtraciones al pie	
Tipo de revestimiento del muro	En muro Norte un sector con hormigón aguas arriba, deteriorado

12. MONOGRAFÍAS



Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Adyacente
Área de riego servida por el tranque analizado	25 ha

1|. OBSERVACIONES

Muro colapsado, en muy malas condiciones
Depresiones en el coronamiento, muchas grietas, filtraciones al pie

Tipo de revestimiento del muro	En muro Norte un sector con hormigón aguas arriba, deteriorado

EMBALSE PATAGUA CERRO GUIRABO (17)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO MURO NORTE

CORONAMIENTO MURO OESTE

OBRA DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA RIEGO Y VERTEDERO

FILTRACIONES

FILTRACIONES

22.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Patagua Cerro Guairabo, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arenas limosas con gravas dispersas, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arenas limosas con gravas dispersas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a baja, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es media.

De los tres muros que forman el embalse Patagua Cerro Guairabo (Norte, Sur y Oeste), los muros Norte y Oeste sufrieron daños muy graves (colapso) debido al terremoto del año 2010. De lo observado en la visita y según lo conversado con un representante de los regantes del sector, se estableció que no se ha efectuado ninguna reparación a los muros del embalse. Lo anterior se ve reflejado en que las grietas y deslizamientos aún están visibles. No obstante lo anterior el embalse se ha llenado hasta

prácticamente el coronamiento de los muros, situación que es muy riesgosa.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de aguas existente (embalse lleno) los tres muros presentaban graves filtraciones.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total de los muro 820 m; ancho de coronamiento variable entre 2 y 3 m; inclinación talud aguas arriba 28°; altura hasta el nivel de agua 1 m; inclinación talud aguas abajo 21°; altura máxima talud aguas abajo 2 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

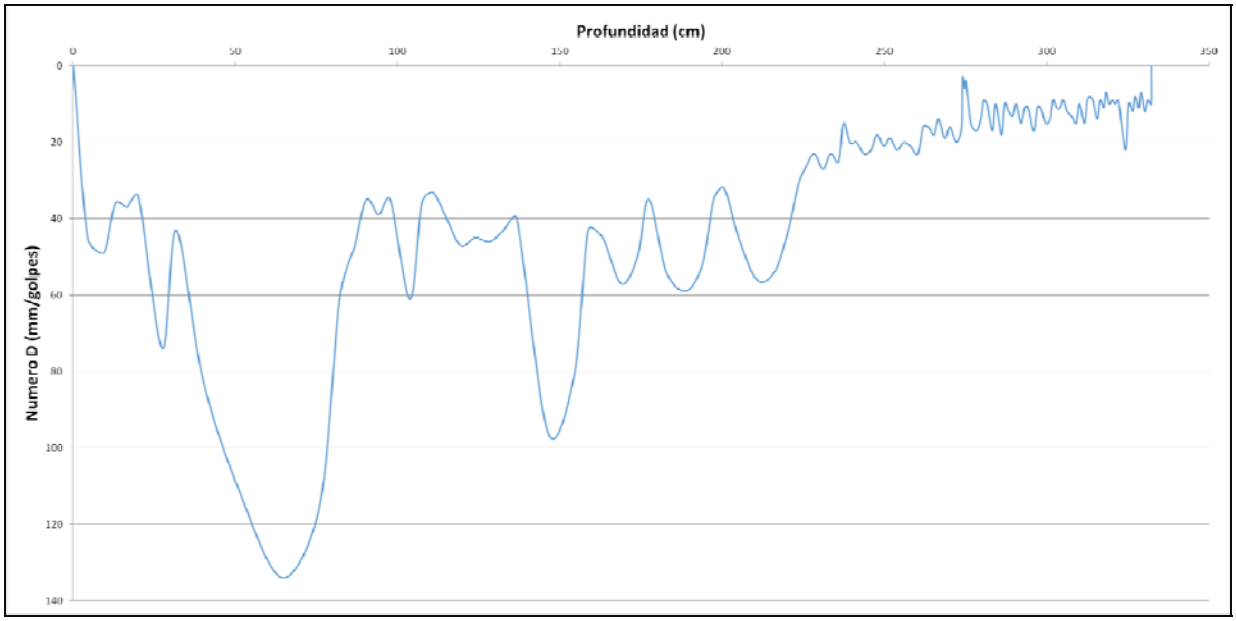
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Cerro Guairabo

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	4.5	145	190	45	3.3	41	220.4	422	465	43	3.5	81	289.6	142	155	13	15.7
2	9.4	190	239	49	3.0	42	223.5	465	496	31	5.3	82	290.6	155	165	10	21.9
3	13.0	239	275	36	4.4	43	226.1	496	522	26	6.6	83	292.1	165	180	15	13.1
4	16.7	275	312	37	4.2	44	228.4	522	545	23	7.7	84	293.2	180	191	11	19.4
5	20.1	312	346	34	4.7	45	231.1	545	572	27	6.3	85	294.3	191	202	11	19.4
6	27.5	346	420	74	1.8	46	233.4	572	595	23	7.7	86	296.0	202	219	17	11.2
7	31.8	420	463	43	3.5	47	235.9	595	620	25	6.9	87	297.1	219	230	11	19.4
8	40.0	463	545	82	1.5	48	237.4	620	635	15	13.1	88	298.2	230	241	11	19.4
9	51.1	545	656	111	1.1	49	239.4	635	655	20	9.1	89	299.7	241	256	15	13.1
10	64.5	656	790	134	0.8	50	241.4	655	675	20	9.1	90	301.1	256	270	14	14.3
11	76.0	790	905	115	1.0	51	243.7	675	698	23	7.7	91	302.0	270	279	9	25.0
12	82.1	32	93	61	2.2	52	245.9	698	720	22	8.1	92	303.1	279	290	11	19.4
13	86.8	93	140	47	3.1	53	247.7	720	738	18	10.4	93	304.2	290	301	11	19.4
14	90.3	140	175	35	4.5	54	249.8	738	759	21	8.6	94	305.1	301	310	9	25.0
15	94.2	175	214	39	3.9	55	251.7	759	778	19	9.7	95	306.3	310	322	12	17.4
16	97.7	214	249	35	4.5	56	253.9	778	800	22	8.1	96	307.6	322	335	13	15.7
17	103.8	249	310	61	2.2	57	255.9	800	820	20	9.1	97	309.1	335	350	15	13.1
18	107.4	310	346	36	4.4	58	258.0	820	841	21	8.6	98	310.1	350	360	10	21.9
19	110.7	346	379	33	4.9	59	260.3	841	864	23	7.7	99	311.6	360	375	15	13.1
20	114.6	379	418	39	3.9	60	261.9	864	880	16	12.1	100	312.5	375	384	9	25.0
21	119.3	418	465	47	3.1	61	263.5	62	78	16	12.1	101	313.3	384	392	8	29.0
22	123.8	465	510	45	3.3	62	265.3	94	112	18	10.4	102	314.2	392	401	9	25.0
23	128.4	510	556	46	3.2	63	266.7	112	126	14	14.3	103	315.6	401	415	14	14.3
24	132.7	556	599	43	3.5	64	268.6	126	145	19	9.7	104	316.5	415	424	9	25.0
25	136.7	599	639	40	3.8	65	270.2	145	161	16	12.1	105	317.6	424	435	11	19.4
26	146.3	639	735	96	1.3	66	272.2	161	181	20	9.1	106	318.3	435	442	7	34.3
27	154.4	735	816	81	1.6	67	273.8	181	197	16	12.1	107	319.3	442	452	10	21.9
28	158.7	5	48	43	3.5	68	274.1	197	200	3	99.7	108	320.2	452	461	9	25.0
29	163.2	48	93	45	3.3	69	274.7	0	6	6	41.6	109	321.2	461	471	10	21.9
30	168.9	93	150	57	2.4	70	275.1	6	10	4	69.4	110	322.1	471	480	9	25.0
31	173.9	150	200	50	2.9	71	276.6	10	25	15	13.1	111	324.3	480	502	22	8.1
32	177.4	0	35	35	4.5	72	278.3	25	42	17	11.2	112	325.3	502	512	10	21.9
33	182.8	35	89	54	2.6	73	279.7	42	56	14	14.3	113	326.5	512	524	12	17.4
34	188.7	89	148	59	2.3	74	280.6	56	65	9	0.0	114	327.3	524	532	8	29.0
35	193.9	148	200	52	2.7	75	281.6	65	75	10	21.9	115	328.4	532	543	11	19.4
36	197.4	200	235	35	4.5	76	283.3	75	92	17	11.2	116	329.1	543	550	7	34.3
37	200.6	235	267	32	5.1	77	284.3	92	102	10	21.9	117	330.3	550	562	12	17.4
38	205.1	267	312	45	3.3	78	286.1	102	120	18	10.4	118	331.2	562	571	9	25.0
39	210.7	312	368	56	2.5	79	287.1	120	130	10	21.9	119	332.2	571	581	10	21.9
40	216.1	368	422	54	2.6	80	288.3	130	142	12	17.4	120	332.2	581	0	0	0.0

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta hasta los 2.20 m de profundidad valores sobre 40 mm/golpes, salvo algunas excepciones. Estos valores se relacionan con un suelo de compacidad baja.

22.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse de riego se encuentra en la comuna de Santa Cruz, provincia de Colchagua, VI Región, y se llega a él, partiendo desde Santa Cruz hacia el sur a través de la ruta I-86. En el cruce con la ruta I-742, se debe tomar ésta hasta llegar a un nuevo cruce, esta vez con la ruta I-746, la que se debe tomar en dirección sur, la que luego de 3km permite llegar al embalse.

Esta estructura posee tres muros, a saber:

- Muro central
- Muro norte
- Muro sur

La siguiente figura muestra la configuración en planta del embalse, a través de fotograma Google Earth:

Fotograma Google Earth – Configuración de Ejes Muros Central, Norte y Sur Embalse Patagua Cerro Guairabo

Tal como podrá observarse más adelante, el embalse se encuentra rodeado por terreno plano de baja pendiente, excepto en su costado norte, el cual colinda con el cerro Guairabo.

Dado lo anterior, el trazado de un eje resulta difuso, por lo que es preferible estimar un área de inundación en lugar de un cauce. Esta será la línea de análisis para el embalse en cuestión.

- Área de inundación aledaña al muro norte: no existe tal, ya que la pendiente de terreno es superior que la cota del embalse.

En el peor de los casos, ante un hipotético vaciado rápido por la falla de uno o dos de los demás muros, podría producirse una inestabilidad en los taludes del muro norte; esto no afectaría a viviendas o infraestructura importante, ya que se encuentran a más de 80 m del borde.

- Área de inundación aledaña al muro central: considerando que los antecedentes señalan que la mayoría de los daños se concentran en

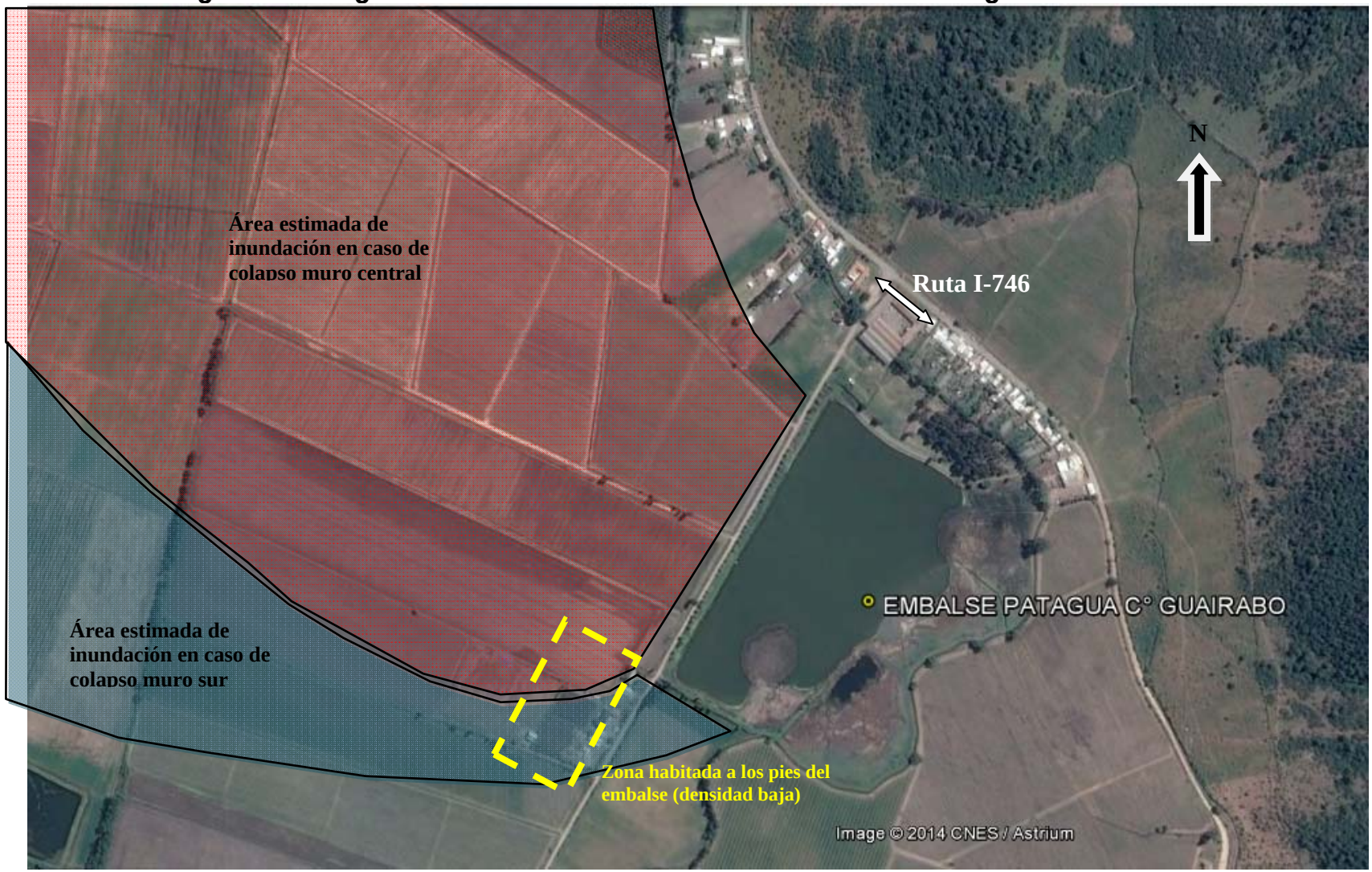
el muro central, la superficie de inundación aledaña a aquél, ante el eventual colapso de dicho muro, corresponde a zonas de cultivo con pendiente del 3,55 ‰ en el sentido del escurrimiento.

- Área de inundación aledaña al muro sur: en este caso, la superficie, además de corresponder mayoritariamente a cultivos, presenta zona habitada prácticamente a los pies del vértice formado por los ejes central y sur, zona de baja densidad poblacional.

El único camino que se vería afectado en caso de falla del embalse sería el que se encuentra sobre el coronamiento del muro central, camino que corresponde a uno de tipo rural privado. No se observa ningún otro tipo de infraestructura importante relacionada con el área de inundación (la ruta I-746 se encuentra a 160 m perpendicular al eje del muro norte, pero, dado que se encuentra a una cota superior, se considera libre de riesgo).

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse respecto a su entorno próximo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Patagua Cerro Guairabo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Patagua Cerro Guairabo:

CUADRO 22-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE PATAGUA C° GAUIRABO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Patagua C° Guairabo	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle cultivado de escasa pendiente	---
	Tipo de Terreno	Suelo agrícola	---
	Pendiente Media(1)	0,0045	m/m
	Ancho medio	Relativo al tamaños de la falla	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	A los pies del muro	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	Aledaños, pero a mayor cota que la del embalse	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia(2)	0,16	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

(1) Pendiente de la superficie de mayor inclinación a favor de las aguas.
(2) Distancia perpendicular de la ruta I-746 al eje del muro norte; se indica de todos modos, pese a que se encuentra por sobre la cota del embalse.

22.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Patagua Cerro Guairabo	1,129	1,414	492	175	317

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,154	0,175	0,552	0,353

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 22-2 siguiente.

CUADRO 22-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m^3/s)	V-K MOD (m^3/s)	RAC. MOD. (m^3/s)	RACIONAL (m^3/s)	HUS (m^3/s)	ADOPTADO (m^3/s)	MAX (m^3/s)
17 Embalse Patagua Cerro Guairabo	2	0,94	0,75	1,20	1,85	-	1,85	1,85
	5	1,51	1,45	2,16	2,88	-	2,88	2,88
	10	1,89	2,06	2,95	3,62	-	3,62	3,62
	20	2,25	2,76	3,85	4,64	-	4,64	4,64
	25	2,36	2,99	4,14	4,84	-	4,84	4,84
	50	2,70	3,80	5,12	5,83	-	5,83	5,83
	100	3,06	4,98	6,56	7,05	-	7,05	7,05
	250	3,58	5,59	7,40	8,00	-	8,00	8,00
	500	3,95	6,33	8,33	8,91	-	8,91	8,91
	1000	4,32	7,06	9,26	9,82	-	9,82	9,82

22.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Patagua Cerro Guairabo fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Patagua Cerro Guairabo	Arena limosa con gravas	28	0,08	1,85	2	28	21	2 a 3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.91
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.56
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.94

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	3.27
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.49

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

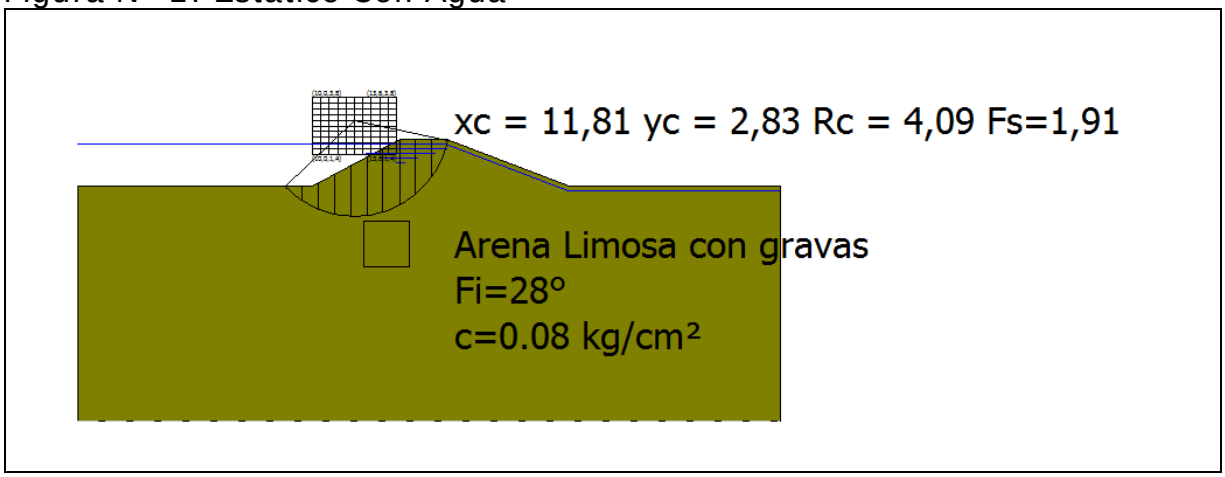


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

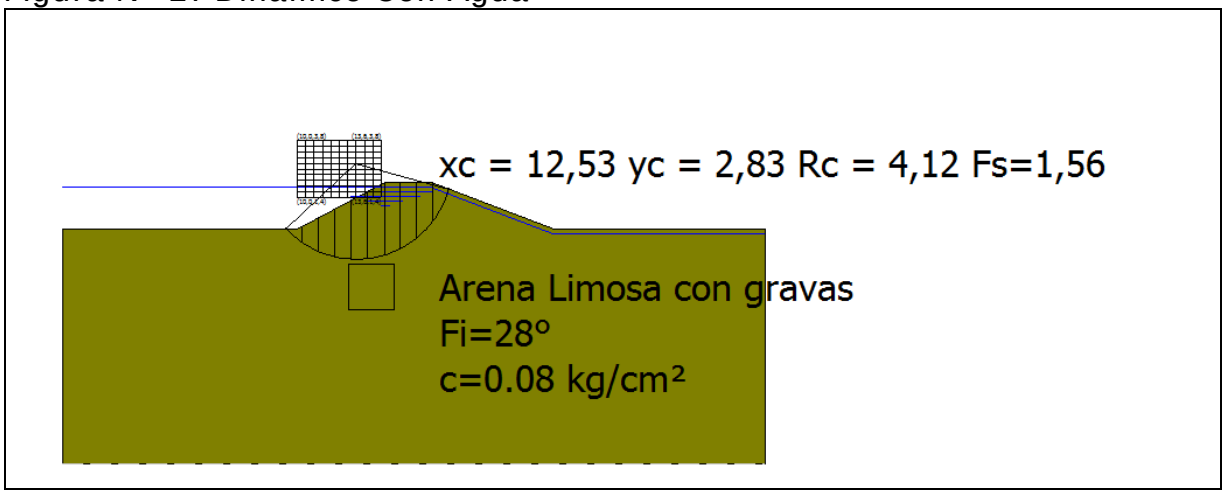
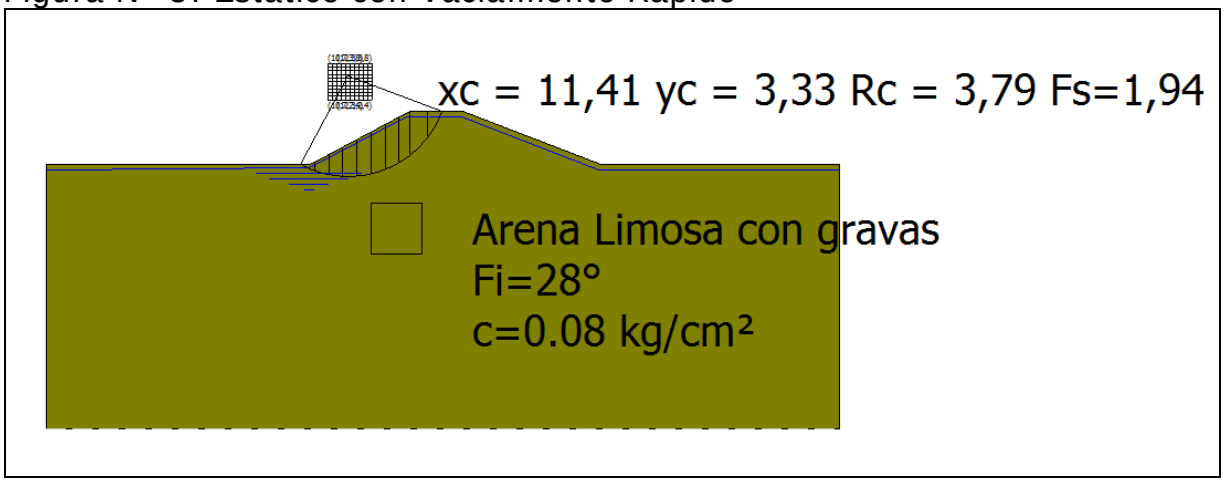


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

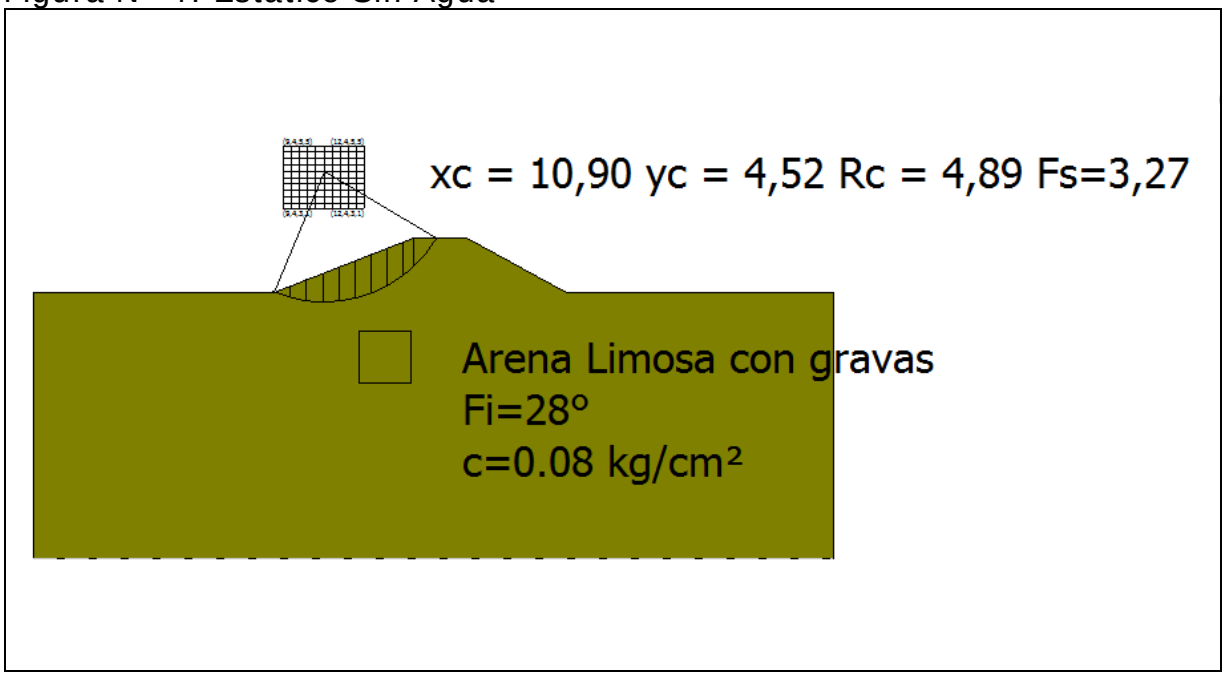
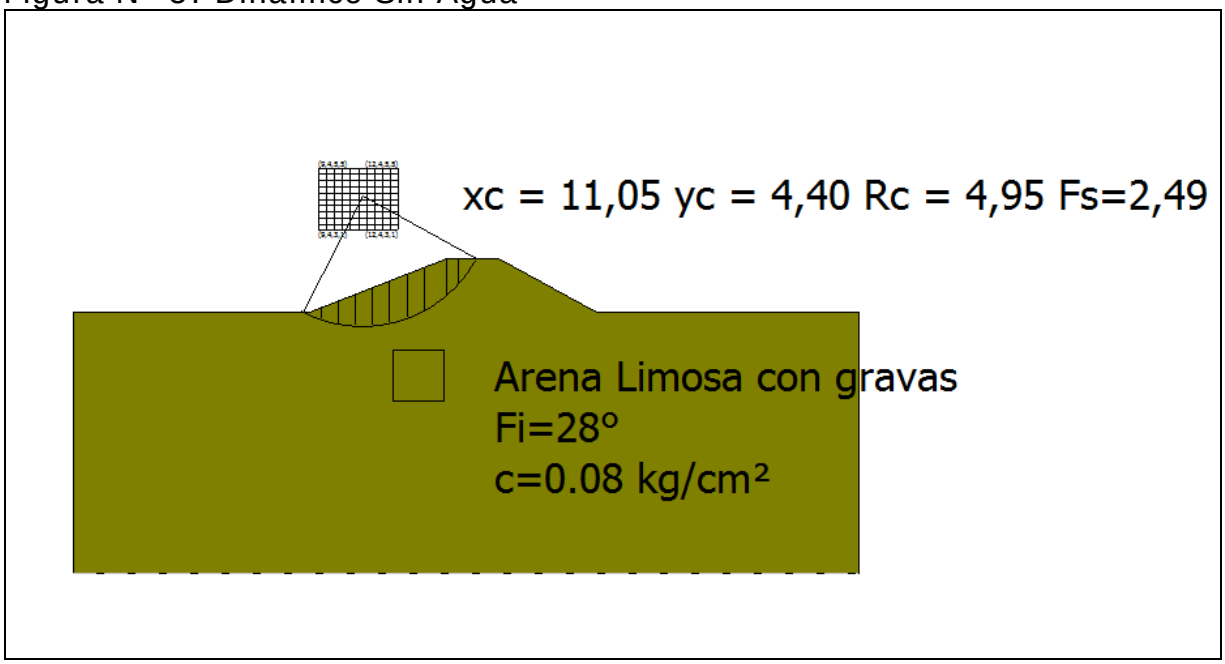


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El embalse Patagua Cerro Guairabo está formado por tres muros (norte, sur y oeste). los muros Norte y Oeste sufrieron daños muy graves (colapso) debido al terremoto del año 2010.

ii) De lo observado en la visita, y según lo conversado con un representante de los regantes del sector, se estableció que no se ha efectuado ninguna reparación a los muros del embalse. Lo anterior se ve reflejado en que las grietas y deslizamientos aún están visibles. No obstante lo anterior el embalse se ha llenado hasta prácticamente el coronamiento de los muros, situación que es muy riesgosa.

iii) Para el nivel de aguas existente (embalse lleno) los tres muros presentaban graves filtraciones.

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados.

vi) Se recomienda que mientras no se efectúen reparaciones estructurales a los muros del tranque Patagua Cerro Guairabo no se permita la acumulación de agua en él.

vii) Para revertir la recomendación del punto anterior, se sugiere solicitar al propietario del tranque la ejecución de un proyecto de mejoramiento del mismo, el que deberá ser desarrollado

por un ingeniero civil competente, luego aprobado por la DGA, y posteriormente materializado.

22.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 22-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Patagua Cerro Guairabo	Arenas Limosas con Gravas	11,1	0	3,7	6	1,8	10,8	Si

22.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 22-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Patagua Cerro Guairabo	Lateral	Hormigón, pared gruesa	15	1	2							**47,12**

22.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Patagua Cerro Guairabo, VI R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g**
es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 7,85 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 5,5 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	8,00	0,95
0,002 (T= 500 años)	8,91	
0,001 (T= 1.000 años)	9,82	

Como la capacidad efectiva es de 5,5 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 37 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,03.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	0,7
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,03 (T= 37 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,043
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,05
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,043 x 0,05 x 1,0= 0,2 %

23. EMBALSE LAGUNILLA

23.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Lagunilla.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Lagunillas		Nº de ficha	18
Propietario	Eduardo Saa		Fecha (dd/mm/año)	9/9/2014; 14:50 hrs.
RUT Propietario	S/I			
Año de construcción	1985		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	SI		Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación	2009		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Nilahue			
Subcuenca / Código DGA	Estero Nilahue			
Fuente del recurso	Estero Pumanque			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Colchagua	
Comuna	Pumanque	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 6.168.230	E= 257.507
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud	116 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	225 m
Ancho del coronamiento (m)	3
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	11,00
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	32 °
Ángulo talud de aguas arriba	32 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	6,00
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	
Área estimada o calculada de la poza (m2)	64.000
Ancho máximo de la poza (km)	0,20
Largo de la poza (km)	0,32
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,093

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	media a baja
Uniformidad de los taludes	Ambos taludes uniformes, alta pendiente
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, de hasta 0,3 m
Grietas visibles y su ubicación	No visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	sí, hacia aguas arriba
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	al pie de aguas abajo
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	sí, en sector central y sector estribo derecho
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada y protección de escombros (soleras de calle), parcialmente destruido

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	X
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada	X	Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero de hormigón controlado por compuerta de fierro
Material constructivo	Hormigón armado, y ladrillo
Estado de conservación y operatividad	Operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Alto 2,0 m ; Ancho 5,0 m; Largo:19,6 m; Espesor muro 22 cm

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	La obra de entrega no se ve, ya que se encuentra en el piso del embalse, la salida es mediante una obra de hormigón regulada por compuerta de fierro que entrega a un canal revestido, ubicada en el metraje 160 desde el estribo derecho
Mediciones estructurales	5,2 mts de largo por 1,10 de ancho, por 1,4 de profundidad. Espesor de muro de 20 cms
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL

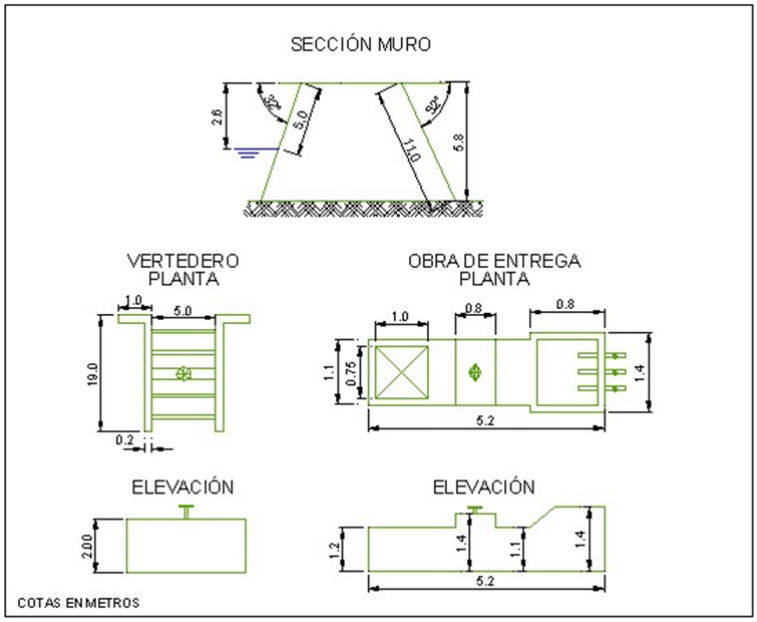
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Quebrada acondicionada, baja densidad vegetal, i= 0,014, ancho medio 7 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,56 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	aledaños
Densidad de población en las cercanías del tranque	alta
Distancia hacia zonas agrícolas	adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,125 km
Área de riego servida por el tranque analizado	

11. OBSERVACIONES

El muro fue reparado después del teremoto, sin proyecto de respaldo
Se observaron filtraciones al pie del muro, en el sector donde se ubica la obra de entrega

Compacidad del material estructural	media a baja
Uniformidad de los taludes	Ambos taludes uniformes, alta pendiente
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, de hasta 0,3 m
Grietas visibles y su ubicación	No visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	sí, hacia aguas arriba
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	al pie de aguas abajo
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	sí, en sector central y sector estribo derecho
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada y protección de escombros (soleras de calle), parcialmente destruido

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE LAGUNILLAS (18)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

OBRA DE ENTREGA

FILTRACIONES

VERTEDERO

23.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Lagunilla, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arcillas arenosas, de color café. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arcillas arenosas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es baja.

El muro del embalse Lagunilla sufrió daños muy graves debido al terremoto del año 2010. De lo observado en la visita y según lo conversado con un representante del propietario, se estableció que se reparó el muro excavando una zanja longitudinal al eje del muro de unos 40 metros de longitud, 2.5 metros de ancho y 3 metros de profundidad en el lugar donde se encontraban las grietas. El suelo removido se recolocó compactándolo en capas de espesor desconocido.

En la inspección visual efectuada no se observaron grietas ni fallas en el muro. Sin embargo se detectó una diferencia de nivel de unos 10 cm entre el sector reparado y el sector antiguo del muro. Este hecho lleva a pensar en la posibilidad de una compactación deficiente de los rellenos.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de aguas existente (embalse lleno) se observaron filtraciones en puntos cercanos a la entrega en el talud de aguas abajo.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total de los muro 220 m; ancho de coronamiento variable entre 4 m; inclinación talud aguas arriba 32°; altura hasta el nivel de agua 2.5 m; inclinación talud aguas abajo 32°; altura máxima talud aguas abajo 6 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

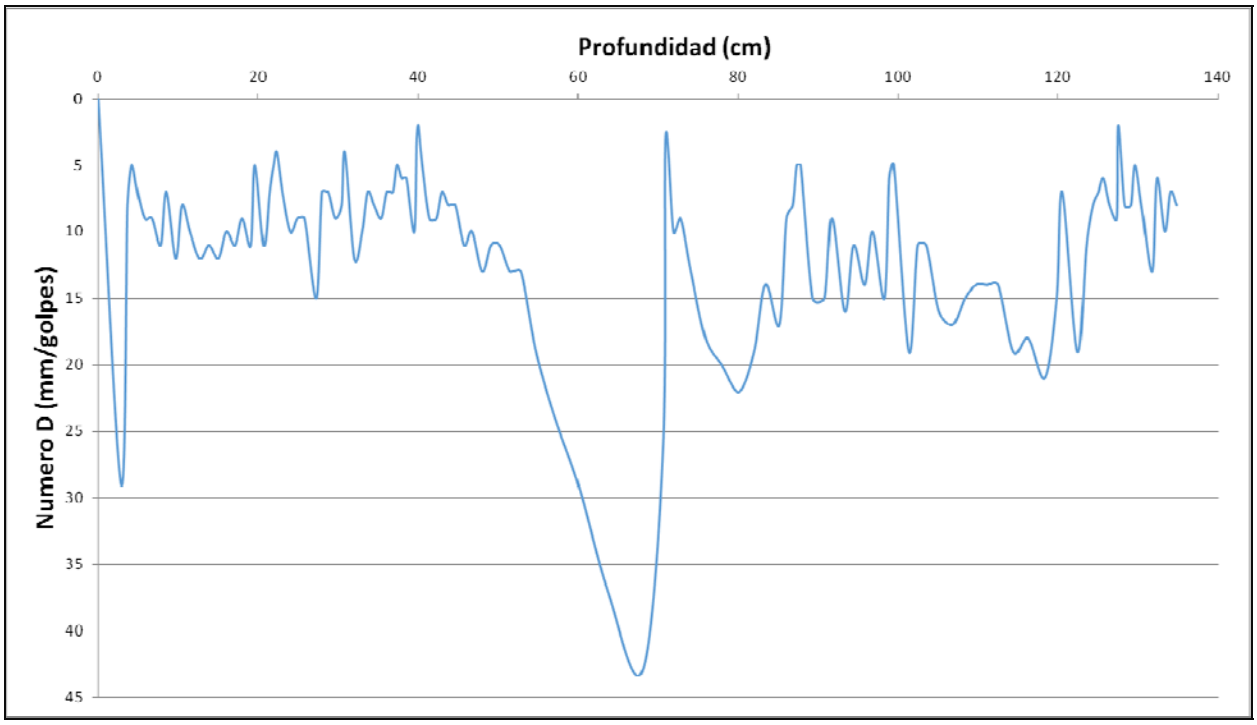
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Lagunilla

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Pend de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	2.9	125	154	29	5.7	41	37.3	493	498	5	52.4	81	90.8	25	40	15	13.1
2	3.7	154	162	8	29.0	42	37.9	498	504	6	41.6	82	91.7	35	44	9	25.0
3	4.2	162	167	5	52.4	43	38.5	504	510	6	41.6	83	93.3	44	60	16	12.1
4	4.9	167	174	7	34.3	44	39.5	510	520	10	21.9	84	94.4	60	71	11	19.4
5	5.8	174	183	9	25.0	45	39.8	520	523	3	99.7	85	95.8	71	85	14	14.3
6	6.7	183	192	9	25.0	46	40.0	523	525	2	166.2	86	96.8	85	95	10	21.9
7	7.8	192	203	11	19.4	47	40.5	525	530	5	52.4	87	98.3	95	110	15	13.1
8	8.5	203	210	7	34.3	48	41.4	530	539	9	25.0	88	98.9	110	116	6	41.6
9	9.7	210	222	12	17.4	49	42.3	539	548	9	25.0	89	99.4	116	121	5	52.4
10	10.5	222	230	8	29.0	50	43.0	548	555	7	34.3	90	101.3	121	140	19	9.7
11	11.5	230	240	10	21.9	51	43.8	555	563	8	29.0	91	102.4	140	151	11	19.4
12	12.7	240	252	12	17.4	52	44.6	563	571	8	29.0	92	103.5	151	162	11	19.4
13	13.8	252	263	11	19.4	53	45.7	571	582	11	19.4	93	105.1	162	178	16	12.1
14	15.0	263	275	12	17.4	54	46.7	582	592	10	21.9	94	106.8	178	195	17	11.2
15	16.0	275	285	10	21.9	55	48.0	592	605	13	15.7	95	108.3	195	210	15	13.1
16	17.1	285	296	11	19.4	56	49.1	605	616	11	19.4	96	109.7	210	224	14	14.3
17	18.0	296	305	9	25.0	57	50.2	616	627	11	19.4	97	111.1	224	238	14	14.3
18	19.1	305	316	11	19.4	58	51.5	627	640	13	15.7	98	112.5	238	252	14	14.3
19	19.6	316	321	5	52.4	59	52.8	640	653	13	15.7	99	114.4	252	271	19	9.7
20	20.7	321	332	11	19.4	60	54.7	653	672	19	9.7	100	116.2	271	289	18	10.4
21	21.4	332	339	7	34.3	61	57.1	672	696	24	7.3	101	118.3	289	310	21	8.6
22	21.9	339	344	5	52.4	62	60.0	696	725	29	5.7	102	119.8	310	325	15	13.1
23	22.3	344	348	4	69.4	63	63.7	725	762	37	4.2	103	120.5	325	332	7	34.3
24	23.0	348	355	7	34.3	64	68.0	762	805	43	3.5	104	122.4	332	351	19	9.7
25	24.0	355	365	10	21.9	65	70.6	805	831	26	6.6	105	123.5	351	362	11	19.4
26	24.9	365	374	9	25.0	66	70.9	28	31	3	99.7	106	124.3	362	370	8	29.0
27	25.8	374	383	9	25.0	67	71.9	31	41	10	21.9	107	125.0	370	377	7	34.3
28	27.3	383	398	15	13.1	68	72.8	41	50	9	25.0	108	125.6	377	383	6	41.6
29	28.0	398	405	7	34.3	69	74.1	50	63	13	15.7	109	126.4	383	391	8	29.0
30	28.7	405	412	7	34.3	70	75.9	63	81	18	10.4	110	127.3	391	400	9	25.0
31	29.6	412	421	9	25.0	71	77.9	81	101	20	9.1	111	127.5	400	402	2	166.2
32	30.4	421	429	8	29.0	72	80.1	101	123	22	8.1	112	128.3	402	410	8	29.0
33	30.8	429	433	4	69.4	73	82.0	123	142	19	9.7	113	129.1	410	418	8	29.0
34	32.0	433	445	12	17.4	74	83.4	142	156	14	0.0	114	129.6	418	423	5	52.4
35	33.0	445	455	10	21.9	75	85.1	156	173	17	11.2	115	130.4	423	431	8	29.0
36	33.7	455	462	7	34.3	76	86.0	173	182	9	25.0	116	131.7	431	444	13	15.7
37	34.5	462	470	8	29.0	77	86.8	182	190	8	29.0	117	132.3	444	450	6	41.6
38	35.4	470	479	9	25.0	78	87.3	0	5	5	52.4	118	133.3	450	460	10	21.9
39	36.1	479	486	7	34.3	79	87.8	5	10	5	52.4	119	134.0	460	467	7	34.3
40	36.8	486	493	7	34.3	80	89.3	10	25	15	13.1	120	134.8	467	475	8	29.0

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al grafico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores entre 5 y 15 mm/golpes, en general. Esto se relaciona con suelos finos con compacidad media. Sin embargo hay sustratos que tienen una compacidad menor; esto es el caso del sustrato entre los 50 a 70 cm de profundidad, donde el número D, se asocia a una densidad baja.

23.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Embalse de riego, ubicado en la comuna de Pumanque, provincia de Colchagua, VI región, se emplaza en el faldeo oriente de los cerros a los pies de los cuales se encuentra dicha comuna.

Respecto a su cauce aguas abajo del muro, este corresponde a una quebrada acondicionada de muy baja densidad vegetal (presumiblemente desforestada en algunas zonas), con pendiente 1,48% y longitud de 560 m, medida desde el pie del muro hasta el borde mismo de la comuna.

Se destaca la zona densamente poblada de Pumanque (densidad media en la zona expuesta), la cual se cruza con el cauce en análisis, al término de su desarrollo (550 m). Esto significa la presencia de infraestructura urbana y de servicios básicos aguas abajo del muro, muy cercanos a él.

Cabe destacar que la principal vía interceptada por el cauce, al final de su trazado (560m), corresponde a la I-60 (Pumanque), aun cuando a los 125m de su desarrollo cruza la ruta I-652.

En el siguiente fotograma se muestra la situación del embalse respecto a la comuna de Pumanque y su infraestructura.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Lagunillas

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Lagunillas:

CUADRO 23-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE LAGUNILLAS

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Lagunillas	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada acondicionada	---
	Tipo de Terreno	Baja densidad vegetal, desforestado en algunas zonas	---
	Pendiente Media	0,0143	m/m
	Ancho medio	7	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,56	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	Aledaños	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,125	km
	Zonas Agrícolas	Adyacente	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Alta	---

23.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Lagunilla	1,070	2,083	282	128	154

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,319	0,341	0,889	0,604

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 23-2 siguiente.

CUADRO 23-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
18 Embalse Lagunilla	2	0,25	0,45	0,57	0,92	-	0,92	0,92
	5	0,42	0,90	1,05	1,43	-	1,43	1,43
	10	0,57	1,31	1,46	1,79	-	1,79	1,79
	20	0,73	1,79	1,94	2,30	-	2,30	2,30
	25	0,79	1,95	2,10	2,40	-	2,40	2,40
	50	0,98	2,51	2,62	2,89	-	2,89	2,89
	100	1,19	3,33	3,39	3,49	-	3,49	3,49
	250	1,37	3,73	3,82	3,97	-	3,97	3,97
	500	1,53	4,23	4,31	4,42	-	4,42	4,42
	1000	1,70	4,73	4,80	4,87	-	4,87	4,87

23.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Lagunilla:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Lagunilla	Arcilla arenosa	18	0,20	1,80	6	32	32	4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.73
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.42
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.85

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.92
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.55

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

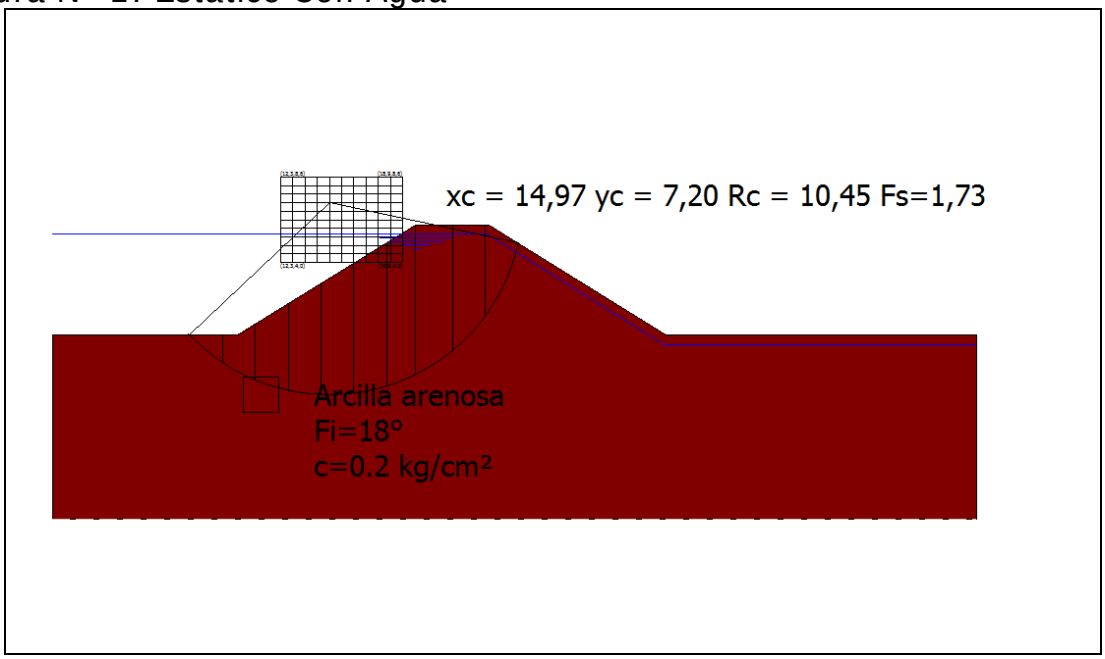


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

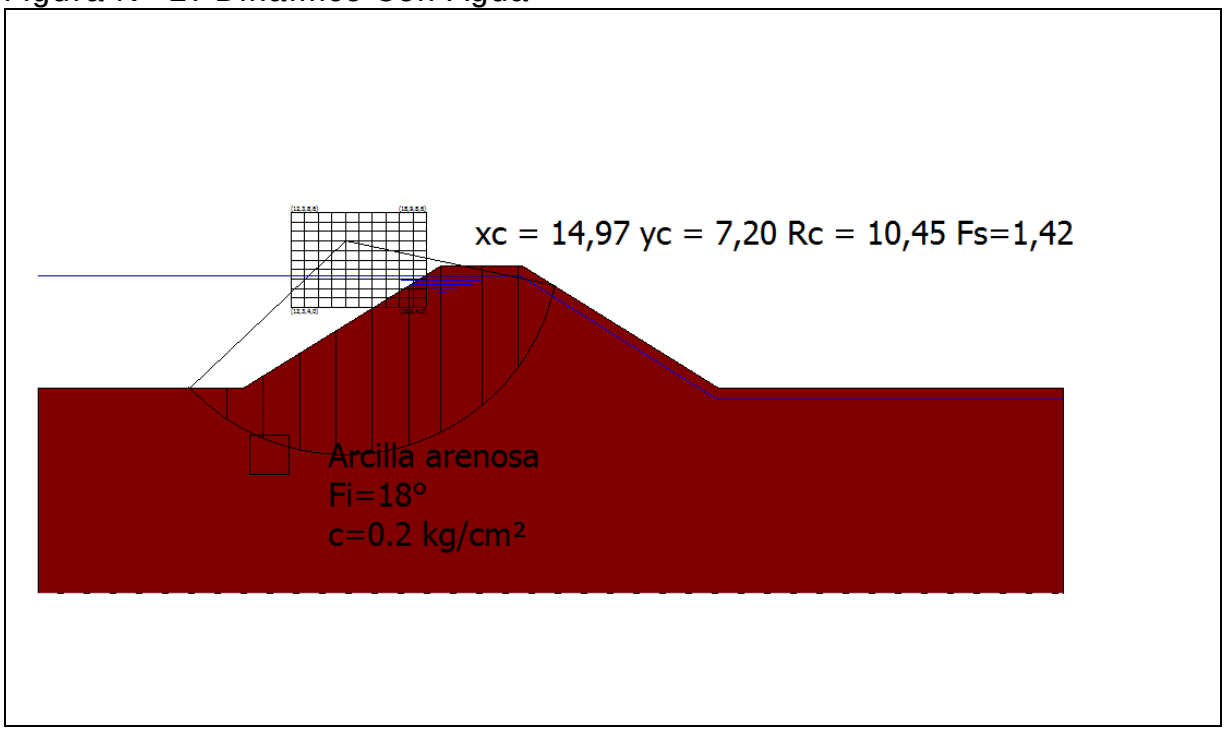
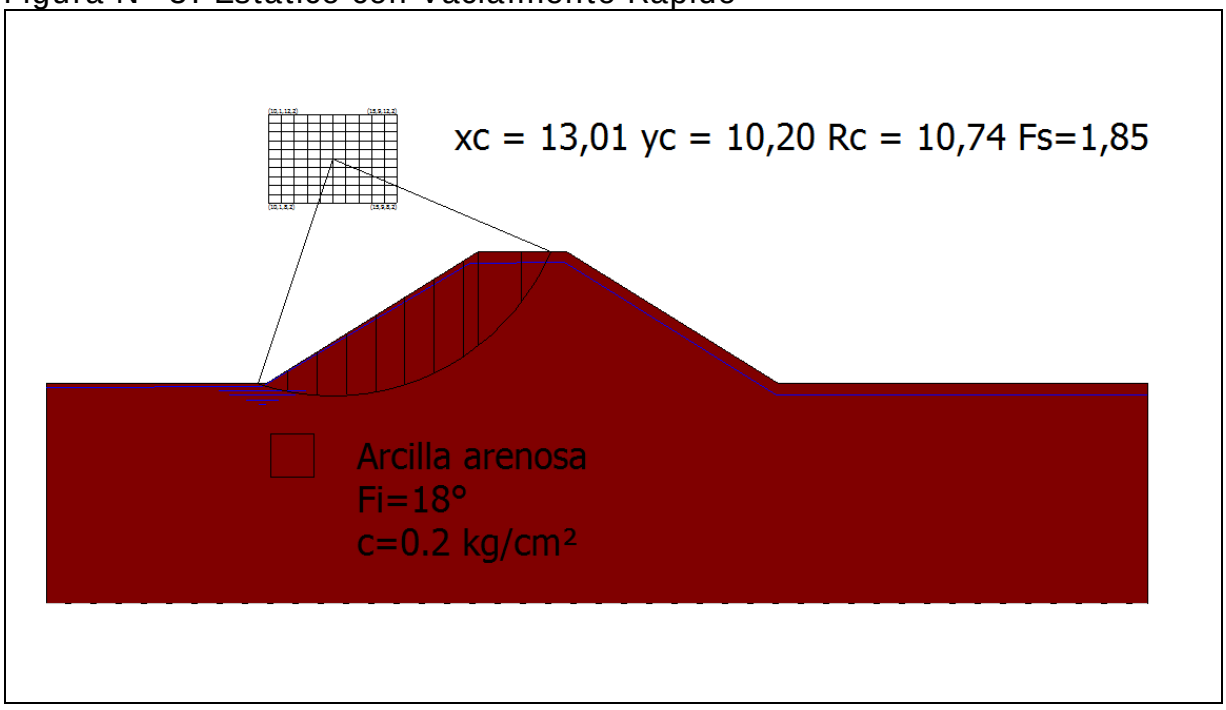


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

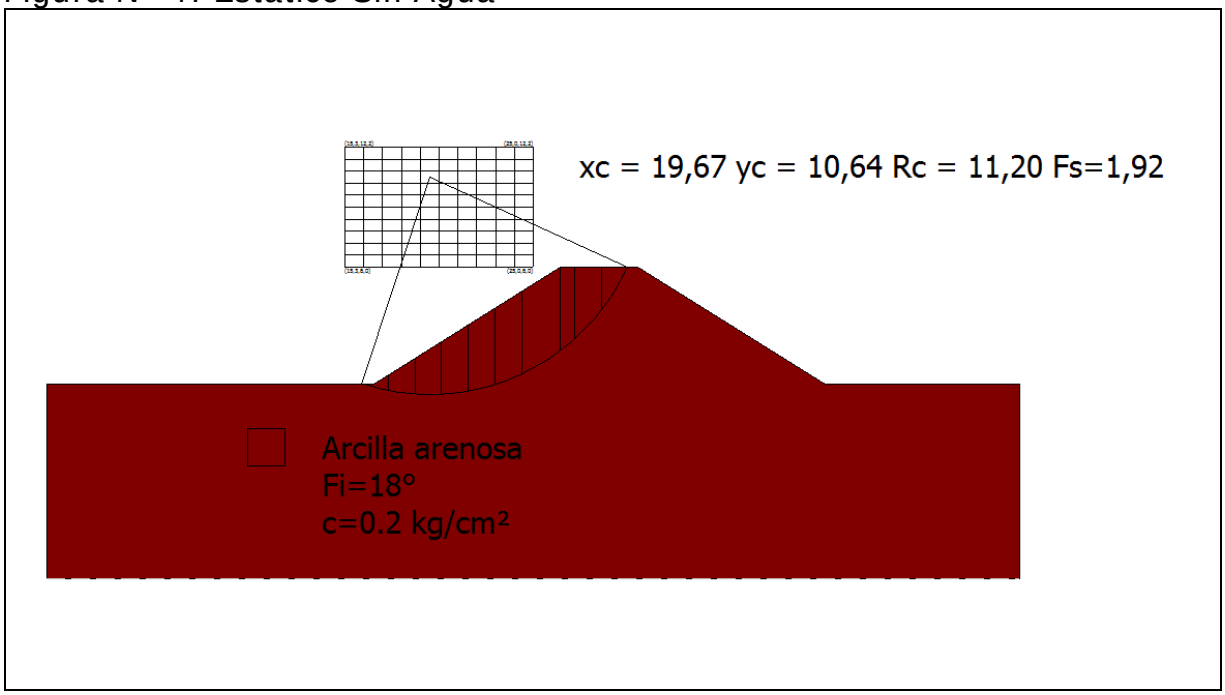
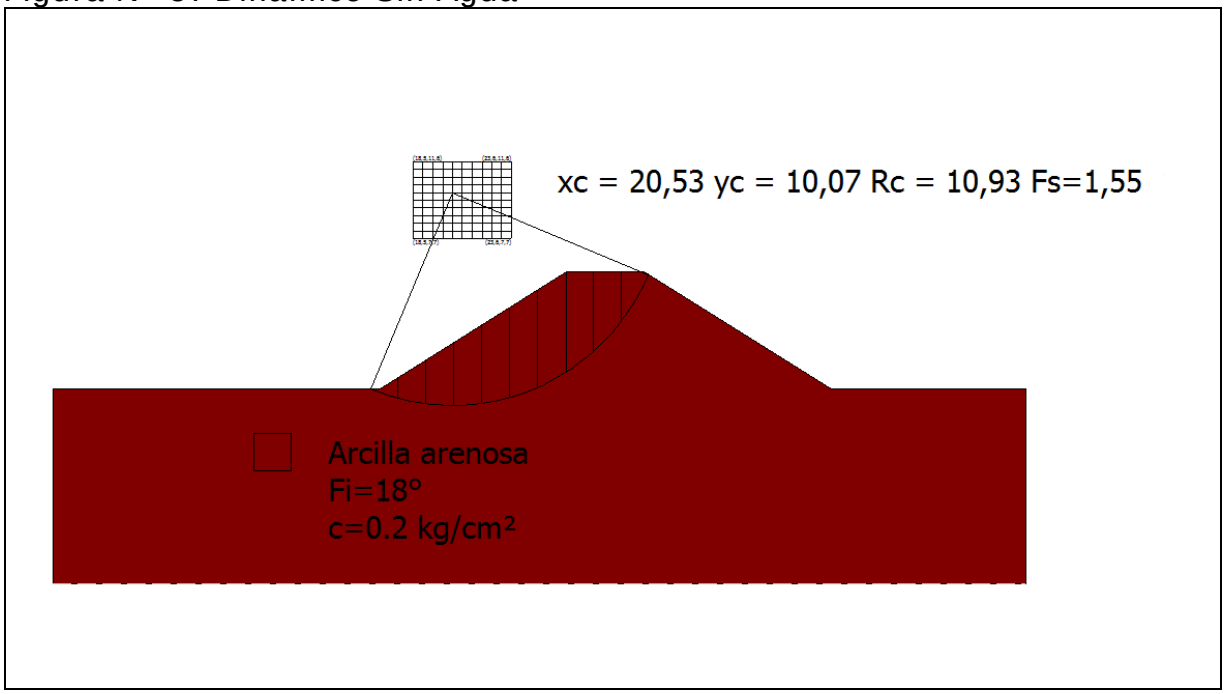


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) De lo observado en la visita y según lo conversado con un representante del propietario, se estableció que se reparó el muro excavando una zanja longitudinal al eje del muro de unos 40 metros de longitud, 2.5 metros de ancho y 3 metros de profundidad en el lugar donde se encontraban las grietas. El suelo removido se recolocó compactándolo en capas de espesor desconocido.

ii) Durante la visita no se observaron grietas ni fallas en el muro. Sin embargo se detectó una diferencia de nivel de unos 10 cm entre el sector reparado y el sector antiguo del muro. Este hecho lleva a pensar en la posibilidad de una compactación deficiente de los rellenos.

iii) Para el nivel de aguas existente al momento de la visita (embalse lleno) se observaron filtraciones en puntos cercanos a la entrega, en el talud de aguas abajo

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) Con relación a los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados.

vi) Aún cuando el embalse Lagunilla se aprecia, en general, en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de

reparación, firmado por un ingeniero civil competente y dicho estudio sea aprobado por la DGA.

23.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 23-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Lagunilla	Arcillas Arenosas	23,7	0	7,9	2	5,8	11,6	Si

23.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 23-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Lagunilla	Lateral	Canal de hormigón		2	2	1,5	0,002	0,03				**2,99**

23.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento

E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Lagunilla, VI R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g** es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**

(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 2,99 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 2,1 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	3,97	0,95
0,002 (T= 500 años)	4,42	
0,001 (T= 1.000 años)	4,87	

Como la capacidad efectiva es de 2,1 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 16 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,06.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	0,7
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,06 (T= 16 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,06
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,06 x 0,95 x 1,0= 5,7 %

24. EMBALSE LA TROYA

24.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse La Troya.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	La Troya		Nº de ficha	19
Propietario	Cooperativa La Troya		Fecha (dd/mm/año)	9/9/2014; 16:45 hrs.
	Localidad La Troya			
	Comuna de Peralillo,			
	VI Región			
Año de construcción	S/I		Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación			Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Rapel/060			
Subcuenca / Código DGA	Río Rapel/0605			
Fuente del recurso	Estero Las Toscas - canal			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Del Libertador Bdo. O'Higgins	
Provincia	Colchagua	
Comuna	Peralillo	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.183.149	E = 272.515
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	125	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha	
Longitud del coronamiento	865 m
Ancho del coronamiento (m)	1
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	4
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	NO
Con eclímetro	
Ángulo talud de aguas abajo	30°
Ángulo talud de aguas arriba	30°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	2
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	69.600
Ancho máximo de la poza (m)	290 m
Largo de la poza (m)	240 m
Volumen declarado o proyectado (m3)	97.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Coordenadas UTM		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	muy irregular
Compacidad del material estructural	baja
Uniformidad de los taludes	Irregular en ambos taludes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, abundantes, mayores a 0,5 m
Grietas visibles y su ubicación	sí, resabios de grietas antiguas; L= 20 m, ancho de 5 cm
Indicios de deslizamientos y ubicación	si, en el sector del muro principal
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	sí, al pie del talud en varios puntos
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	sí, abundantes en varios sectores
Tipo de revestimiento del muro	no hay

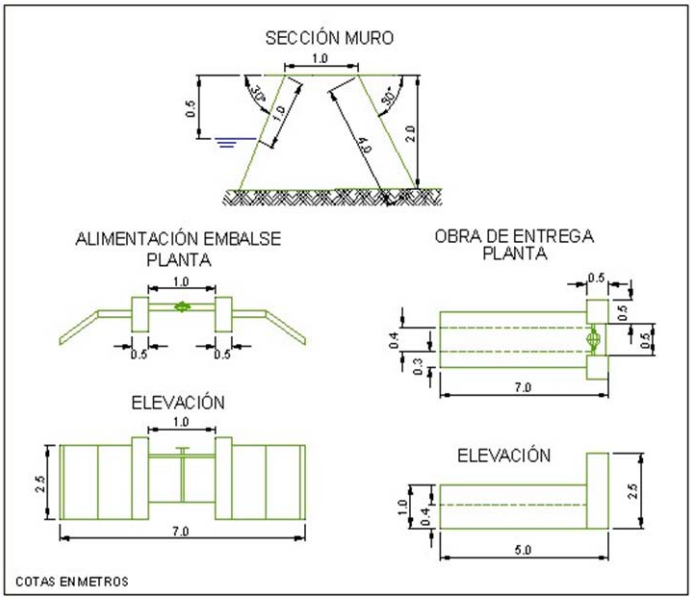
8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS			
Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
"x" indica localización y estructura del vertedero			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	
Los datos a consignar son:			
Tipo de vertedero	NO SE OBSERVÓ VERTEDERO		
Material constructivo			
Estado de conservación y operatividad			
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)			

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO	
Tipo de estructura	La obra de entrega no se ve, ya que se encuentra en el piso del embalse, la salida es mediante una base de hormigón que capta en el agua del tranque y la entrega directamente a los predios.
Mediciones estructurales	La obra de ormigón tiene una salida de 40 cm de diámetro
Funcionamiento actual	Mal estado

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO	
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Canal en tierra, terrenos agrícolas, pendiente media 0,004, ancho medio cauce 2 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	270 m
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	224 m
Densidad de población en las cercanías del tranque	Alta
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,36 km
Área de riego servida por el tranque analizado	-

11. OBSERVACIONES
Embalse en muy mal estado, muchas filtraciones, deslizamientos y grietas
Embalse abandonado

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE LA TROYA (19)

TALUD AGUAS ARRIBA

OBRA DE ENTREGA ABANDONADA

CORONAMIENTO Y ENSAYO CON PENETRÓMETRO

OBRA DE ALIMENTACIÓN AL EMBALSE

FILTRACIONES

24.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse La Troya, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja permeabilidad media y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, limos arenosos. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a baja, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es media.

El muro del embalse La Troya sufrió daños muy graves debido al terremoto del año 2010. De lo observado en la visita, se estableció que el tranque La Troya no ha tenido ningún tipo de reparación después del terremoto. Es más, aún están visibles las grietas y deslizamientos que se produjeron en esa oportunidad. La mayoría de las obras de arte del embalse se encuentran en desuso y estropeadas. Por otra parte el embalse se encuentra embancado y cubierto de vegetación en casi la mitad de su superficie.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de aguas existente durante la visita (embalse lleno) se observaron abundantes filtraciones en puntos cercanos a la entrega en el talud de aguas abajo.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total del muro 510 m; ancho de coronamiento variable entre 1 y 2 m; inclinación talud aguas arriba 30°; Altura hasta el nivel de agua 0.5 m; inclinación talud aguas abajo 30°; altura máxima talud aguas abajo 2 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

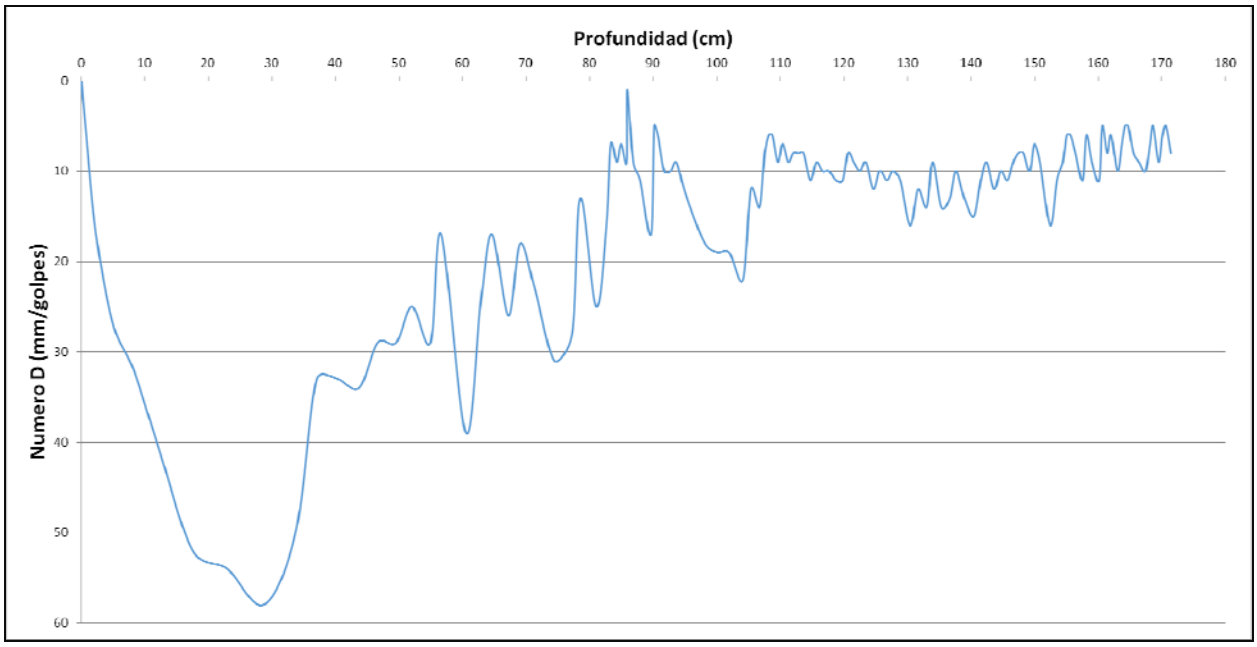
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse La Troya

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	0.1	107	108	1	398.1	41	92.7	21	31	10	21.9	81	137.6	470	480	10	21.9
2	0.6	116	121	5	52.4	42	93.6	31	40	9	25.0	82	138.9	480	493	13	15.7
3	2.3	121	138	17	11.2	43	94.8	40	52	12	17.4	83	140.4	493	508	15	13.1
4	5.0	138	165	27	6.3	44	96.3	52	67	15	13.1	84	141.5	508	519	11	19.4
5	8.2	165	197	32	5.1	45	98.1	67	85	18	10.4	85	142.4	519	528	9	25.0
6	12.3	197	238	41	3.7	46	100.0	85	104	19	9.7	86	143.6	528	540	12	17.4
7	17.5	238	290	52	2.7	47	101.9	104	123	19	9.7	87	144.6	540	550	10	21.9
8	22.9	290	344	54	2.6	48	104.1	123	145	22	8.1	88	145.7	550	561	11	19.4
9	28.7	344	402	58	2.4	49	105.3	145	157	12	17.4	89	146.6	561	570	9	25.0
10	33.7	402	452	50	2.9	50	106.7	157	171	14	14.3	90	147.4	570	578	8	29.0
11	37.0	452	485	33	4.9	51	107.5	171	179	8	29.0	91	148.2	578	586	8	29.0
12	40.3	485	518	33	4.9	52	108.1	179	185	6	41.6	92	149.2	586	596	10	21.9
13	43.7	518	552	34	4.7	53	108.7	185	191	6	41.6	93	149.9	596	603	7	34.3
14	46.6	552	581	29	5.7	54	109.6	191	200	9	25.0	94	150.8	603	612	9	25.0
15	49.5	581	610	29	5.7	55	110.3	200	207	7	34.3	95	152.4	612	628	16	12.1
16	52.0	610	635	25	6.9	56	111.2	207	216	9	25.0	96	153.5	628	639	11	19.4
17	54.9	635	664	29	5.7	57	112.0	216	224	8	29.0	97	154.4	639	648	9	25.0
18	56.6	664	681	17	11.2	58	112.8	224	232	8	29.0	98	155.0	648	654	6	41.6
19	60.5	681	720	39	3.9	59	113.6	232	240	8	29.0	99	155.6	654	660	6	41.6
20	62.9	720	744	24	7.3	60	114.7	240	251	11	19.4	100	156.4	660	668	8	29.0
21	64.6	744	761	17	11.2	61	115.6	251	260	9	25.0	101	157.5	668	679	11	19.4
22	67.2	761	787	26	6.6	62	116.6	260	270	10	21.9	102	158.1	679	685	6	41.6
23	69.0	787	805	18	10.4	63	117.6	270	280	10	21.9	103	159.0	685	694	9	25.0
24	71.3	805	828	23	7.7	64	118.7	280	291	11	19.4	104	160.1	694	705	11	19.4
25	74.4	828	859	31	5.3	65	119.8	291	302	11	19.4	105	160.6	705	710	5	52.4
26	77.2	859	887	28	6.0	66	120.6	302	310	8	29.0	106	161.4	710	718	8	29.0
27	78.5	76	89	13	15.7	67	121.5	310	319	9	25.0	107	162.0	718	724	6	41.6
28	81.0	89	114	25	6.9	68	122.5	319	329	10	21.9	108	163.0	724	734	10	21.9
29	82.6	114	130	16	12.1	69	123.4	329	338	9	25.0	109	163.7	734	741	7	34.3
30	83.3	130	137	7	34.3	70	124.6	338	350	12	17.4	110	164.2	741	746	5	52.4
31	84.2	137	146	9	25.0	71	125.6	350	360	10	21.9	111	164.7	746	751	5	52.4
32	84.9	146	153	7	34.3	72	126.7	360	371	11	19.4	112	165.5	751	759	8	29.0
33	85.8	153	162	9	25.0	73	127.7	371	381	10	21.9	113	166.4	759	768	9	25.0
34	85.9	162	163	1	398.1	74	128.8	381	392	11	19.4	114	167.4	768	778	10	21.9
35	86.8	163	172	9	25.0	75	130.4	392	408	16	12.1	115	168.1	778	785	7	34.3
36	87.9	172	183	11	19.4	76	131.6	408	420	12	17.4	116	168.6	785	790	5	52.4
37	89.6	183	200	17	11.2	77	133.0	420	434	14	14.3	117	169.5	790	799	9	25.0
38	90.1	0	5	5	52.4	78	133.9	434	443	9	25.0	118	170.1	799	805	6	41.6
39	90.7	5	11	6	41.6	79	135.3	443	457	14	14.3	119	170.6	805	810	5	52.4
40	91.7	11	21	10	21.9	80	136.6	457	470	13	15.7	120	171.4	810	818	8	29.0

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta, hasta los 80 cm de profundidad, valores mayores a los 20 mm/golpes y en algunos casos sobre los 40 o 50 mm/golpes. Esto se relaciona con un suelo con compacidad baja. Luego esta baja compacidad va mejorando hasta llegar a 1 m de profundidad, a partir de donde se aprecia una mayor compacidad del suelo, correspondiente a suelos de compacidad media.

24.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego La Troya se encuentra en la comuna de Peralillo, provincia de Colchagua, VI Región; se llega a él por la ruta 90 hacia la costa (ruta que une San Fernando con Pichilemu). Dentro de Peralillo se toma la ruta I-310, para luego doblar hacia el norponiente, ya sea en cruce de camino interior (sin rol) o bien, más al norte, en la ruta I-312.

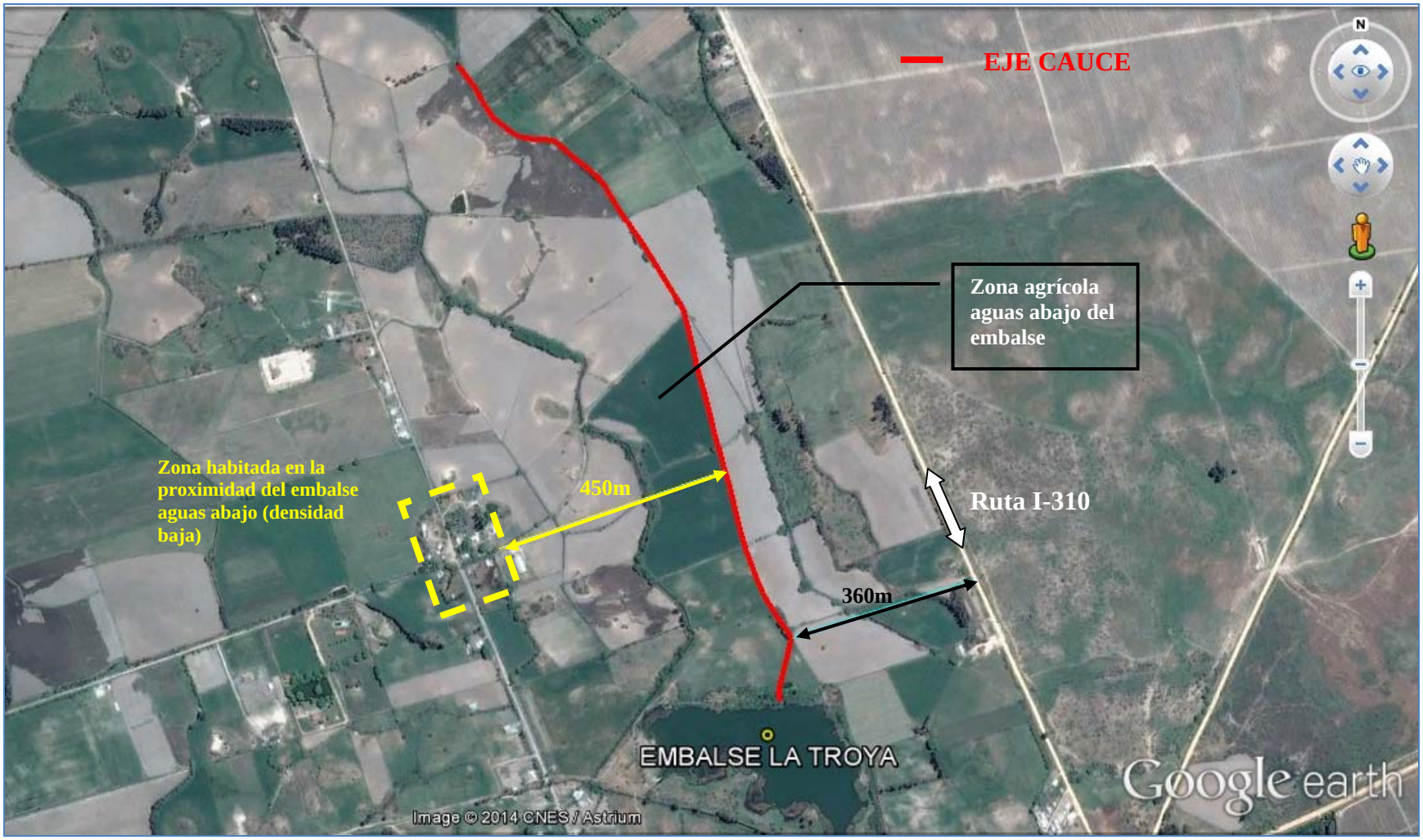
El cauce de aguas abajo del muro corresponde a superficie agrícola de baja pendiente (3,5 ‰). El eje de este cauce, trazado desde los pies del muro hasta su primera bifurcación, tiene un desarrollo de 1,43km y coincide con el recorrido del canal matriz.

Se aprecian zonas pobladas hacia el poniente del valle cultivado, a una distancia perpendicular al eje de 450m, con una densidad poblacional baja.

La vía enrolada más cercana corresponde a la ruta I-310, y se encuentra a una distancia perpendicular al eje del cauce de 360m.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse y de su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse La Troya



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse La Troya:

CUADRO 24-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE LA TROYA

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		La Troya	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle cultivado con canalización	---
	Tipo de Terreno	Suelo agrícola	---
	Pendiente Media	0,0035	m/m
	Ancho medio	2	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,4	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,45	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (*)	0,36	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

(*) Distancia medida de forma perpendicular al cauce de aguas abajo.

24.4. Caudales Máximos Instantáneos

No se realiza estudio hidrológico de crecidas afluentes al embalse, ya que no posee cuenca aportante.

24.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse La Troya fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
La Troya	Limo arenoso	28	0,10	1,80	2	30	30	1 a 2

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.95
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	2.24
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	2.98

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	3.07
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.33

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

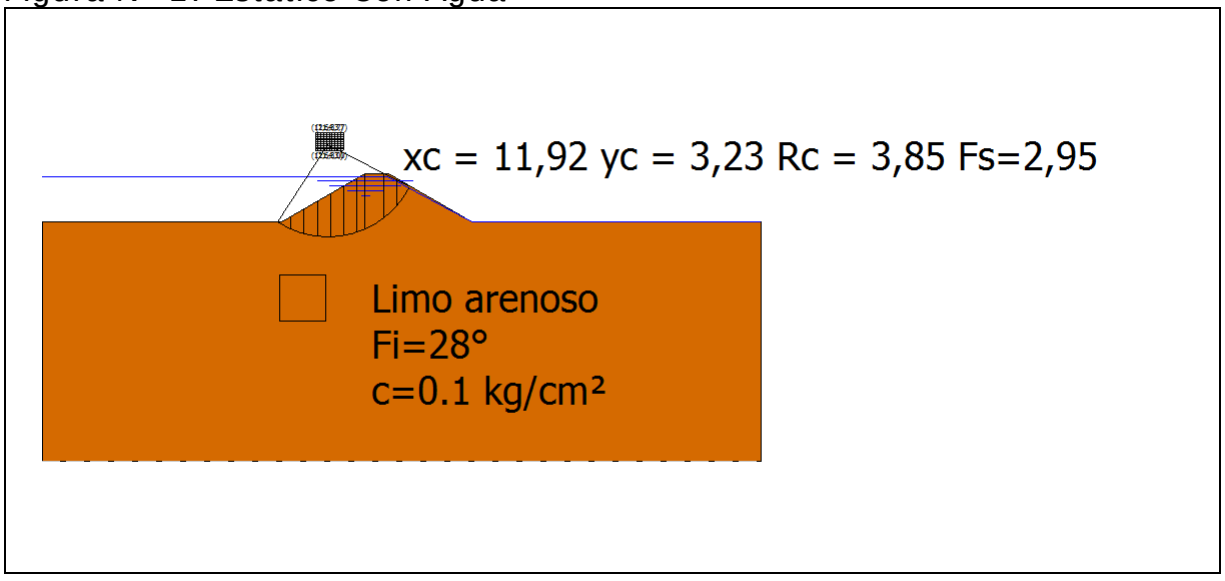


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

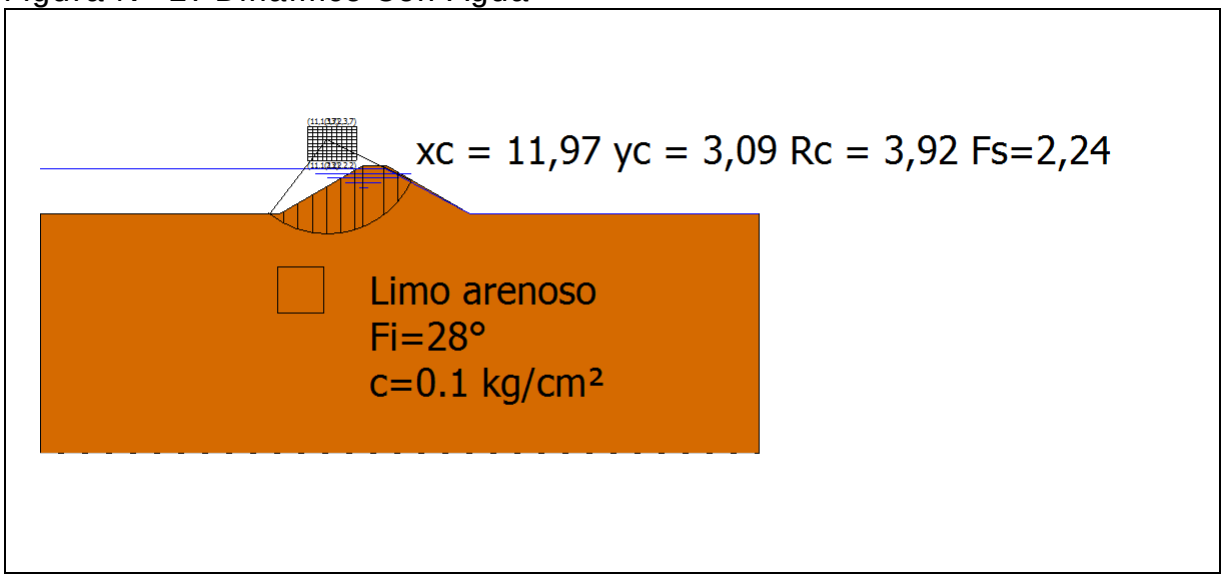
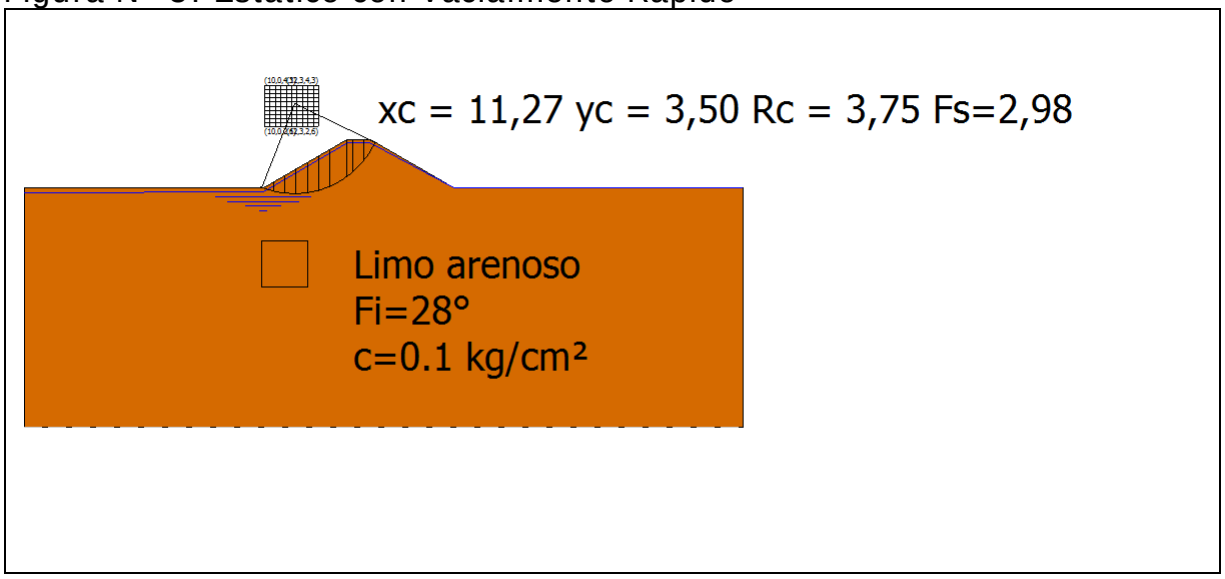


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

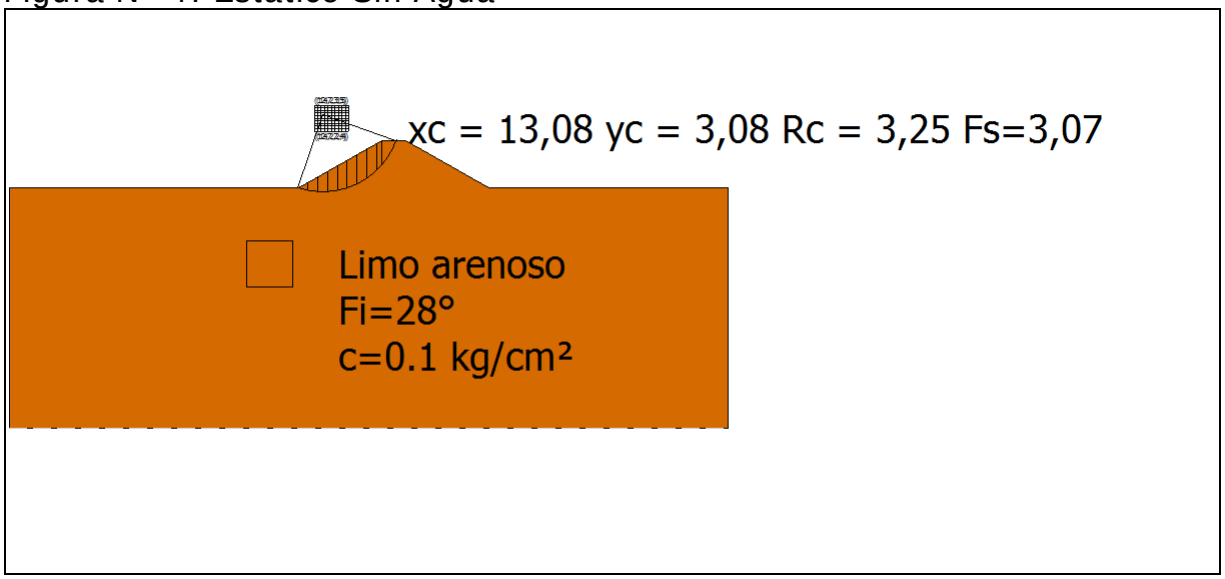
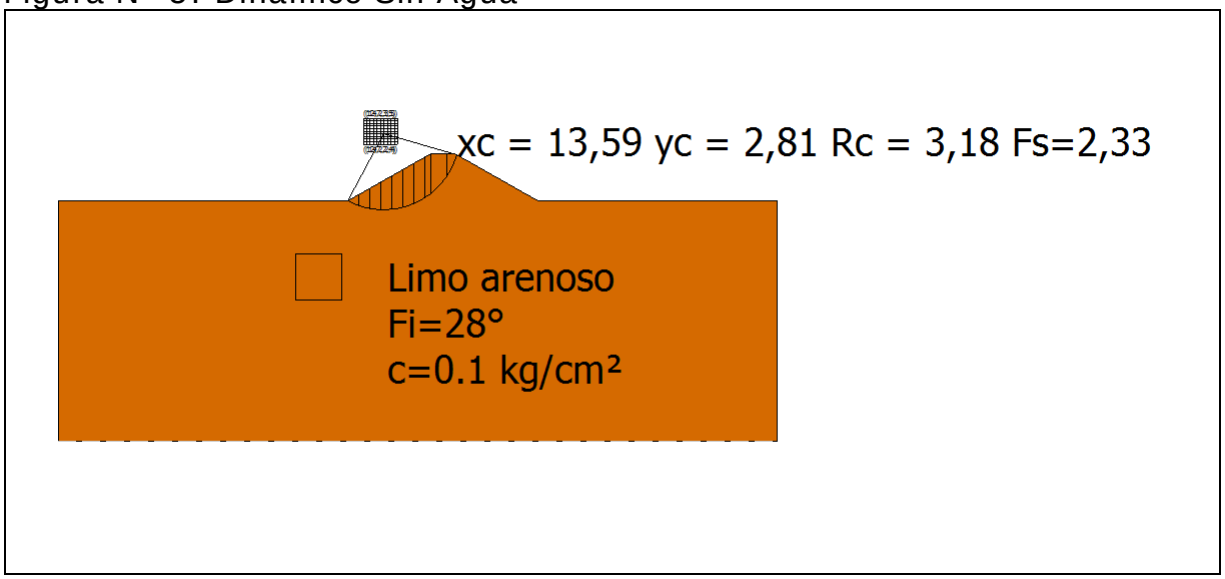


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) De lo observado en la visita, se estableció que el tranque La Troya no ha tenido ningún tipo de reparación después del terremoto. Es más, aún están visibles las grietas y deslizamientos que se produjeron en esa oportunidad.

ii) La mayoría de las obras de arte del embalse se encuentran en desuso y estropeadas.

iii) Al momento de la visita, el embalse se encontraba embancado y cubierto de vegetación en casi la mitad de su superficie.

iv) Para el nivel de aguas existente durante la visita (embalse lleno) se observaron abundantes filtraciones en puntos cercanos a la entrega en el talud de aguas abajo.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Se recomienda solicitar el vaciamiento permanente del embalse mientras no se efectúen reparaciones que garanticen su seguridad. Lo anterior se debe a que el embalse se encuentra en muy mal estado, está abandonado, presenta grietas y deslizamientos y además hay muchas filtraciones por el sector central del muro.

Las reparaciones deberán efectuarse en base a un proyecto efectuado por un ingeniero civil competente. Dicho estudio deberá ser aprobado por la DGA, antes que se efectúen las reparaciones.

24.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 24-2
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
La Troya	Limos Arenosos	7,8	0	2,6	6	2,0	12,0	Si

24.7. Caudal Máximo en Vertedero

No tiene cuenca aportante.

24.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores "p" y "V" son independientes por evento, y el valor "E" es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: La Troya, Peralillo, VI Región

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: no tiene cuenca aportante ni vertedero

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 0 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)		
0,002 (T= 500 años)		
0,001 (T= 1.000 años)		

Nota: No tiene vertedero ni cuenca aportante

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	0,5
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

Nota: No tiene cuenca aportante.

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	0,5

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= no tiene cuenca aportante

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,05
Potencialidad de Falla= 0,5

Riesgo Total= 0,03 x 0,05 x 0,5= 0,075%

25. EMBALSE TRINIDAD

25.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Trinidad.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	EMBALSE EST. EN LOTE A DE LA HIJUELA LOTE DOS EN TRINIDAD (FUNDO SAN JUAN DE LA TRINIDAD)	Nº de ficha	20
Propietario	Agrícola MARBIL Ltda.	Fecha (dd/mm/año)	9/9/2014; 18:10 hrs.
RUT Propietario			
Año de construcción		Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
		Capacidad > 50.000 m3	si
		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA			
Subcuenca / Código DGA			
Fuente del recurso			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'Higgins	
Provincia	Colchagua	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.192.136	E = 267.023
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	124	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	250
Ancho del coronamiento (m)	3
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	14
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	21°
Ángulo talud de aguas arriba	24°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente)	5,00
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	
Área estimada o calculada de la poza (ha)	100
Ancho máximo de la poza (km)	0,42
Largo de la poza (km)	0,36
Volumen declarado o proyectado	190.000 m3

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	alta y baja
Uniformidad de los taludes	Aguas abajo, taludes uniformes, aguas arriba sin uniformidad
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	NO
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	Sí, desde 2/3 de la altura hacia aguas abajo
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	sí
Tipo de revestimiento del muro	Talud aguas arriba con geotextil

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada	X	Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero frontal nuevo
Material constructivo	hormigón
Estado de conservación y operatividad	operativo, recién construido
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	ancho 4 m, carga máxima 3 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	al pie del muro; capta por el fondo del embalse, y va a dar a una cámara con válvula que entrega a canal
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativo

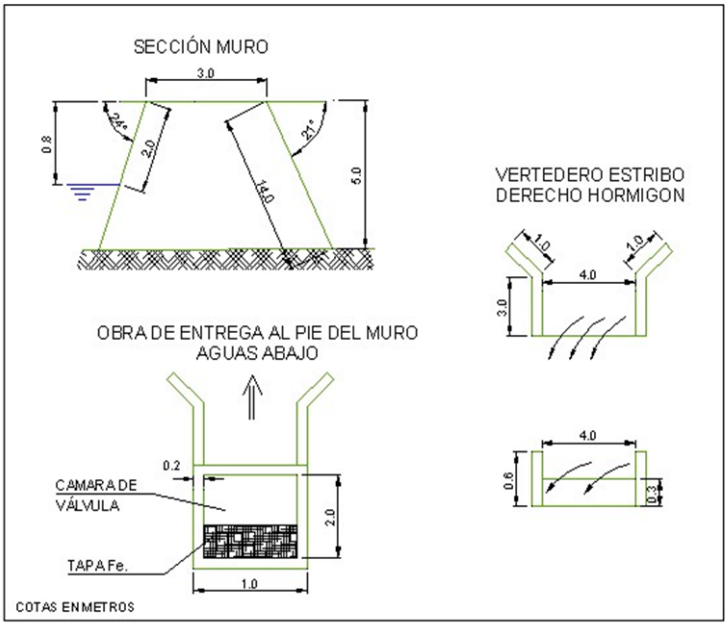
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno,	Cauce natural, terrenos agrícolas, pendiente media de 0,006, ancho medio del cauce 200 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	2 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	1
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,91 km
Área de riego servida por el tranque analizado	

11. OBSERVACIONES

El embalse fue construido de nuevo
Geotextil por el lado de aguas abajo
Saturado a 1,8 m del coronamiento

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE TRINIDAD (20)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

HUMEDAD Y FILTRACIONES EN TALUD DE AGUAS ABAJO

VERTEDERO

CÁMARA OBRA DE ENTREGA

ENSAYO CON PENETRÓMETRO Y MUESTRA DE TUBO HUMEDO (FILTRACIONES EN MURO)

25.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Trinidad, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arenas limosas, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja permeabilidad media y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arenas limosas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a baja, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es media.

El muro del embalse Trinidad sufrió daños muy graves debido al terremoto del año 2010. De lo observado en la visita, se estableció que el tranque Trinidad se reconstruyó completamente hace unos meses. Se desconoce el proyecto de reconstrucción, sin embargo se aprecia un diseño conservador, no observándose grietas ni fallas, aunque el tiempo que lleva en uso es muy corto para establecer conclusiones.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de aguas existente durante la visita (embalse lleno y vertiendo) y aunque se dispuso un revestimiento con geomembrana por el talud de aguas arriba, se observaron abundantes filtraciones en el talud de aguas abajo, a cotas levemente más bajas que el nivel del agua en el embalse. Lo anterior hace presumir que la geomembrana quedó mal colocada o bien se han producido roturas en ella.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total del muro 250 m; ancho de coronamiento 3 m; inclinación talud aguas arriba 24°; Altura hasta el nivel de agua 0.8 m; inclinación talud aguas abajo 21°; altura máxima talud aguas abajo 5 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

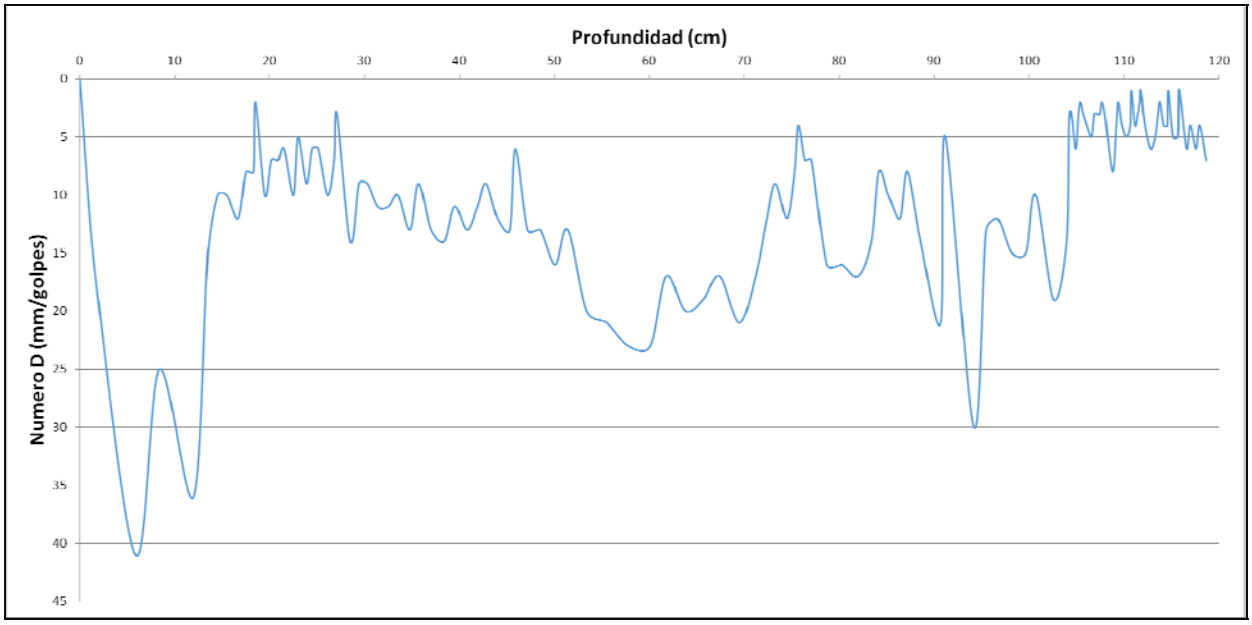
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Trinidad

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1.8	115	133	18	10.4	41	47.2	576	589	13	15.7	81	104.3	133	136	3	99.7
2	5.9	133	174	41	3.7	42	48.5	589	602	13	15.7	82	104.9	136	142	6	41.6
3	8.4	174	199	25	6.9	43	50.1	602	618	16	12.1	83	105.2	142	145	3	99.7
4	12.0	199	235	36	4.4	44	51.4	618	631	13	15.7	84	105.4	145	147	2	166.2
5	13.5	235	250	15	13.1	45	53.4	631	651	20	9.1	85	105.7	147	150	3	99.7
6	14.5	250	260	10	21.9	46	55.5	651	672	21	8.6	86	106.1	150	154	4	69.4
7	15.5	260	270	10	21.9	47	57.8	672	695	23	7.7	87	106.6	154	159	5	52.4
8	16.7	270	282	12	17.4	48	60.1	695	718	23	7.7	88	106.9	159	162	3	99.7
9	17.5	282	290	8	29.0	49	61.8	718	735	17	11.2	89	107.2	162	165	3	99.7
10	18.3	290	298	8	29.0	50	63.8	735	755	20	9.1	90	107.5	165	168	3	99.7
11	18.5	298	300	2	0.0	51	65.7	755	774	19	9.7	91	107.7	168	170	2	166.2
12	19.5	300	310	10	21.9	52	67.4	774	791	17	11.2	92	108.0	170	173	3	99.7
13	20.2	310	317	7	34.3	53	69.5	791	812	21	8.6	93	108.8	173	181	8	29.0
14	20.9	317	324	7	34.3	54	71.2	812	829	17	11.2	94	109.2	181	185	4	69.4
15	21.5	324	330	6	41.6	55	72.4	829	841	12	17.4	95	109.4	185	187	2	166.2
16	22.5	330	340	10	21.9	56	73.3	841	850	9	25.0	96	109.8	187	191	4	69.4
17	23.0	340	345	5	52.4	57	74.5	850	862	12	17.4	97	110.3	191	196	5	52.4
18	23.9	345	354	9	25.0	58	75.3	862	870	8	29.0	98	110.7	196	200	4	69.4
19	24.5	354	360	6	41.6	59	75.7	51	55	4	69.4	99	110.8	200	201	1	398.1
20	25.1	362	368	6	41.6	60	76.4	55	62	7	34.3	100	111.2	201	205	4	69.4
21	26.1	368	378	10	21.9	61	77.1	62	69	7	34.3	101	111.5	205	208	3	99.7
22	26.8	378	385	7	34.3	62	78.7	69	85	16	12.1	102	111.7	208	210	2	166.2
23	27.1	385	388	3	99.7	63	80.3	85	101	16	12.1	103	111.8	210	211	1	398.1
24	28.5	388	402	14	14.3	64	82.0	101	118	17	11.2	104	112.2	211	215	4	69.4
25	29.4	402	411	9	25.0	65	83.4	118	132	14	14.3	105	112.8	215	221	6	41.6
26	30.3	411	420	9	25.0	66	84.2	132	140	8	29.0	106	113.3	221	226	5	52.4
27	31.4	420	431	11	19.4	67	85.2	140	150	10	21.9	107	113.6	226	229	3	99.7
28	32.5	431	442	11	19.4	68	86.4	150	162	12	17.4	108	113.8	229	231	2	166.2
29	33.5	442	452	10	21.9	69	87.2	162	170	8	29.0	109	114.2	231	235	4	69.4
30	34.8	452	465	13	15.7	70	88.6	170	184	14	14.3	110	114.6	235	239	4	69.4
31	35.7	465	474	9	25.0	71	90.7	184	205	21	8.6	111	114.7	239	240	1	398.1
32	37.0	474	487	13	15.7	72	91.2	0	5	5	52.4	112	115.2	240	245	5	52.4
33	38.4	487	501	14	14.3	73	94.2	5	35	30	5.5	113	115.7	245	250	5	52.4
34	39.5	501	512	11	19.4	74	95.5	35	48	13	15.7	114	115.8	250	251	1	398.1
35	40.8	512	525	13	15.7	75	96.7	48	60	12	17.4	115	116.0	251	253	2	166.2
36	41.9	525	536	11	19.4	76	98.2	60	75	15	13.1	116	116.6	253	259	6	41.6
37	42.8	536	545	9	25.0	77	99.7	75	90	15	13.1	117	117.0	259	263	4	69.4
38	44.0	545	557	12	17.4	78	100.7	90	100	10	21.9	118	117.6	263	269	6	41.6
39	45.3	557	570	13	15.7	79	102.6	100	119	19	9.7	119	118.0	269	273	4	69.4
40	45.9	570	576	6	41.6	80	104.0	119	133	14	14.3	120	118.7	273	280	7	34.3

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores sobre 25 mm/golpes entre 2 y 16 cm de profundidad. Valores que se relacionan con una compacidad baja. Seguido de esto los valores del numero D tienden a disminuir sobre todo entre los 17 y 30 cm y luego entre 96 y 120 cm de profundidad, valores que son concordantes con suelos de compacidad media. Sin embargo entre los 30 cm y los 120 cm de profundidad hay oscilaciones de los valores del numero D, los cuales fluctúan entre 5 y 25 mm/golpes. Estos valores están vinculados con suelos de consistencia media-baja.

25.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego San Juan de la Trinidad se encuentra dentro de la comuna de Marchigüe (al nororiente de dicha localidad), provincia del Cardenal Caro, VI región.

Se puede llegar a este embalse ingresando a la localidad Población (por la ruta 90) y tomando la ruta I-214 en dirección norte. Manteniéndose en ella, el embalse Trinidad se encuentra unos 3km después del cambio de dirección brusca que tiene esta ruta en dirección a la costa.

Al inspeccionar la superficie aguas abajo del muro, se observa un terreno fundamentalmente plano con zonas en depresión y una pequeña pendiente a favor de las aguas con pendiente media estimada de 6,3‰ con dirección sur-poniente.

Al unir los puntos bajos que generan el eje longitudinal de dicha pendiente, el trazado coincide con una canalización de 0,634km, medida entre los pies del embalse y su cruce con un camino rural bajo el cual descarga a un estero.

El tipo de terreno que rodea al cauce descrito corresponde a superficie agrícola y de secano, según se puede apreciar en las fotografías satelitales.

En lo referente a zonas habitadas en las cercanías del cauce aguas abajo, sólo se aprecian algunas viviendas al punto en que la canalización comentada cruza el camino rural y descarga al estero (esto es, las viviendas se encuentran a 90m del eje del cauce, medidos perpendicularmente a éste).

La densidad poblacional aguas abajo del embalse es baja.

En cuanto a infraestructura vial u otra de importancia aguas abajo del embalse, no se aprecia ninguna que se encuentre dentro del área estimada de inundación, ya que la ruta I-214 se encontraría resguardada por el efecto amortiguador del estero al que el cauce descarga.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra el embalse en su contexto de aguas abajo.

Caracterización del cauce y uso de suelos aguas abajo – Embalse Trinidad

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Trinidad:

CUADRO 25-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE TRINIDAD

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Trinidad	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Canalización artificial en valle agrícola	---
	Tipo de Terreno	Agrícola	---
	Pendiente Media	0,0063	m/m
	Ancho medio	10	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	1	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,09	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	1,5	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

25.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Trinidad	3,425	2,570	361	136	225

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,351	0,420	1,067	0,709

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 25-2 siguiente.

CUADRO 25-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m^3/s)	V-K MOD (m^3/s)	RAC. MOD. (m^3/s)	RACIONAL (m^3/s)	HUS (m^3/s)	ADOPTADO (m^3/s)	MAX (m^3/s)
20 Embalse Trinidad	2	0,71	1,33	1,74	2,69	-	2,69	2,69
	5	1,23	2,56	3,13	4,18	-	4,18	4,18
	10	1,66	3,64	4,28	5,25	-	5,25	5,25
	20	2,13	4,88	5,58	6,73	-	6,73	6,73
	25	2,29	5,29	6,01	7,02	-	7,02	7,02
	50	2,84	6,73	7,43	8,46	-	8,46	8,46
	100	3,46	8,81	9,52	10,22	-	10,22	10,22
	250	3,97	9,90	10,74	11,61	-	11,61	11,61
	500	4,45	11,19	12,08	12,93	-	12,93	12,93
	1000	4,93	12,48	13,43	14,25	-	14,25	14,25

25.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Trinidad fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Trinidad	Arena limosa	28	0,10	1,85	5	24	21	3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.68
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.31
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.42

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.46
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.75

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

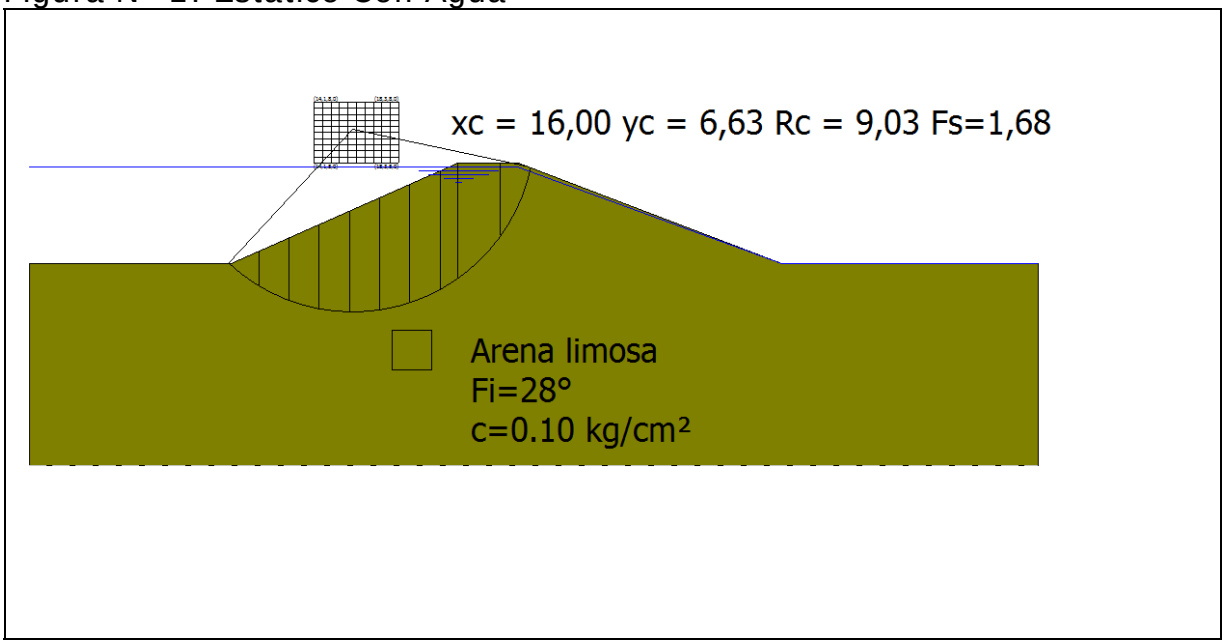


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

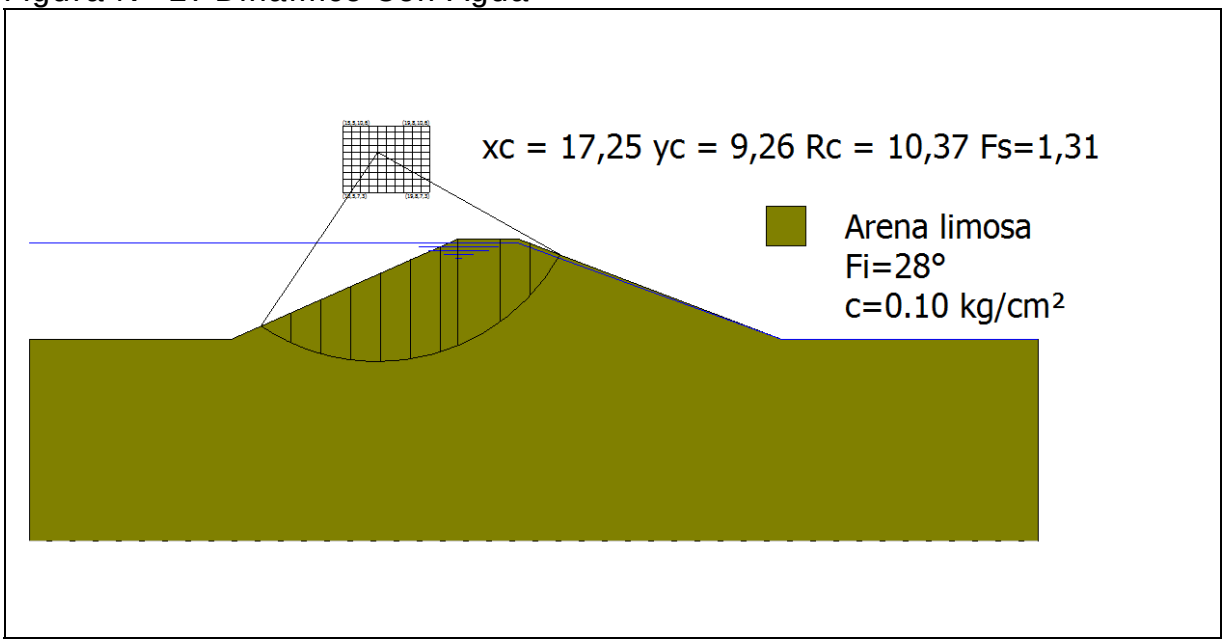
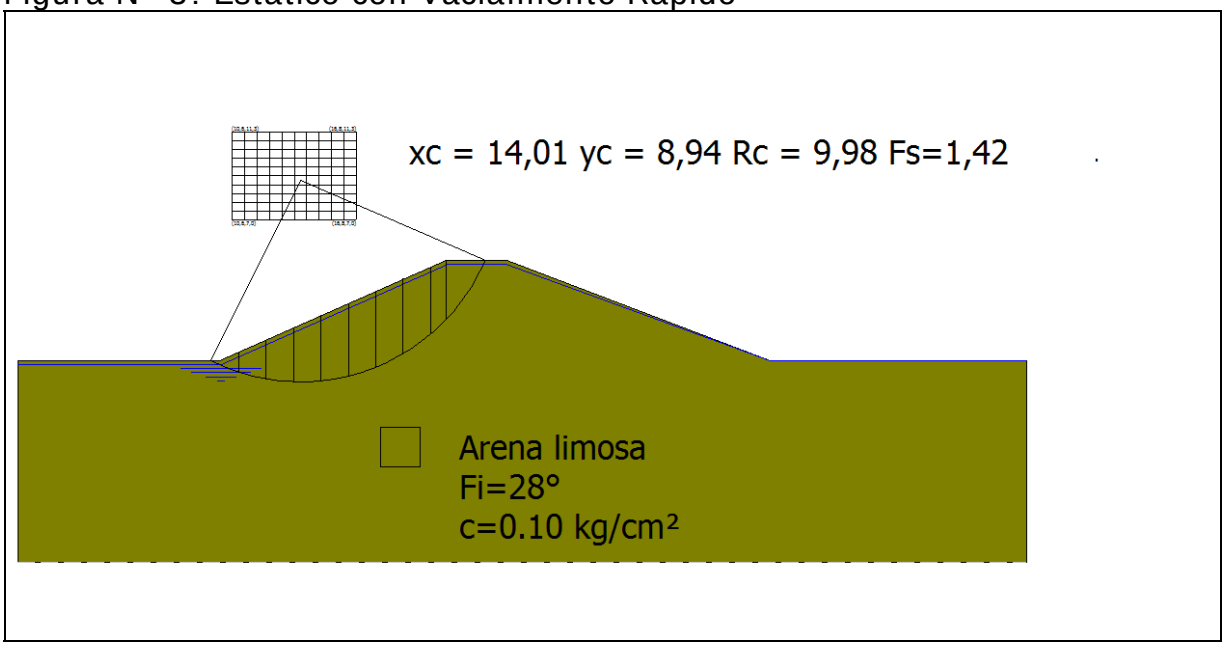


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

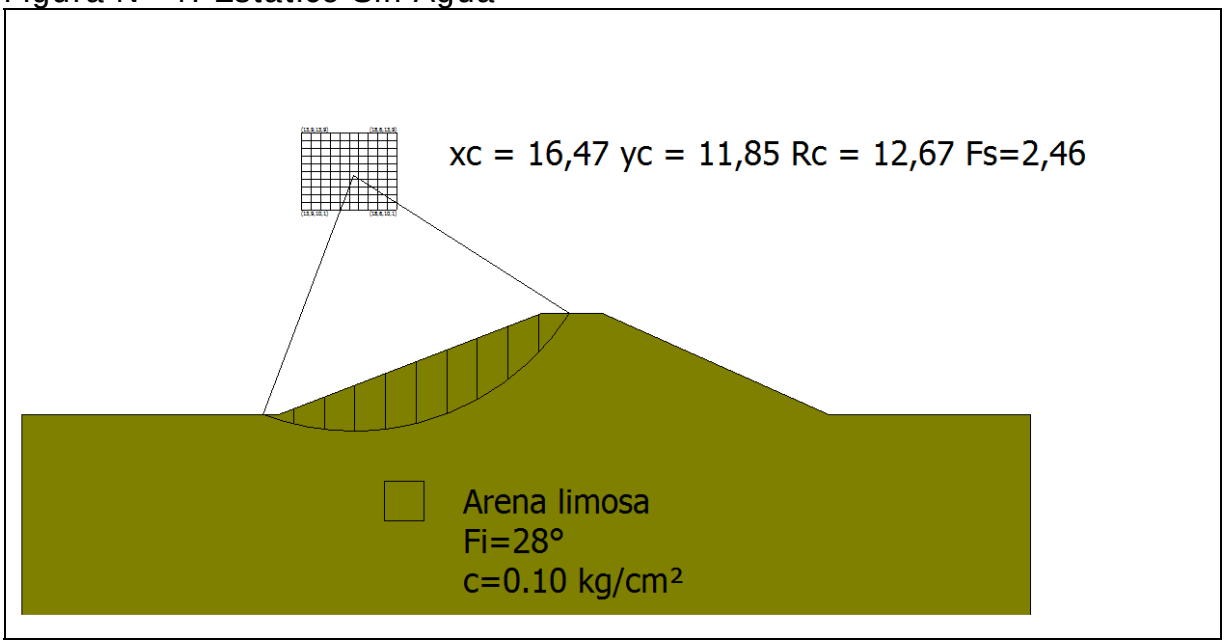
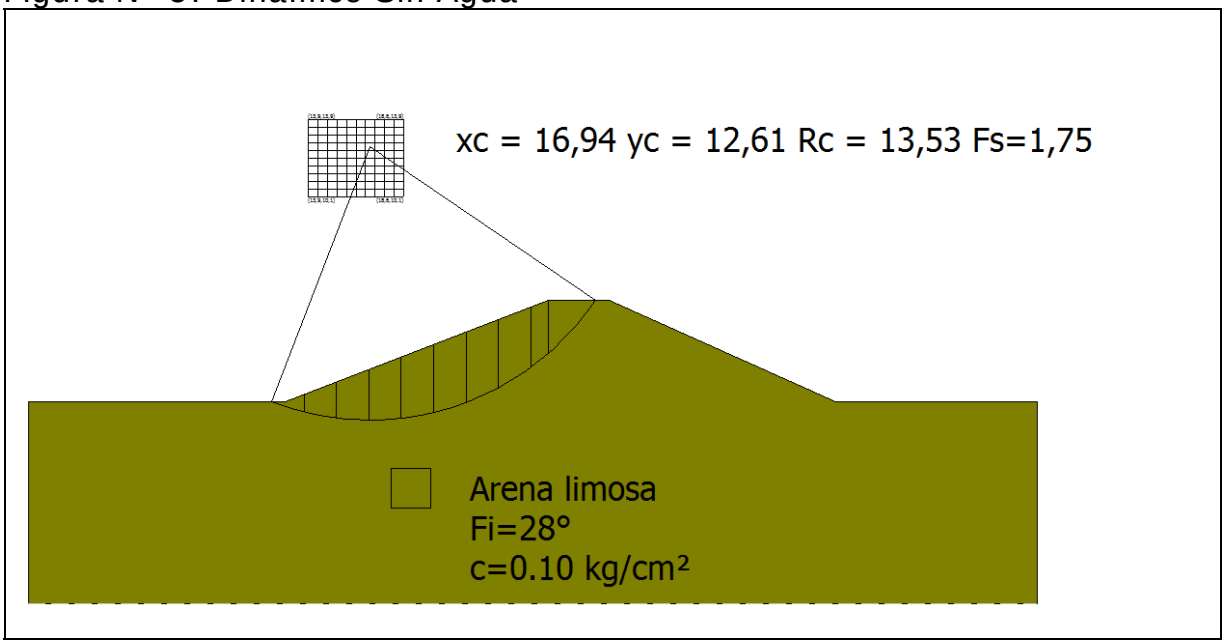


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) De lo observado en la visita, es posible establecer que el tranque Trinidad se reconstruyó completamente hace unos meses. Se desconoce el proyecto de reconstrucción, sin embargo se aprecia un diseño conservador, no observándose grietas ni fallas, aunque el tiempo que lleva en uso es muy corto para establecer conclusiones.

ii) Para el nivel de aguas existente durante la visita (embalse lleno y vertiendo), y aunque se dispuso un revestimiento con geomembrana por el talud de aguas arriba, se observaron abundantes filtraciones en el talud de aguas abajo, a cotas levemente más bajas que el nivel del agua en el embalse. Lo anterior hace presumir que, o bien la geomembrana quedó mal colocada o se han producido roturas en ella.

iii) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

iv) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede afirmar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Para el caso estático con vaciado rápido, el valor obtenido es menor al mínimo habitualmente aceptado.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

v) El embalse Trinidad se aprecia en buenas condiciones, salvo por algunas las filtraciones en el talud de aguas abajo. De la

revisión del proyecto de reparación, se puede señalar que este cumple en general con todos los requisitos técnicos típicos para este tipo de proyectos, salvo que no se encontró el análisis y cálculo de las posibles filtraciones.

25.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 25-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Trinidad *	Arenas Limosas	27,3	0	9,1	6	5,0	30,0	Si

* Embalse con Geomembrana en talud de aguas arriba. No debería tener Filtraciones

25.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 25-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Trinidad	Lateral	Canal de hormigón		0,3	0,6	4	0,002	0,016				**1,37**

25.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Trinidad, VI R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0.6
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 1,37 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

1. Capacidad Efectiva= 0,96 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	11,61	0,95
0,002 (T= 500 años)	12,93	
0,001 (T= 1.000 años)	14,25	

Como la capacidad efectiva es de 0,96 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,5.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,5 (T= 250 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,5
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,5 x 0,95 x 1,0= 47,5 %

26. EMBALSE LAS LOMAS

26.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Las Lomas.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Las Lomas	Nº de ficha	21
Propietario	Agopecuaria Comercial e Industrial Los Cedros S.A.	Fecha (dd/mm/año)	1/10/2014; 12:00 hrs.
	Avda. Kennedy 5146, Piso 2		
	Vitacura, Santiago		
	Ad. Edmundo Allen, 85045030		
Año de construcción	1988-1990	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	
Año de reparación	2010	Altura del muro > 5 m	12m
Cuenca / Código DGA	Río Mataquito/071		
Subcuenca / Código DGA	Río Mataquito/0712		
Fuente del recurso	Afuentes naturales		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Maule	
Provincia	Curico	
Comuna	Sagrada Familia	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 6.105.038	E= 262.407
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84 Huso 19	
Altitud	88 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	313 m
Ancho del coronamiento	4 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	13 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apeciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	24 °
Ángulo talud de aguas arriba	24 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	5,30
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	210.000
Ancho máximo de la poza (m)	429
Largo de la poza (m)	683
Volumen declarado o proyectado (m3)	567.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Aposada al pie, no escurre
Tipo de revestimiento del muro	No

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
"x" indica localización y estructura del vertedero			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	Operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Ver monografía

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Tubo desde el embalse que pasa bajo el muro, cuyas aguas son reguladas con válvula al pie del muro
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	Operativa

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

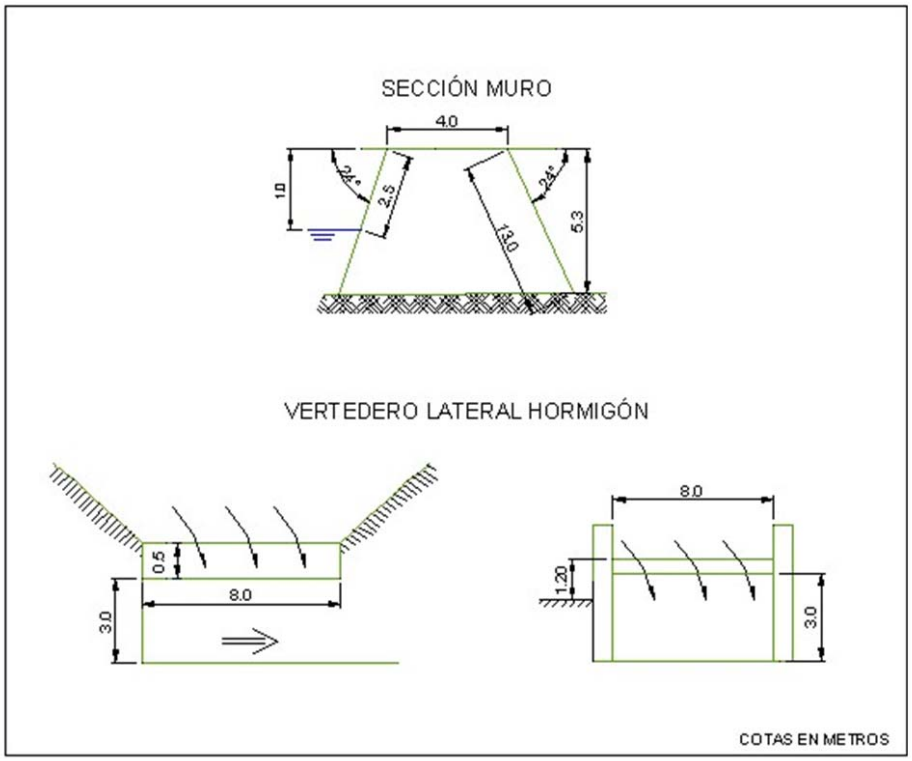
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	canalizacón evacuador de crecidas, valle agrícola, pendiente 0,003, ancho medio 2 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	100 m
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media
Distancia hacia zonas agrícolas	Sledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	No hay
Área de riego servida por el tranque analizado	S/I

11. OBSERVACIONES

Embalse bien reparado

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE LAS LOMAS N° 21



EMBALSE LAS LOMAS (21)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

VERTEDERO

CÁMARA CON VÁLVULA ENTREGA PARA RIEGO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

26.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Las Lomas, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café claro. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta en estado natural.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, limos arenosos de color café claro. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

De lo observado en la visita efectuada es posible concluir, que el muro del embalse Las Lomas, se debió rehacer en todo el sector colapsado. Esto corresponde prácticamente al 75% de la longitud total del muro. Según informó el administrador del embalse, sólo se conservaron los tramos iniciales y finales de este. El resto del muro se reconstruyó completamente, con material traído del entorno del embalse. El material se colocó en capas compactadas.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de aguas existente (embalse al 90% de su capacidad máxima), se observaron algunas pozas de agua cercanas al pie del talud de aguas abajo.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total de los muro 250 m; ancho de coronamiento 4 m; inclinación talud aguas arriba 24°; altura hasta el nivel de agua 1 m; inclinación talud aguas abajo 24°; altura máxima talud aguas abajo 5.3 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

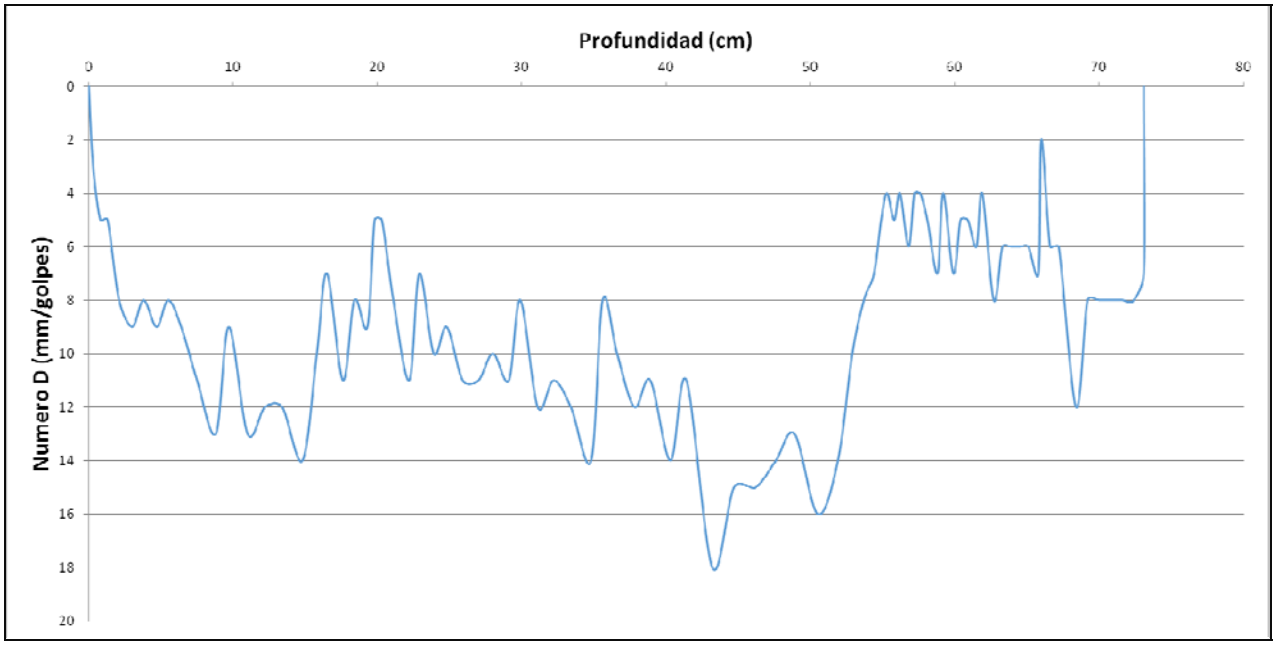
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Las Lomas

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	0.3	111	114	3	99.7	41	38.9	489	500	11	19.4	81	70.8	803	811	8	29.0
2	0.8	114	119	5	52.4	42	40.3	500	514	14	14.3	82	71.6	811	819	8	29.0
3	1.3	119	124	5	52.4	43	41.4	514	525	11	19.4	83	72.4	819	827	8	29.0
4	2.1	124	132	8	29.0	44	43.2	525	543	18	10.4	84	73.1	827	834	7	34.3
5	3.0	132	141	9	25.0	45	44.7	543	558	15	13.1	85	73.1	834	0	0	0.0
6	3.8	141	149	8	29.0	46	46.2	558	573	15	13.1						
7	4.7	149	158	9	25.0	47	47.6	573	587	14	14.3						
8	5.5	158	166	8	29.0	48	48.9	587	600	13	15.7						
9	6.4	166	175	9	25.0	49	50.5	600	616	16	12.1						
10	7.5	175	186	11	19.4	50	51.9	616	630	14	14.3						
11	8.8	186	199	13	15.7	51	52.9	630	640	10	21.9						
12	9.7	199	208	9	25.0	52	53.7	640	648	8	29.0						
13	11.0	208	221	13	15.7	53	54.4	648	655	7	34.3						
14	12.2	221	233	12	17.4	54	54.9	655	660	5	52.4						
15	13.4	233	245	12	17.4	55	55.3	660	664	4	69.4						
16	14.8	245	259	14	14.3	56	55.8	664	669	5	52.4						
17	15.8	259	269	10	21.9	57	56.2	669	673	4	69.4						
18	16.5	269	276	7	34.3	58	56.8	673	679	6	41.6						
19	17.6	276	287	11	19.4	59	57.2	679	683	4	69.4						
20	18.4	287	295	8	29.0	60	57.6	683	687	4	69.4						
21	19.3	295	304	9	25.0	61	58.1	687	692	5	52.4						
22	19.8	304	309	5	52.4	62	58.8	692	699	7	34.3						
23	20.3	309	314	5	52.4	63	59.2	699	703	4	69.4						
24	21.1	314	322	8	29.0	64	59.9	703	710	7	34.3						
25	22.2	322	333	11	19.4	65	60.4	710	715	5	52.4						
26	22.9	333	340	7	34.3	66	60.9	715	720	5	52.4						
27	23.9	340	350	10	21.9	67	61.5	720	726	6	41.6						
28	24.8	350	359	9	25.0	68	61.9	726	730	4	69.4						
29	25.9	359	370	11	19.4	69	62.7	730	738	8	29.0						
30	27.0	370	381	11	19.4	70	63.3	738	744	6	41.6						
31	28.0	381	391	10	21.9	71	63.9	744	750	6	41.6						
32	29.1	391	402	11	19.4	72	64.5	750	756	6	41.6						
33	29.9	402	410	8	29.0	73	65.1	756	762	6	41.6						
34	31.1	410	422	12	17.4	74	65.8	762	769	7	34.3						
35	32.2	422	433	11	19.4	75	66.0	769	771	2	166.2						
36	33.4	433	445	12	17.4	76	66.6	771	777	6	41.6						
37	34.8	445	459	14	14.3	77	67.2	777	783	6	41.6						
38	35.6	459	467	8	29.0	78	68.4	783	795	12	17.4						
39	36.6	467	477	10	21.9	79	69.2	795	803	8	29.0						
40	37.8	477	489	12	17.4	80	70.0	803	811	8	29.0						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Número D) presenta valores sobre 6 mm/golpes en su gran mayoría, llegando en algunos casos a valores sobre 12 mm/golpes. Estos valores del número D se relacionan con suelos de compacidad media. Sin embargo, aproximadamente a los 53 cm de profundidad los valores del número D tienden a disminuir a valores entre 3 y 5 mm/golpes. Estos valores coinciden con suelo de consistencia alta.

26.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Embalse de riego ubicado en la comuna de Sagrada Familia, provincia de Curicó, Región del Maule. Se puede llegar a él desde la ruta 5 Sur accediendo a la ruta K-16 (pasado Curicó) hacia la costa. Continuando en ella hasta el cruce con la ruta K-40, se toma ésta en dirección sur; al llegar al cruce con la ruta K-360, tomar esta en dirección sur-poniente.

Al analizar la superficie de aguas abajo, el cauce principal coincide con la canalización artificial a la que descarga el evacuador de crecidas del embalse, canalización que se desarrolla entre suelo cultivado y de secano.

Sólo en torno a la canalización del cauce se aprecia una densidad arbustiva tipo semi-boscosa, limitada fundamentalmente a las riberas.

La pendiente media del cauce en cuestión es de un 2,7‰, con una longitud de 1,1km, medida entre el fin del canal de salida del evacuador y la descarga del cauce en un canal mayor.

En las proximidades del cauce, a una distancia de 110m, perpendicular a su eje, se observa una instalación industrial importante (baja a media densidad poblacional).

No se detecta infraestructura adicional importante (vial u otra) en el área de inundación ni zonas habitadas que pudieran verse afectadas ante una eventual falla del muro.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse respecto de su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Las Lomas

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Las Lomas:

CUADRO 261
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE LAS LOMAS

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Las Lomas	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Canalización artificial en medio de valle agrícola (descarga evacuador de crecidas)	---
	Tipo de Terreno	Valle de cultivos y secano / baja densidad vegetal	---
	Pendiente Media	0,0027	m/m
	Ancho medio	2	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,11	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	No hay	---
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse (*)	Media	---

(*) Se considera la población presente en la instalación industrial aguas abajo del embalse.

26.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Las Lomas	1,789	2,451	272	93	179

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,363	0,391	1,012	0,688

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 26-2 siguiente.

CUADRO 26-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m^3/s)	V-K MOD (m^3/s)	RAC. MOD. (m^3/s)	RACIONAL (m^3/s)	HUS (m^3/s)	ADOPTADO (m^3/s)	MAX (m^3/s)
21 Embalse Las Lomas	**2**	0,59	0,84	1,64	1,70	-	1,70	1,70
	5	0,95	1,36	2,46	2,42	-	2,42	2,46
	10	1,19	1,75	3,05	2,97	-	2,97	3,05
	20	1,41	2,13	3,59	3,71	-	3,71	3,71
	25	1,48	2,25	3,76	3,84	-	3,84	3,84
	50	1,70	2,60	4,22	4,57	-	4,57	4,57
	100	1,92	2,95	4,68	5,44	-	5,44	5,44
	250	2,25	3,47	5,49	6,13	-	6,13	6,13
	500	2,48	3,85	6,03	6,79	-	6,79	6,79
	1000	2,71	4,22	6,57	7,45	-	7,45	7,45

26.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Las Lomas:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Las Lomas	Limo arenoso	28	0,10	1,80	5,3	24	24	4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.11
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.60
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	2.19

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.22
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.63

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

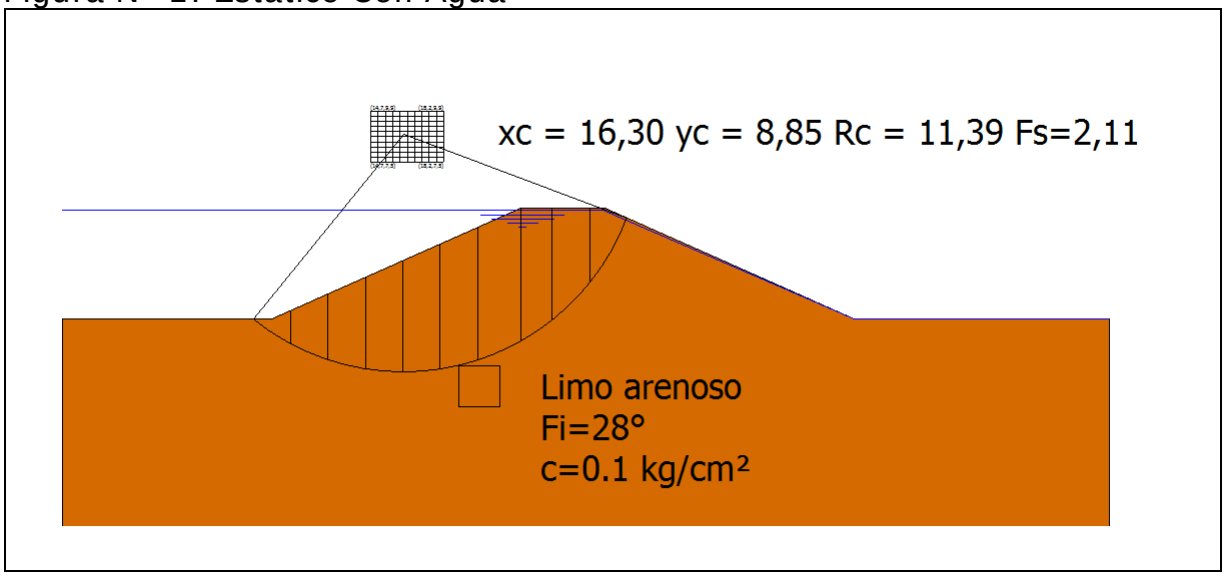


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

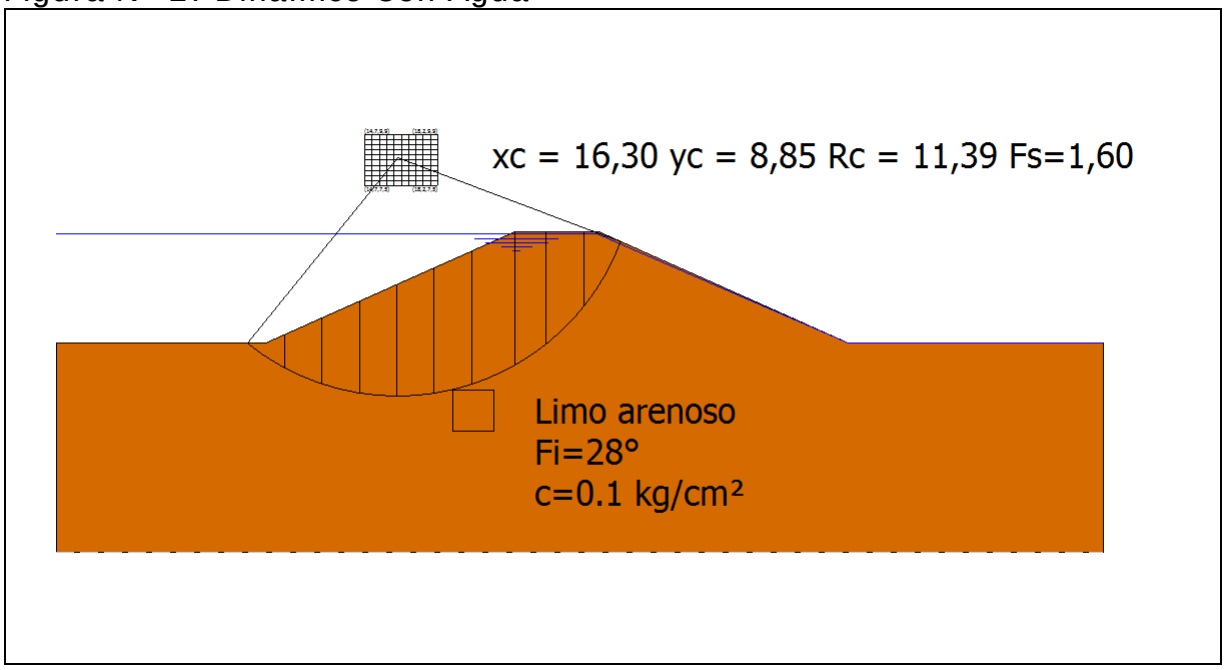
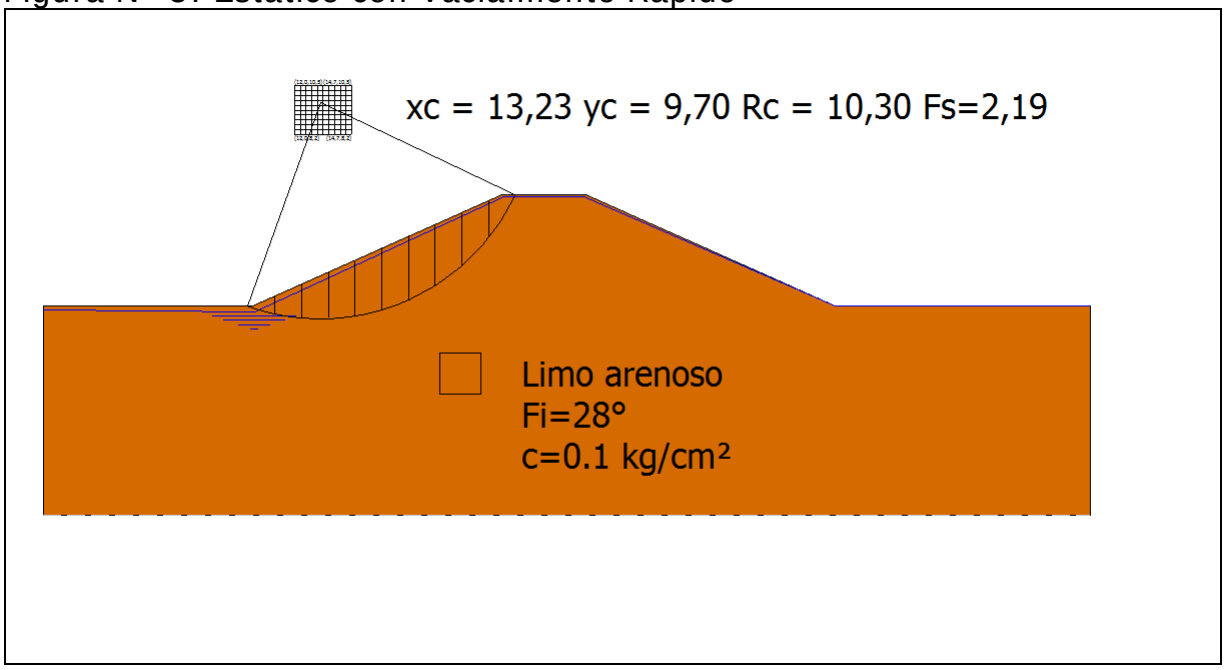


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

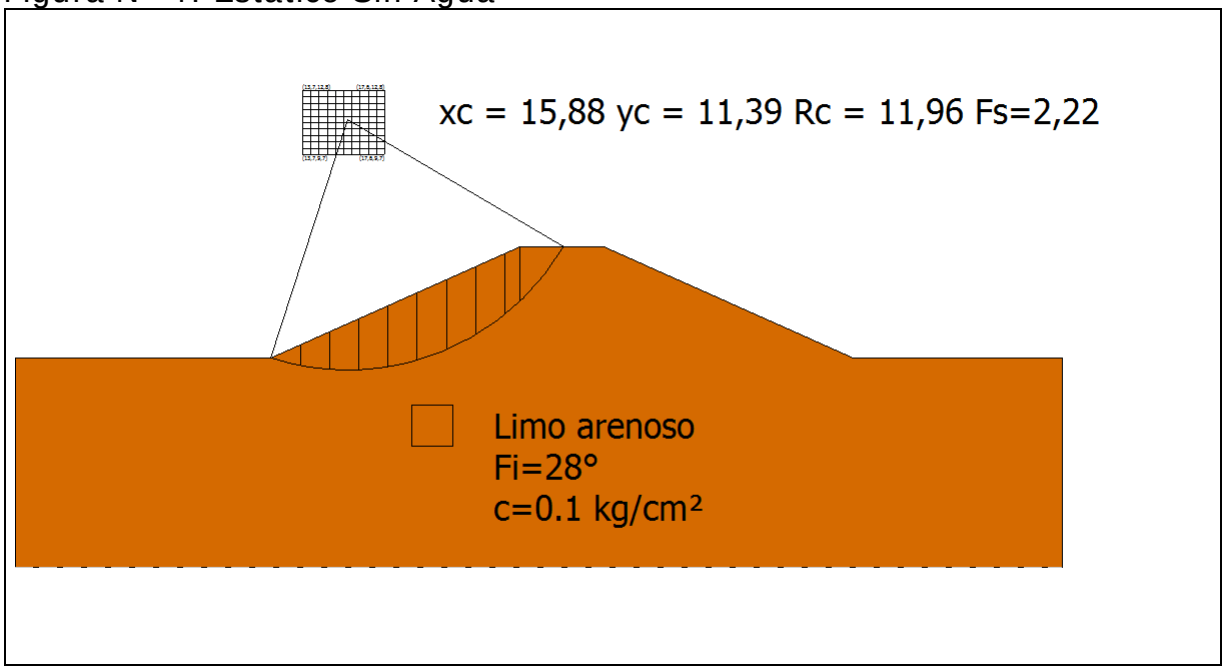
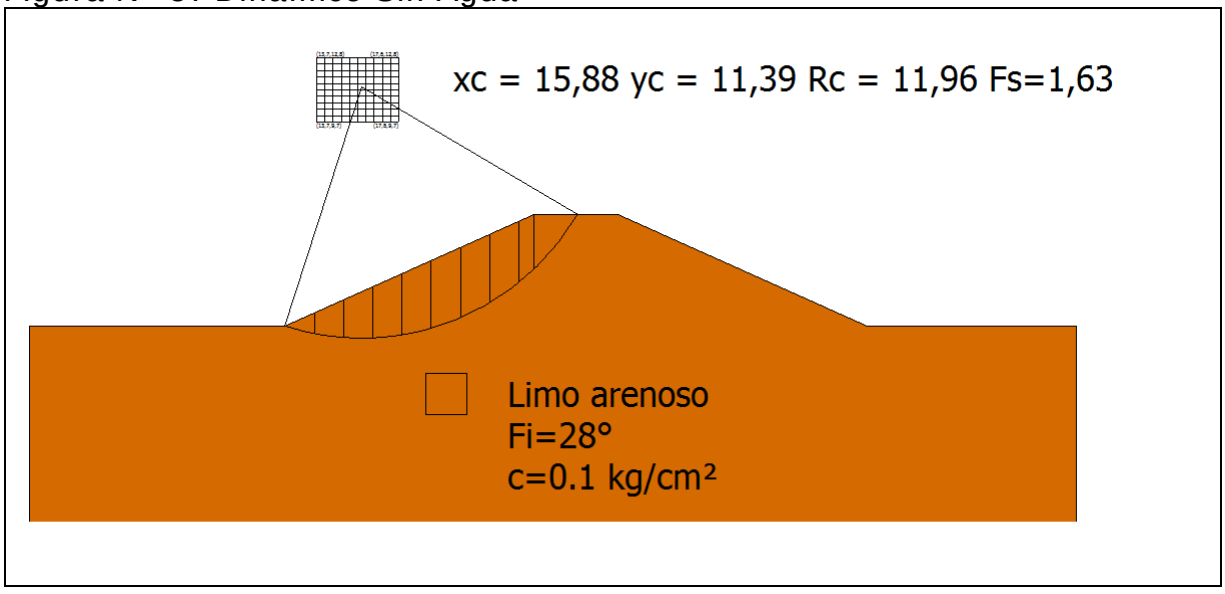


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) De lo observado en la visita efectuada es posible concluir que el muro del embalse Las Lomas se debió rehacer en todo el sector colapsado. Esto corresponde prácticamente al 75% de la longitud total del muro.

ii) Según informó el administrador del embalse, sólo se conservaron los tramos iniciales y finales de este. El resto del muro se reconstruyó completamente, con material traído del entorno del embalse. El material se colocó en capas compactadas.

iii) Para el nivel de aguas existente (embalse al 90% de su capacidad máxima), se observaron algunas pozas de agua cercanas al pie del talud de aguas abajo

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados.

vi) El embalse Las Lomas se aprecia en buenas condiciones.

vii) Se ha procedido a revisar el proyecto de mejoramiento efectuado por el Ingeniero Civil Agrícola don Patricio Cordero Núñez. Este proyecto fue presentado a la Comisión Nacional de Riego a través de la Ley 18.450, como parte de un concurso especial de emergencia para la rehabilitación de embalses

afectados por el terremoto 27-F-2010. Hecha la revisión al proyecto de reparación, se puede señalar, que desde el punto de vista geotécnico, el proyecto efectuado tiene deficiencias graves en el análisis de la estabilidad de taludes. No hace un análisis geotécnico de las propiedades de los materiales, tanto de los rellenos como de la fundación. Tampoco presenta cálculo en la determinación de filtraciones.

26.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 26-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Las Lomas	Limos Arenosos	27,9	0	9,3	6	5,3	3,8	Si

26.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 26-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Las Lomas	Lateral	Hormigón, pared gruesa	8	0,5	3							**8,89**

26.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Las Lomas, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 8,89 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 6,22 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	6,13	0,05
0,002 (T= 500 años)	6,79	
0,001 (T= 1.000 años)	7,45	

Nota: Embalse Tipo A (T= 250 años)

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1,0
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,004 (T= 250 años)

Así, se escoge al sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente a la Sismo= 0,05
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,03 x 0,05 x 1,0= 0,15%

27. EMBALSE LA ESTANCIA

27.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse La Estancia.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	LA ESTANCIA		Nº de ficha	22
Propietario	Concha y Toro		Fecha (dd/mm/año)	10/9/2014; 15:50 hrs
	Avda. Nueva Tajamar 481			
	Torre Norte, Piso 15			
Año de construcción	S/I		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO			
Año de reparación				
Cuenca / Código DGA	Río Mataquito/071		Capacidad > 50.000 m3	si
Subcuenca / Código DGA	Río Teno/0710		Altura del muro > 5 m	si
Fuente del recurso				

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VII
Provincia	CURICÓ
Comuna	RAUCO
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	N: 6.138.472; E: 285.450
Coordenadas UTM Izq	
Datum	WGS 84 / Huso 19
Altitud	223 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	380 m
Ancho del coronamiento	2 a 3 m
Desarrollo del talud aguas abajo	30 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas	no apreciable
Paramentos verticales	por lado aguas abajo
Ángulo talud de aguas abajo	27°
Ángulo talud de aguas arriba	27°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	14
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m)	180.000
Ancho máximo de la poza (m)	400
Largo de la poza (m)	600
Volumen declarado o proyectado (m3)	1.760.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B.ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	media
Compacidad del material estructural	media a alta
Uniformidad de los taludes	regular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación	no se aprecian
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	al pie
Tipo de revestimiento del muro	enrocado en talud de aguas arriba

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Lateral
Material constructivo	Hormigón armado
Estado de conservación y operatividad	bueno
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	L= 68 m; altura de caída 7 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Válvula de forndo con torre de control
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativo

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

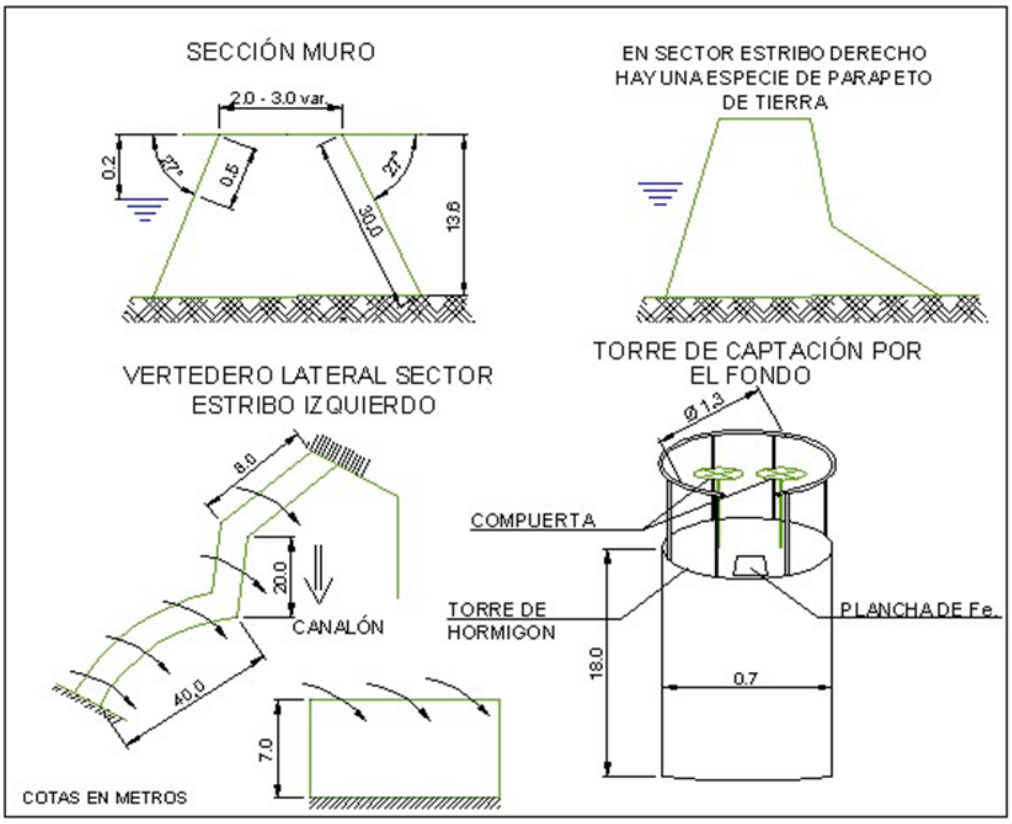
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	quebrada natural, i= 0,0046; 6 m en promedio
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	no hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,53 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	2,4 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse en regular estado de conservación
No reparado

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE LA ESTANCIA N° 22



EMBALSE LA ESTANCIA (22)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

OBRA DE ENTREGA

VERTEDERO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

27.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse La Estancia, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden roca, en el estribo izquierdo y a arcillas limo arenosas, de color café en la fundación y estribo derecho. Son suelos de plasticidad media, permeabilidad media y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arcillas limo arenosas de color café. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es media.

El muro del embalse La Estancia sufrió bastantes daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en grietas longitudinales en el coronamiento del muro. De lo observado en la visita, es posible establecer, aunque sin certeza, que el muro del embalse no fue reparado luego del terremoto. Sin embargo, las grietas que se observaron en aquella oportunidad ya no son visibles, por lo que se presume que se taparon naturalmente, con materiales finos durante las lluvias de los años pasados.

Al momento de la visita el embalse se encontraba lleno, sin embargo fue imposible determinar la existencia de filtraciones en el muro debido a la abundante vegetación.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total del muro 360 m; ancho de coronamiento variable de 2 a 3 m; inclinación talud aguas arriba 27°; Altura hasta el nivel de agua 0.5 m; inclinación talud aguas abajo 27°; altura máxima talud aguas abajo 14 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

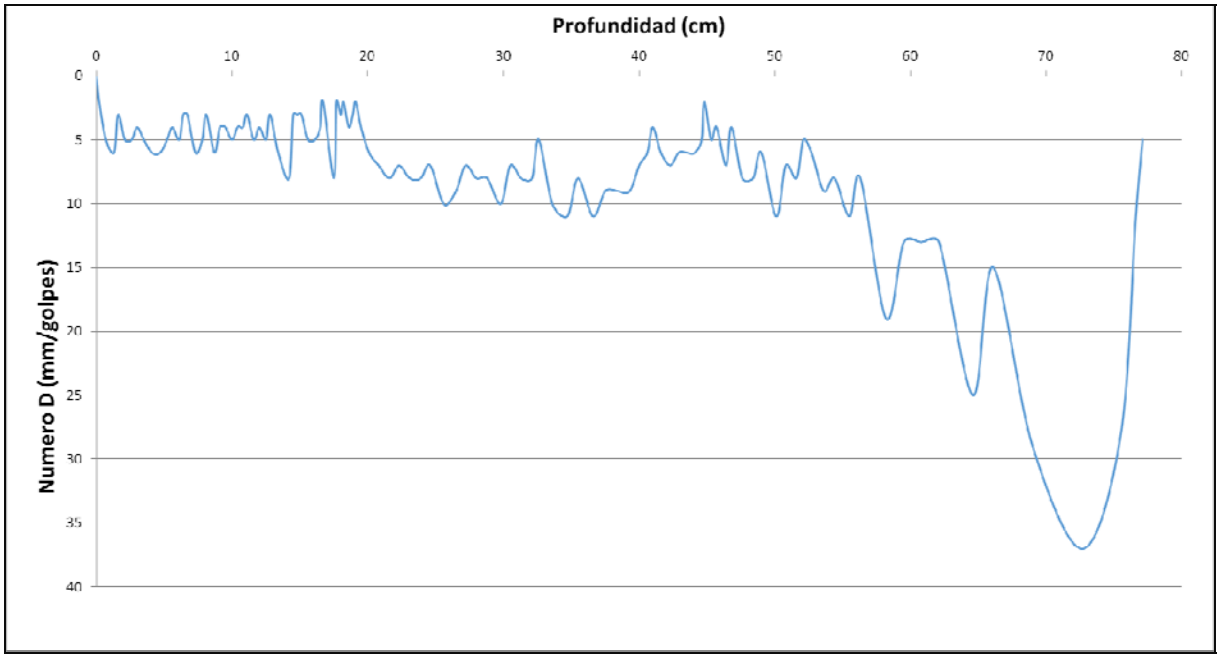
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse La Estancia

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Vel de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	0.2	104	106	2	166.2	41	18.0	281	284	3	99.7	81	45.3	552	557	5	52.4
2	0.7	106	111	5	52.4	42	18.2	284	286	2	166.2	82	45.7	557	561	4	69.4
3	1.3	111	117	6	41.6	43	18.6	286	290	4	69.4	83	46.4	561	568	7	34.3
4	1.6	117	120	3	99.7	44	18.9	290	293	3	99.7	84	46.8	568	572	4	69.4
5	2.1	120	125	5	52.4	45	19.1	293	295	2	166.2	85	47.6	572	580	8	29.0
6	2.6	125	130	5	52.4	46	19.5	295	299	4	69.4	86	48.4	580	588	8	29.0
7	3.0	130	134	4	69.4	47	20.1	299	305	6	41.6	87	49.0	588	594	6	41.6
8	3.5	134	139	5	52.4	48	20.8	305	312	7	34.3	88	50.1	594	605	11	19.4
9	4.1	139	145	6	41.6	49	21.6	312	320	8	29.0	89	50.8	605	612	7	34.3
10	4.7	145	151	6	41.6	50	22.3	320	327	7	34.3	90	51.6	612	620	8	29.0
11	5.2	151	156	5	52.4	51	23.1	327	335	8	29.0	91	52.1	620	625	5	52.4
12	5.6	156	160	4	69.4	52	23.9	335	343	8	29.0	92	52.7	625	631	6	41.6
13	6.1	160	165	5	52.4	53	24.6	343	350	7	34.3	93	53.6	631	640	9	25.0
14	6.4	165	168	3	99.7	54	25.6	350	360	10	21.9	94	54.4	640	648	8	29.0
15	6.7	168	171	3	99.7	55	26.5	360	369	9	25.0	95	55.5	648	659	11	19.4
16	7.3	171	177	6	41.6	56	27.2	369	376	7	34.3	96	56.3	659	667	8	29.0
17	7.8	177	182	5	52.4	57	28.0	376	384	8	29.0	97	58.2	667	686	19	9.7
18	8.1	182	185	3	99.7	58	28.8	384	392	8	29.0	98	59.5	686	699	13	15.7
19	8.7	185	191	6	41.6	59	29.8	392	402	10	21.9	99	60.8	699	712	13	15.7
20	9.1	191	195	4	69.4	60	30.5	402	409	7	34.3	100	62.1	712	725	13	15.7
21	9.5	195	199	4	69.4	61	31.3	409	417	8	29.0	101	64.6	725	750	25	6.9
22	10.0	199	204	5	52.4	62	32.1	417	425	8	29.0	102	66.1	750	765	15	13.1
23	10.4	204	208	4	69.4	63	32.6	425	430	5	52.4	103	69.0	765	794	29	5.7
24	10.8	208	212	4	69.4	64	33.6	430	440	10	21.9	104	72.7	794	831	37	4.2
25	11.1	212	215	3	99.7	65	34.7	440	451	11	19.4	105	75.5	831	859	28	6.0
26	11.6	215	220	5	52.4	66	35.5	451	459	8	29.0	106	76.6	859	870	11	19.4
27	12.0	220	224	4	69.4	67	36.6	459	470	11	19.4	107	77.1	870	875	5	52.4
28	12.5	224	229	5	52.4	68	37.5	470	479	9	25.0	108	77.1	875	0	0	0.0
29	12.8	229	232	3	99.7	69	38.4	479	488	9	25.0						
30	13.4	232	238	6	41.6	70	39.3	488	497	9	25.0						
31	14.2	238	246	8	29.0	71	40.0	497	504	7	34.3						
32	14.5	246	249	3	99.7	72	40.6	504	510	6	41.6						
33	14.8	249	252	3	99.7	73	41.0	510	514	4	69.4						
34	15.1	252	255	3	99.7	74	41.6	514	520	6	41.6						
35	15.6	255	260	5	52.4	75	42.3	520	527	7	34.3						
36	16.1	260	265	5	52.4	76	42.9	527	533	6	41.6						
37	16.5	265	269	4	69.4	77	43.5	533	539	6	41.6						
38	16.7	269	271	2	166.2	78	44.1	539	545	6	41.6						
39	17.5	271	279	8	29.0	79	44.6	545	550	5	52.4						
40	17.7	279	281	2	166.2	80	44.8	550	552	2	166.2						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores menores a 10 mm/golpes, hasta aproximadamente los 55 cm de profundidad. Valores que están relacionados con suelo de compacidad media-alta. A partir de los 55 cm de profundidad el suelo adquiere valores mayores a 10 mm/golpe, llegando incluso a sobrepasar los 30 mm/golpes. Estos valores concuerdan con suelos de compacidad media.

Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el muro, para las profundidades analizadas, presenta una compacidad media. Los índices de penetración son variables entre 1 y 46 mm/golpe.

27.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Embalse de riego ubicado en la comuna de Rauco, provincia de Curicó, Región del Maule; se llega a él entrando a la ruta J-40 desde la ruta 5 (acceso Teno Sur, dirección costa). Al llegar al cruce con la ruta J-460, se toma ésta en dirección al sur, continuando en ella hasta el cruce con la ruta J-448, la que debe tomarse hasta el empalme con la ruta J-470, que lleva directo al embalse La estancia.

El cauce aguas abajo del muro coincide en su eje con el trazado de la canalización de descarga del evacuador de crecidas, canalización rodeada por suelos de uso agrícola de baja inclinación (valle encajonado) que descarga en su punto de término al canal matriz.

El cauce asociado tiene una pendiente media del 4,6 ‰ , desarrollada a lo largo de sus 2,4km, medidos entre los pies del muro y su punto de descarga.

Tal como se ha dicho, los suelos observados en el área estimada de inundación son de uso principalmente agrícola, sin presencia vegetal arbustiva o arbórea.

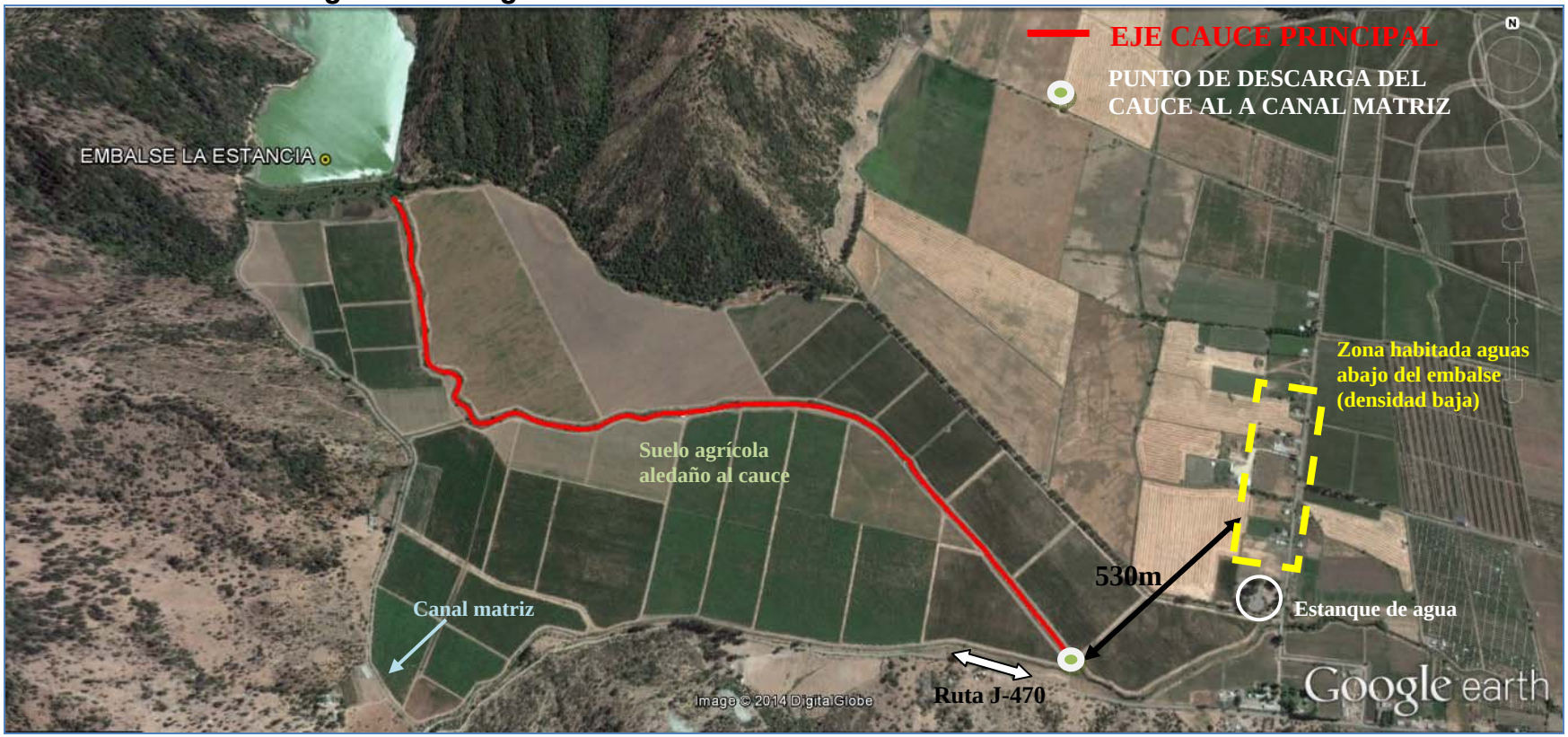
Asimismo, existen zonas habitadas de baja densidad poblacional a la cota de la descarga, a una distancia perpendicular al cauce de 530m; en las cercanías de esta zona, se aprecia la presencia de un estanque presumiblemente de agua (se desconoce el uso exacto de esta estructura), la que se encuentra a una distancia radial del muro de 2,5km.

En referencia a estructura vial, la ruta J-470 se encuentra aledaña al punto de descarga del cauce, por lo que se considera expuesta en caso de colapso eventual del embalse; por tanto, su distancia al muro, medida por el cauce, es de 2,4km.

Vale la pena destacar que buena parte del área potencial de inundación se encuentra bastante encajonada por cerros a ambos lados del valle de aguas abajo del muro, separados entre sí a una distancia media de 760m.

El siguiente fotograma indica la situación del embalse respecto a su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse La Estancia



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse La Estancia:

CUADRO 27-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE LA ESTANCIA

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		La Aguada	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada natural alterada	---
	Tipo de Terreno	Suelos arados y zonas con baja densidad arbórea y/o arbustiva	---
	Pendiente Media	0,0104	m/m
	Ancho medio	5	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,88	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (1)	1,3	km
	Zonas Agrícolas(2)	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

27.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
La Estancia	17,085	4,865	682	230	452

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,561	0,635	1,669	1,115

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 27-2 siguiente.

CUADRO 27-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
22 Embalse La Estancia	2	9,71	11,68	19,67	19,83	17,31	18,57	19,83
	5	15,54	18,44	28,98	28,19	25,51	26,85	28,98
	10	19,42	23,44	35,51	34,60	31,01	32,81	35,51
	20	23,11	28,19	41,44	43,20	36,25	39,72	43,20
	25	24,27	29,58	43,16	44,74	37,66	41,20	44,74
	50	27,77	33,91	48,20	53,27	43,07	48,17	53,27
	100	31,46	38,12	52,96	63,36	48,22	55,79	63,36
	250	36,79	44,86	62,04	71,43	55,73	63,58	71,43
	500	40,60	49,55	67,94	79,07	61,16	70,11	79,07
	1000	44,42	54,24	73,84	86,70	66,58	76,64	86,70

27.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse La Estancia fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
La Estancia	Arcilla limo arenosa	18	0,20	1,80	14	27	27	2 a 3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.39
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.12
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.33

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.36
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.09

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

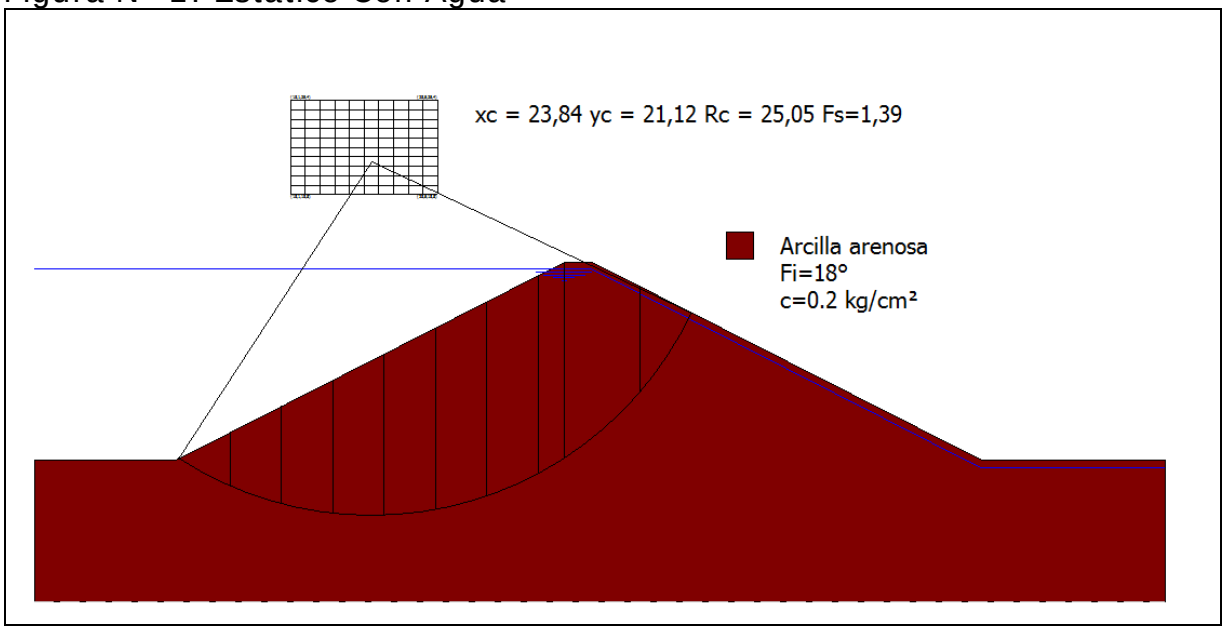


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

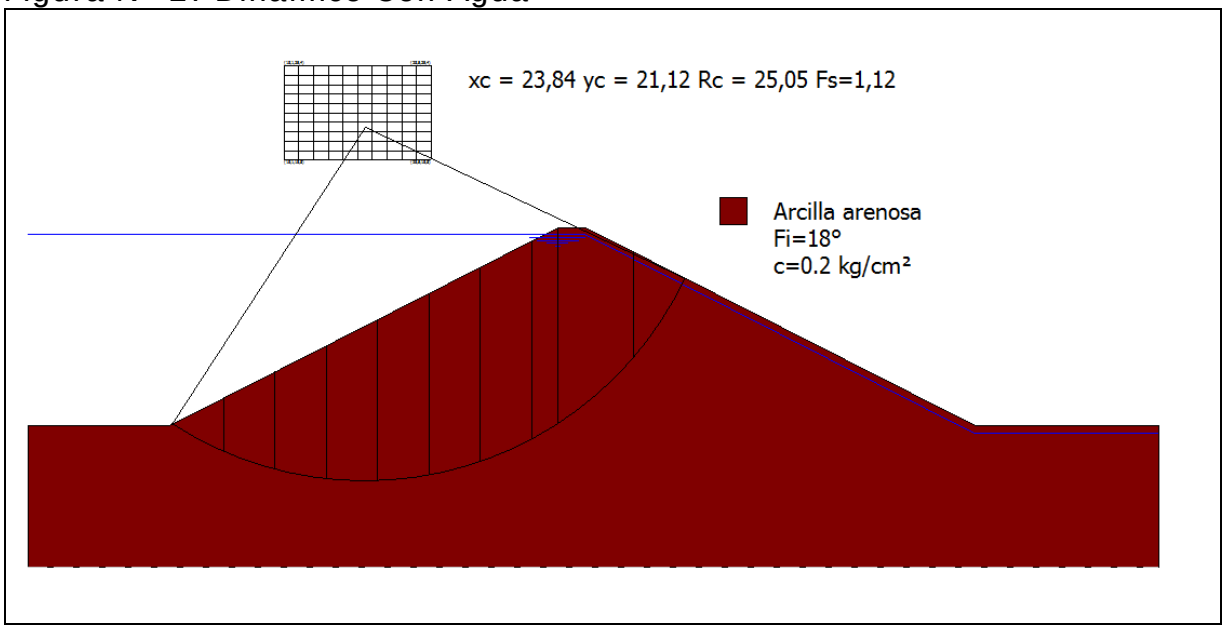
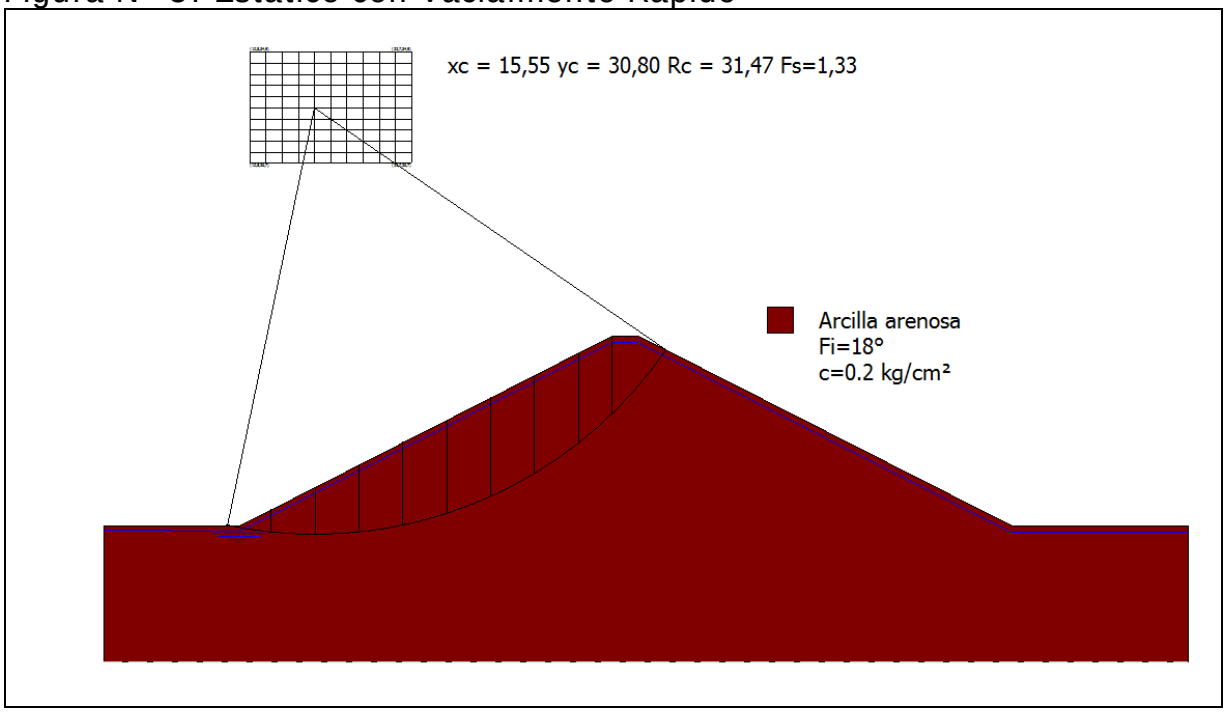


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

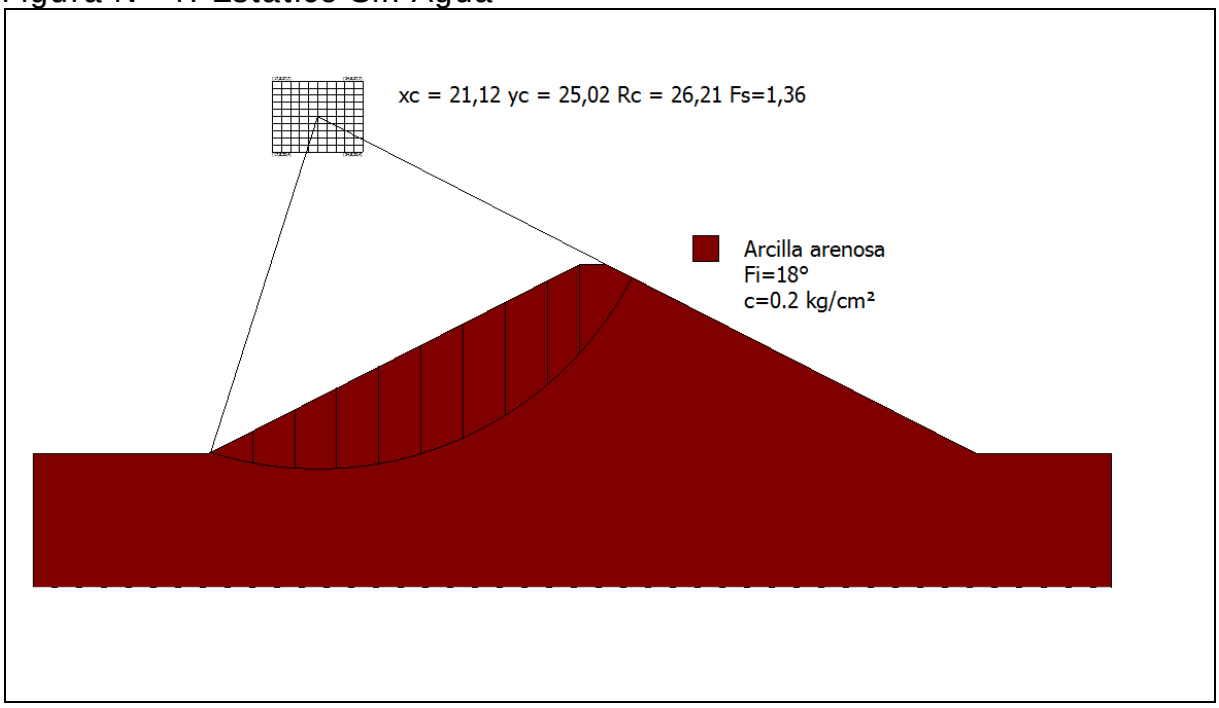
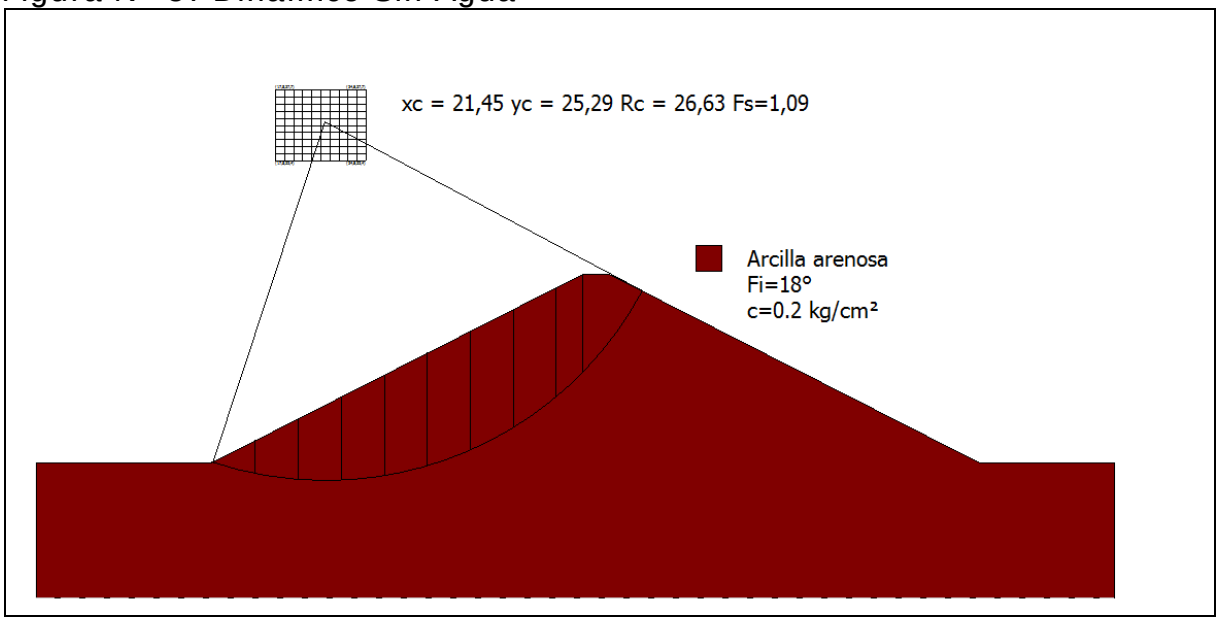


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El muro del embalse La Estancia sufrió bastantes daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en grietas longitudinales en el coronamiento del muro.

ii) De lo observado en la visita, es posible establecer, aunque sin certeza, que el muro del embalse no fue reparado luego del terremoto. Sin embargo, las grietas que se observaron en aquella oportunidad ya no son visibles, por lo que se presume que se taparon naturalmente, con materiales finos durante las lluvias de los años pasados.

iii) Al momento de la visita el embalse se encontraba lleno, sin embargo fue imposible determinar la existencia de filtraciones en el muro debido a la abundante vegetación

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede afirmar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Para los casos estáticos con agua y con vaciado rápido, los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

vi) Dada la baja seguridad que presenta el embalse La Estancia, se recomienda no autorizar su operación normal hasta que se

efectúen las reparaciones que permitan una seguridad adecuada. Las reparaciones deberán efectuarse en base a un proyecto desarrollado por un ingeniero civil competente. EL proyecto deberá contar con la aprobación de la DGA.

vii) En el intertanto, se recomienda no llenar el embalse hasta más allá de la mitad de la altura máxima del muro, contada hasta la cota del umbral del vertedero.

27.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 27-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
La Estancia	Arcilla Limo Arenosa	55,8	0	18,6	2	13,6	27,2	Si

27.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 27-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

				Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
		Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
ID	**Nombre del Embalse**	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
22	La Estancia	Lateral	Hormigón, pared gruesa	68	0,5								**75,53**

27.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores "p" y "V" son independientes por evento, y el valor "E" es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: La Estancia, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g**
es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	0,2
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 75,53 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 52,87 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	63,58	
0,002 (T= 500 años)	70,11	0,5
0,001 (T= 1.000 años)	76,64	

Como la capacidad efectiva es de 52,87 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 500 años (embalse tipo B), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 81 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,0124.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,0124 (T= 81 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,043
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,2
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total=0,043 x 0,2 x 1,0= 0,86 %

28. EMBALSE LA AGUADA

28.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse la Aguada.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	LA AGUADA	Nº de ficha	23
Propietario	Pablo Valdes Aldunate	Fecha (dd/mm/año)	1/10/2014; 14:00 hrs.
	Camino a Villa Prat S/N, Comuna de		
	La Sagrada Familia, Curicó		
Año de construcción	1989	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	SI
Año de reparación	2010	Altura del muro > 5 m	SI
Cuenca / Código DGA	Río Mataquito/071		
Subcuenca / Código DGA	Río Mataquito/0712		
Fuente del recurso			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VII Región del Maule	
Provincia	Curicó	
Comuna	Sagrada Familia	
COORD. UTM	NORTE	ESTE
Estribo Derecho		
Centro	N = 6.109.516	E = 266.742
Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 19	
Altitud	107 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

Página 1

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	352
Ancho del coronamiento	3 m
Desarrollo del talud aguas abajo	16 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	23 °
Ángulo talud de aguas arriba	18 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	6,3
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	63.230
Ancho máximo de la poza (m)	331
Largo de la poza (m)	189
Volumen declarado o proyectado (m3)	78.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		NO
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Coordenadas UTM		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Regulares
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
"x" indica localización y estructura del vertedero			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero Frontal sin control
Material constructivo	Tierra, con cajón de salida en quebrada de hormigón
Estado de conservación y operatividad	En buen estado, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Obra de entrega a través de tubo por el fondo del muro y dispone de válvula al pie del muro para repartir el agua para riego
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativa

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

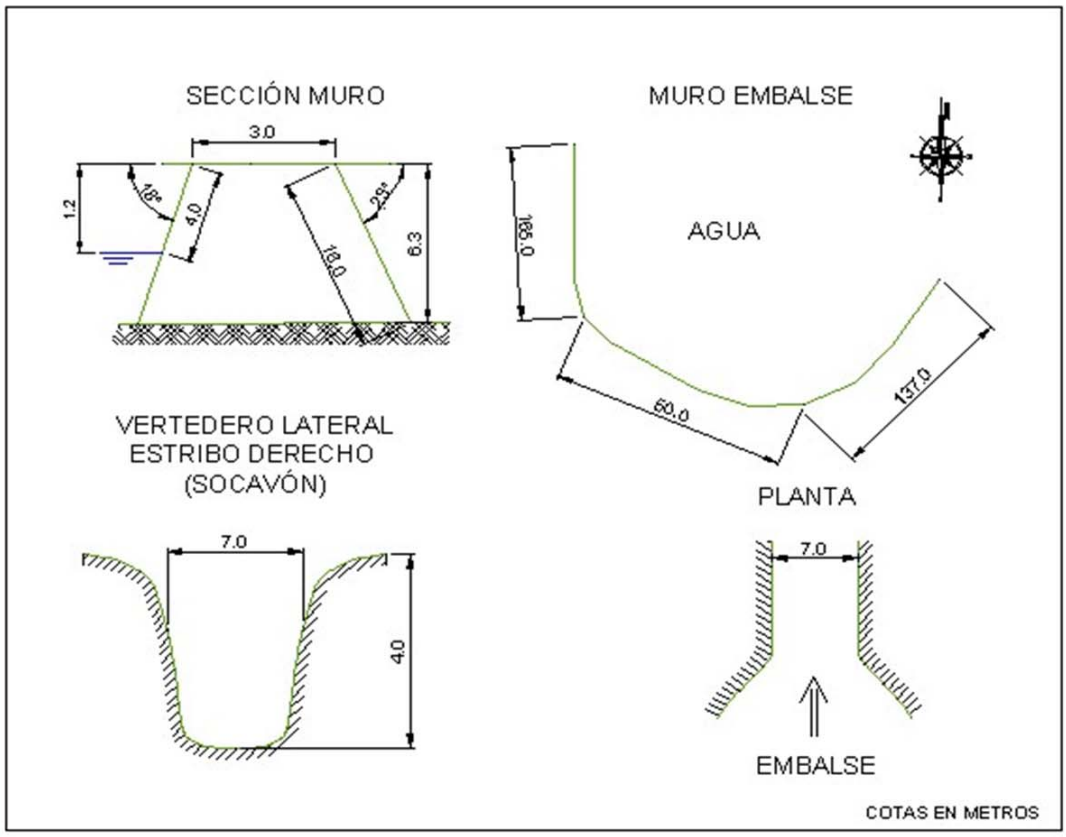
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Quebrada natural, suelos con baja densidad arbórea y arbustiva, i= 0,01, ancho medio= 5 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,88 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	No hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,3 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse en buenas condiciones, reparado después del terremoto del 2010

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE LA AGUADA N° 23



EMBALSE LA AGUADA (23)

CORONAMIENTO

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

VERTEDERO

28.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De lo observado en la visita efectuada es posible concluir, que el muro del embalse La Aguada, se debió rehacer en todo el sector colapsado. Esto corresponde prácticamente al 80% de la longitud total del muro. Según informó el administrador del embalse, sólo se conservaron los tramos iniciales y finales de este. El resto del muro se reconstruyó completamente, con material traído del entorno del embalse. El material se colocó en capas compactadas.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de aguas existente (embalse al 80% de su capacidad máxima), no se observaron filtraciones en el talud de aguas abajo.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total de los muro 352 m; ancho de coronamiento 3 m; inclinación talud aguas arriba 18°; altura hasta el nivel de agua 1.2 m; inclinación talud aguas abajo 23°; altura máxima talud aguas abajo 6.3 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

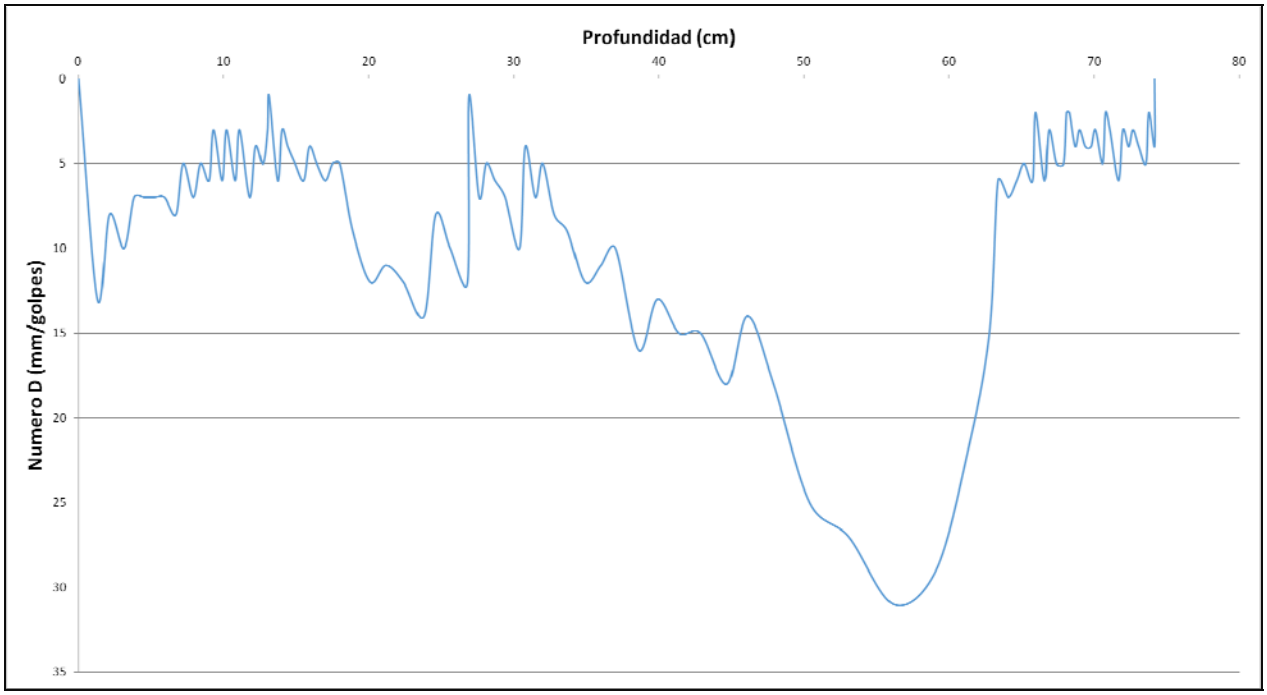
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse La Aguada

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	1.3	100	113	13	15.7	41	26.9	289	290	1	398.1	81	69.0	708	711	3	99.7
2	2.1	113	121	8	29.0	42	27.6	290	297	7	34.3	82	69.4	711	715	4	69.4
3	3.1	121	131	10	21.9	43	28.1	297	302	5	52.4	83	69.8	715	719	4	69.4
4	3.8	131	138	7	34.3	44	28.7	302	308	6	41.6	84	70.1	719	722	3	99.7
5	4.5	138	145	7	34.3	45	29.4	308	315	7	34.3	85	70.6	722	727	5	52.4
6	5.2	145	152	7	34.3	46	30.4	315	325	10	21.9	86	70.8	727	729	2	166.2
7	5.9	152	159	7	34.3	47	30.8	325	329	4	69.4	87	71.1	729	732	3	99.7
8	6.7	159	167	8	29.0	48	31.5	329	336	7	34.3	88	71.7	732	738	6	41.6
9	7.2	167	172	5	52.4	49	32.0	336	341	5	52.4	89	72.0	738	741	3	99.7
10	7.9	172	179	7	34.3	50	32.8	341	349	8	29.0	90	72.4	741	745	4	69.4
11	8.4	179	184	5	52.4	51	33.7	349	358	9	25.0	91	72.7	745	748	3	99.7
12	9.0	184	190	6	41.6	52	34.9	358	370	12	17.4	92	73.1	748	752	4	69.4
13	9.3	190	193	3	99.7	53	36.0	370	381	11	19.4	93	73.6	752	757	5	52.4
14	9.9	193	199	6	41.6	54	37.0	381	391	10	21.9	94	73.8	757	759	2	166.2
15	10.2	199	202	3	99.7	55	38.6	391	407	16	12.1	95	74.2	759	763	4	69.4
16	10.8	202	208	6	41.6	56	39.9	407	420	13	15.7	96	74.2	763	0	0	0.0
17	11.1	208	211	3	99.7	57	41.4	420	435	15	13.1						
18	11.8	211	218	7	34.3	58	42.9	435	450	15	13.1						
19	12.2	218	222	4	69.4	59	44.7	450	468	18	10.4						
20	12.7	222	227	5	52.4	60	46.1	468	482	14	14.3						
21	13.0	227	230	3	99.7	61	47.9	482	500	18	10.4						
22	13.1	230	231	1	398.1	62	50.4	500	525	25	6.9						
23	13.7	231	237	6	41.6	63	53.1	525	552	27	6.3						
24	14.0	237	240	3	99.7	64	56.2	552	583	31	5.3						
25	14.4	240	244	4	69.4	65	59.1	583	612	29	5.7						
26	14.9	244	249	5	52.4	66	61.3	612	634	22	8.1						
27	15.5	249	255	6	41.6	67	62.8	634	649	15	13.1						
28	15.9	255	259	4	69.4	68	63.4	649	655	6	41.6						
29	16.4	259	264	5	52.4	69	64.1	655	662	7	34.3						
30	17.0	264	270	6	41.6	70	64.7	662	668	6	41.6						
31	17.5	270	275	5	52.4	71	65.2	668	673	5	52.4						
32	18.0	275	280	5	52.4	72	65.8	673	679	6	41.6						
33	18.9	280	289	9	25.0	73	66.0	679	681	2	166.2						
34	20.1	410	422	12	17.4	74	66.6	681	687	6	41.6						
35	21.2	422	433	11	19.4	75	66.9	687	690	3	99.7						
36	22.4	433	445	12	17.4	76	67.4	690	695	5	52.4						
37	23.8	445	459	14	14.3	77	67.9	695	700	5	52.4						
38	24.6	459	467	8	29.0	78	68.1	700	702	2	166.2						
39	25.6	467	477	10	21.9	79	68.3	702	704	2	166.2						
40	26.8	477	489	12	17.4	80	68.7	704	708	4	69.4						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores menores a 15mm/golpes, hasta los 33 cm de profundidad s. Valores que están relacionados con suelo de compacidad media. A partir de los 35 cm de profundidad el suelo adquiere valores sobre 15 mm/golpe, llegando incluso a sobrepasar los 30 mm/golpes. Estos valores concuerdan con suelos de compacidad media-baja. Finalmente, bajo la cota 62 cm, el número D vuelve a tener valores bajos (menores a 5 cm), asociados a compacidades altas.

28.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse de riego se ubica en la comuna de Sagrada Familia, provincia de Curicó, región del Maule, y se llega a él a través de la ruta K-40 (San Rafael, ruta 5) en dirección a la costa. Al llegar al cruce con la K-192, tomar ésta hacia el norte para luego virar al oriente por la ruta K-190, que pasa a los pies de la quebrada aguas abajo del embalse, a una distancia de 1,3km, aproximadamente.

El cauce de aguas abajo corresponde a una quebrada amplia, de ancho medio de 540m, encajonada a lo largo de 1,3km, medidos al pie del muro.

Al estimar el trazado del cauce, uniendo los puntos bajos de la quebrada en el sentido de las aguas, se obtiene una pendiente media de 1,04%, desarrollada a lo largo de 1,44km de cauce, medidos (por el eje del cauce) entre el pie del muro y su intersección con la ruta K-190.

El terreno presenta una muy baja presencia vegetal, observándose especies arbustivas y/o arbóreas sólo en las cercanías del eje.

Por su parte, el suelo aledaño a la quebrada en general se aprecia en algunas zonas arado, pero sin cultivos.

En cuanto a viviendas, se aprecian algunas aguas abajo, en que la primera se encuentra, midiendo por el eje trazado, a unos 880m del muro. También se observan algunas viviendas en los faldeos del cerro poniente del encajonamiento, pero se encuentran a una cota mayor que el eje del cauce, por lo que se desestima un riesgo real ante un evento de colapso.

Respecto a infraestructura vial, la única que es interceptada por la quebrada corresponde a la ruta K-190; ésta se ubica, tal como se comentó anteriormente, a 1,3km de distancia en línea recta respecto del muro.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse respecto de su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse La Aguada

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse La Aguada:

CUADRO 28-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE LA AGUADA

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		La Aguada	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada natural alterada	---
	Tipo de Terreno	Suelos arados y zonas con baja densidad arbórea y/o arbustiva	---
	Pendiente Media	0,0104	m/m
	Ancho medio	5	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,88	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (1)	1,3	km
	Zonas Agrícolas(2)	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

28.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
La Aguada	1,408	1,774	496	112	384

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,186	0,221	0,675	0,431

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 28-2 siguiente.

CUADRO 28-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	RACIONAL (m3/s)	HUS (m3/s)	ADOPTADO (m3/s)	MAX (m3/s)
23 Embalse La Aguada	2	0,47	0,68	1,70	1,77	-	1,77	1,77
	5	0,75	1,10	2,56	2,52	-	2,52	2,56
	10	0,94	1,42	3,17	3,09	-	3,09	3,17
	20	1,12	1,73	3,74	3,86	-	3,86	3,86
	25	1,17	1,82	3,91	3,99	-	3,99	3,99
	50	1,34	2,10	4,39	4,75	-	4,75	4,75
	100	1,52	2,39	4,86	5,66	-	5,66	5,66
	250	1,78	2,81	5,70	6,38	-	6,38	6,38
	500	1,96	3,12	6,26	7,06	-	7,06	7,06
	1000	2,15	3,42	6,83	7,74	-	7,74	7,74

28.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse La Aguada fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
La Aguada	Limo arenoso	28	0,10	1,80	6,3	18	23	3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.35
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.71
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	2.52

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.16
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.57

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

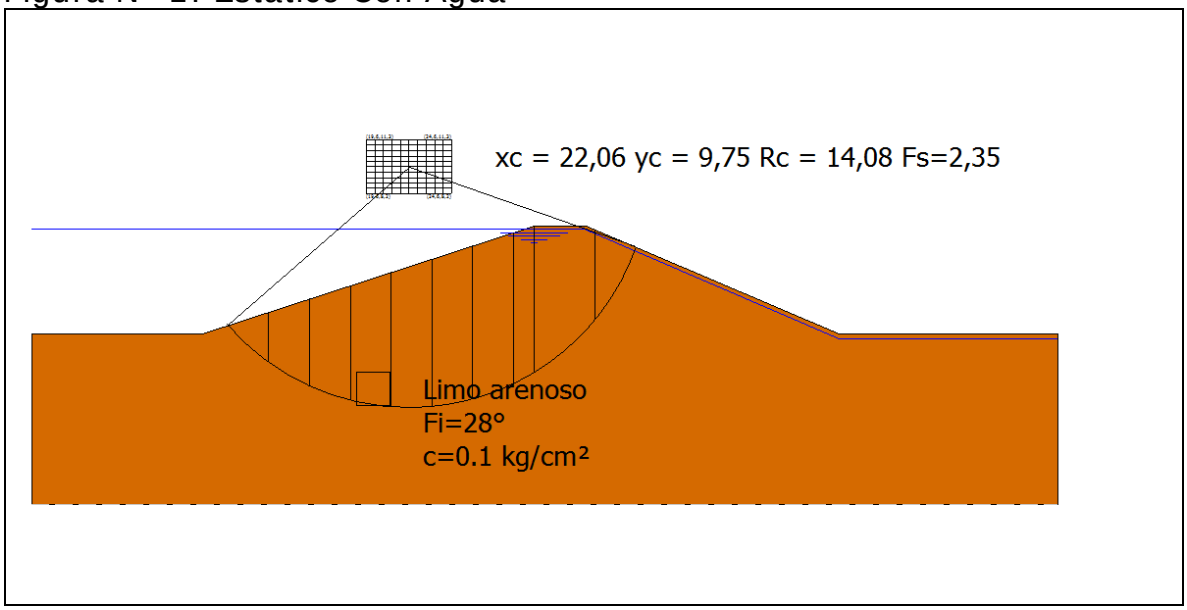


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

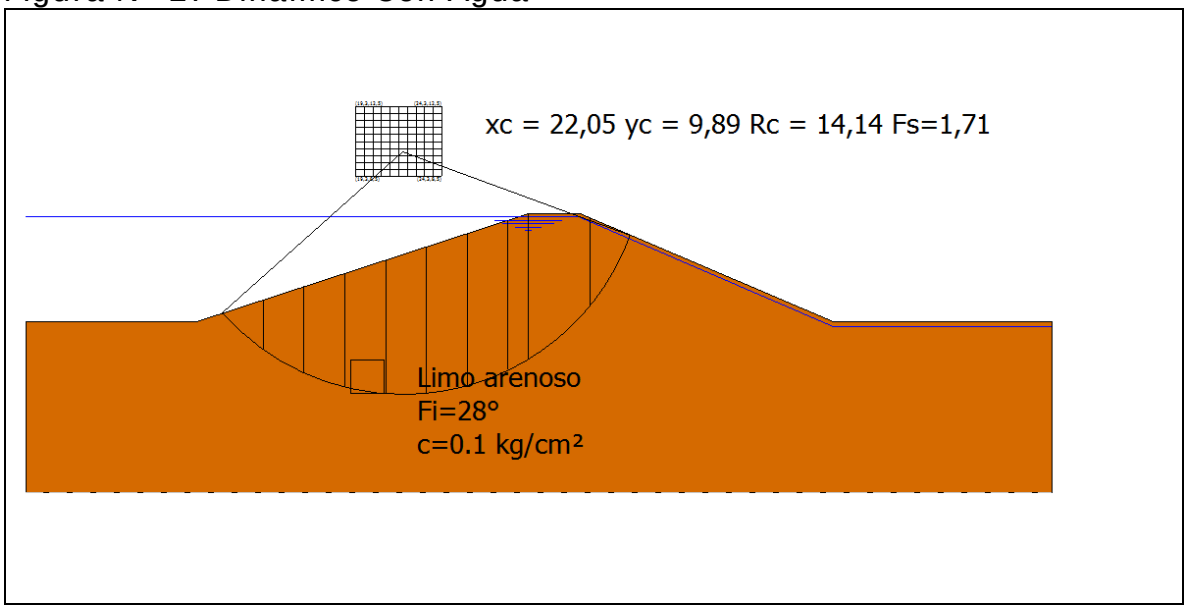
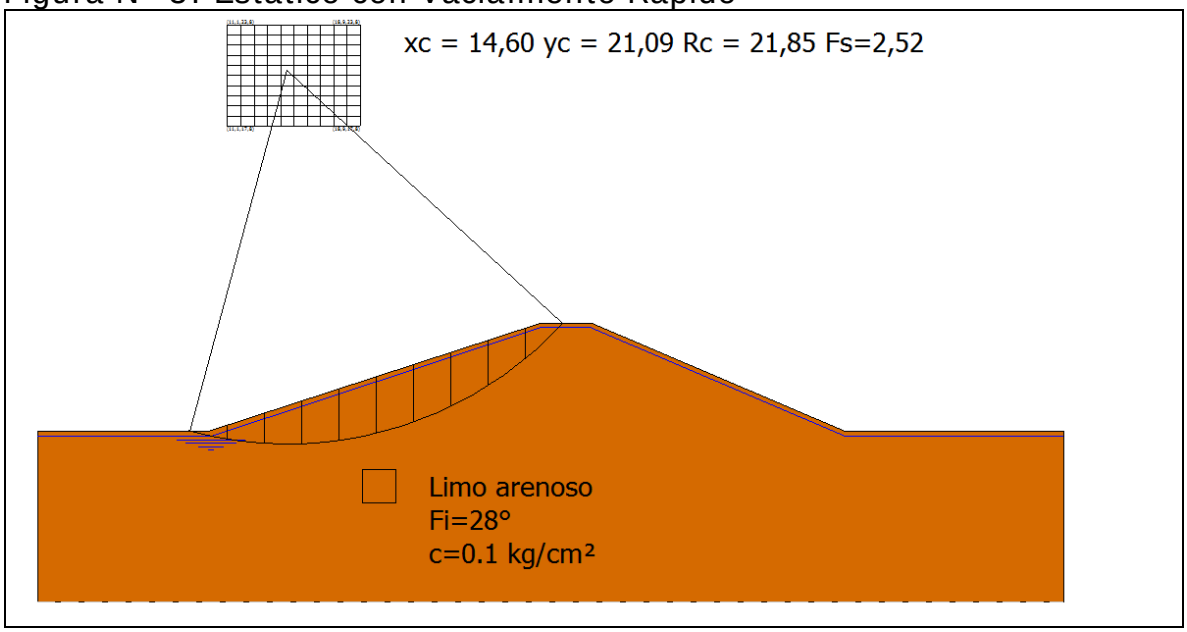


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

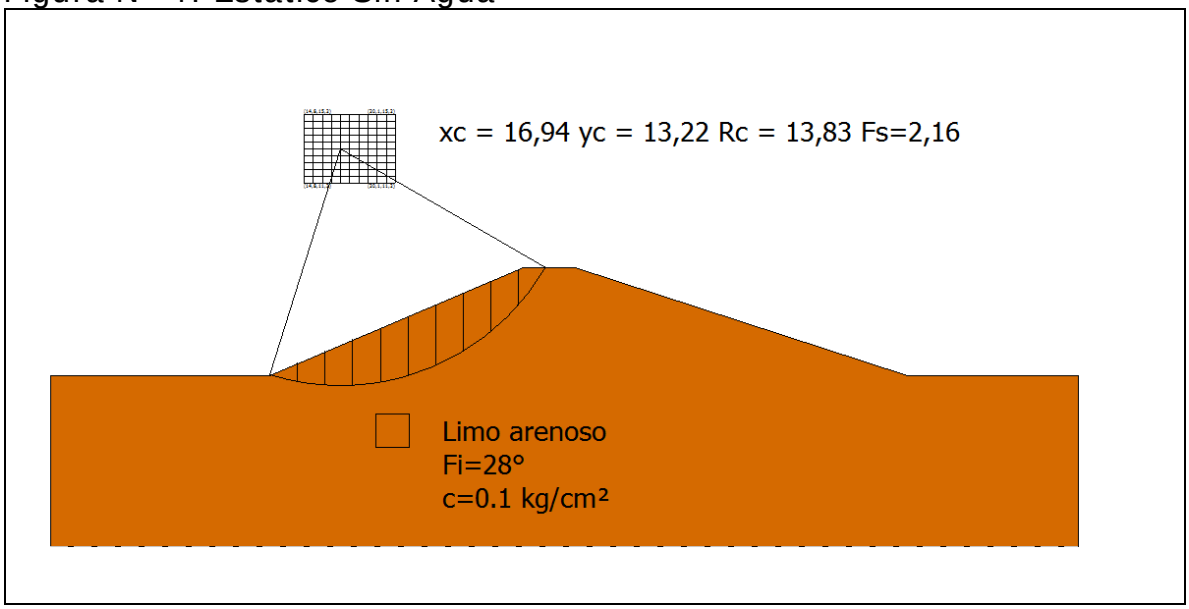
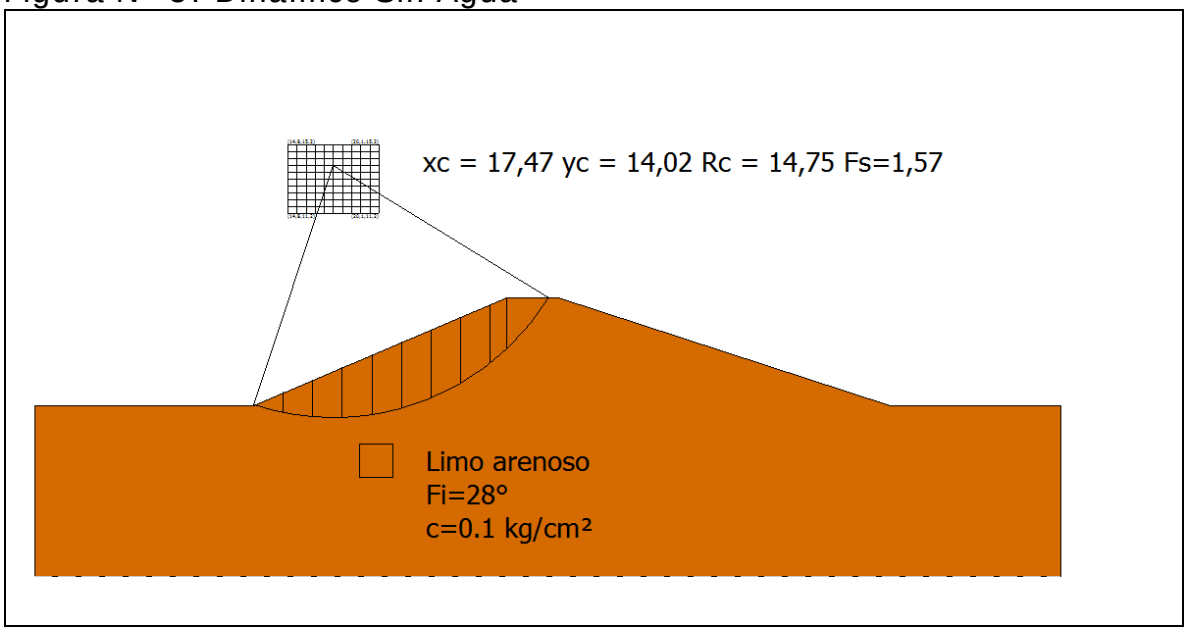


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

viii) De lo observado en la visita efectuada es posible concluir, que el muro del embalse La Aguada, se debió rehacer en todo el sector colapsado.Esto corresponde prácticamente al 80% de la longitud total del muro.

ix) Según informó el administrador del embalse, sólo se conservaron los tramos iniciales y finales de este. El resto del muro se reconstruyó completamente, con material traído del entorno del embalse. El material se colocó en capas compactadas.

x) Para el nivel de aguas existente (embalse al 80% de su capacidad máxima), no se observaron filtraciones en el talud de aguas abajo.

xi) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

xii) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados.

xiii) Aún cuando el embalse La Aguada se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente y aprobado por la DGA.

28.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 28-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
La Aguada	Limos Arenosos	37,2	0	12,4	6	6,3	37,8	Si

28.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 28-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

				Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
		Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
ID	**Nombre del Embalse**	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
23	La Aguada	Lateral	Canal de Tierra		4		7	0,002	0,035				**54,24**

28.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: La Aguada, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** **g**
es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **8,019**

A= **392,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **33,2** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02
cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.
Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	0,6

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor adoptado**
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 54,24 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,42 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 22,78 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	6,38	0,05
0,002 (T= 500 años)	7,06	
0,001 (T= 1.000 años)	7,74	

Nota: Embalse Tipo A (T= 250 años)

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,004 (T= 250 años)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente al sismo= 0,05
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,03 x 0,05 x 1,0= 0,15 %

29. EMBALSE BARANDICA

29.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Barandica.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Barandica	Nº de ficha	24
Propietario	Inversiones Hualañe S. A.	Fecha (dd/mm/año)	10/9/2014; 18:00 hrs.
	Avda. Kennedy Nº 5757, Of. 1602		
	Las Condes, Santiago		
Año de construcción	-	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPERADO	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Mataquito/071		
Subcuenca / Código DGA	Río Mataquito/0712		
Fuente del recurso			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Maule	
Provincia	Curicó	
Comuna	Hualañe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N=	E=
Coordenadas UTM Centro	N= 6.122.820	E= 250.720
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N=	E=
Datum	WGS-84 Huso 19	
Altitud m.s.n.m	47	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X (al parecer no está en uso)
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha	
Longitud del coronamiento	140 m
Ancho del coronamiento (m)	2 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	20
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	NO APRECIABLE
Paramentos verticales	
Con eclímetro	
Ángulo talud de aguas abajo	37 °
Ángulo talud de aguas arriba	37 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	10 a 12
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	56.444
Ancho máximo de la poza (m)	250
Largo de la poza (m)	343,00
Volumen declarado o proyectado (m3)	310.442

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	irregular
Compacidad del material estructural	muy baja
Uniformidad de los taludes	irregulares
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, mayores a 0,5 m
Grietas visibles y su ubicación	sí, muchas y en diferentes sectores
Indicios de deslizamientos y ubicación	sí, declarados
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	sí
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	sí, al pie
Tipo de revestimiento del muro	no

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	hormigón, en muy mal estado
Material constructivo	hormigón, está bastante obstruido
Estado de conservación y operatividad	muy malo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	15 m de ancho

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	no se identificó
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

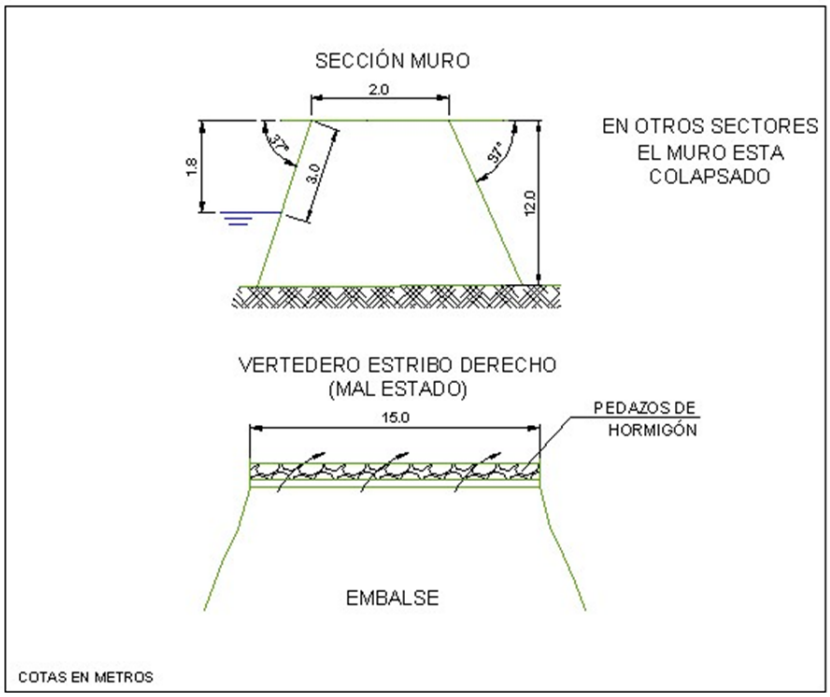
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	quebrada natural, i= 0,0114, ancho meio 2 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,88 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,175 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	0,88 km
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,88 km
Area de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse en muy malas condiciones; colapsado

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE BARANDICA N° 24



EMBALSE BARANDICA (24)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

FILTRACIONES

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

29.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Barandica, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arcillas arenosas, de color café. Son suelos de plasticidad media, permeabilidad media y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arcillas arenosas de color café. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a baja, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es media.
El muro del embalse Barandica sufrió gravísimos daños debido al terremoto del año 2010, al punto que los profesionales que lo visitaron

definieron su estado como colapsado. Los daños consistieron en graves grietas longitudinales en el coronamiento del muro y deslizamientos importantes en ambos taludes.

En primer lugar se debe señalar que el muro se encuentra completamente cubierto de vegetación al punto que se hace muy difícil acceder a él y medir su geometría. De lo observado en la visita, es posible establecer, que el muro del embalse no fue reparado luego del terremoto. Aún pueden observarse las grietas y deslizamientos ocurridos el año 2010. Sin embargo. Al momento de la visita el embalse se encontraba lleno, con abundantes filtraciones al pie del talud de aguas abajo.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total del muro 120 m; ancho de coronamiento variable de 1 a 2 m; inclinación talud aguas arriba 37°; altura hasta el nivel de agua 1.5 m; inclinación talud aguas abajo 37°; altura máxima talud aguas abajo 12 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

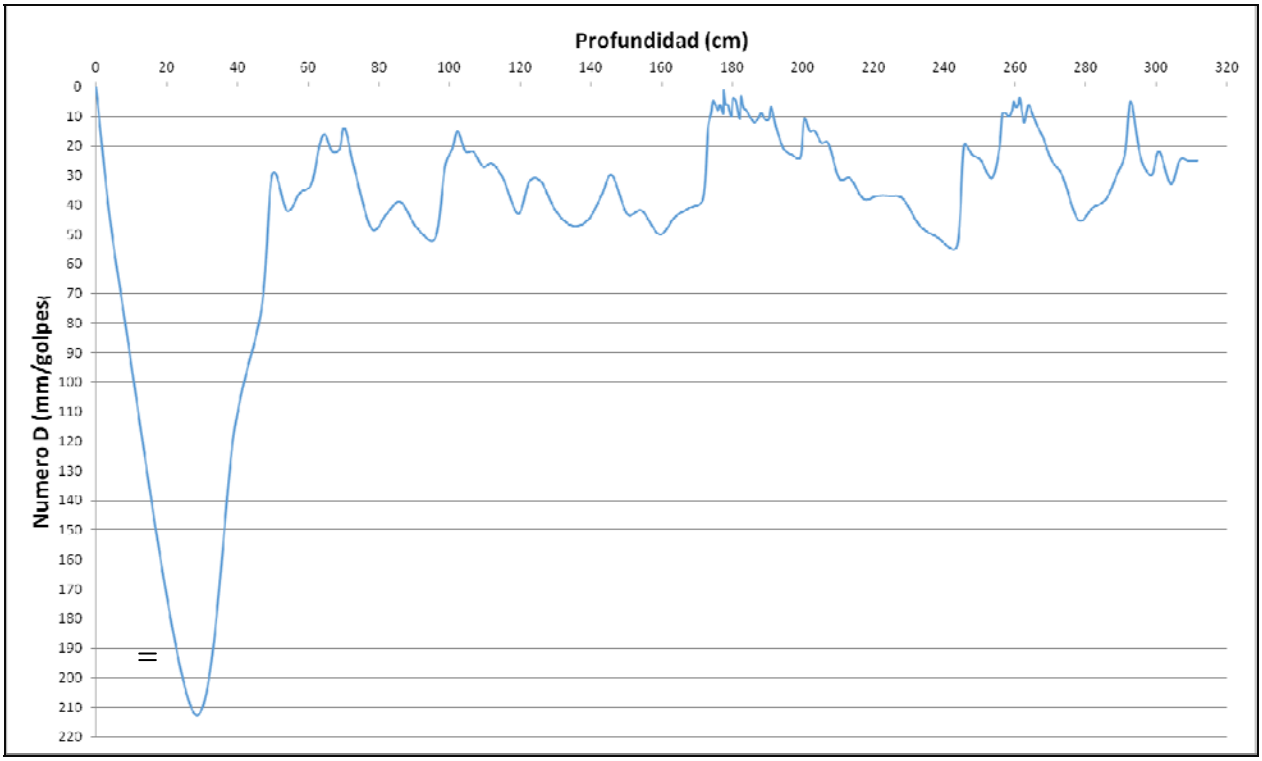
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Barrandica

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	6.7	141	208	67	2.0	41	171.8	797	835	38	4.1	81	228.4	342	380	38	4.1
2	27.9	208	420	212	0.5	42	173.2	21	35	14	14.3	82	233.1	380	427	47	3.1
3	39.4	420	535	115	1.0	43	174.1	35	44	9	25.0	83	238.2	427	478	51	2.8
4	46.9	535	610	75	1.7	44	174.6	44	49	5	52.4	84	243.6	478	532	54	2.6
5	49.9	610	640	30	5.5	45	175.2	49	55	6	41.6	85	245.6	532	552	20	9.1
6	54.1	640	682	42	3.6	46	176.0	55	63	8	29.0	86	247.9	552	575	23	7.7
7	57.7	682	718	36	4.4	47	176.6	63	69	6	41.6	87	250.4	575	600	25	6.9
8	61.0	718	751	33	4.9	48	177.5	69	78	9	25.0	88	253.5	600	631	31	5.3
9	63.1	751	772	21	8.6	49	177.6	78	79	1	398.1	89	255.6	631	652	21	8.6
10	64.7	772	788	16	12.1	50	178.2	79	85	6	41.6	90	256.5	652	661	9	25.0
11	66.9	788	810	22	8.1	51	178.8	85	91	6	41.6	91	257.4	661	670	9	25.0
12	69.0	810	831	21	8.6	52	179.8	91	101	10	21.9	92	258.4	670	680	10	21.9
13	70.4	831	845	14	14.3	53	180.2	101	105	4	69.4	93	259.2	680	688	8	29.0
14	73.2	845	873	28	6.0	54	180.6	105	109	4	69.4	94	259.7	688	693	5	52.4
15	78.0	873	921	48	3.0	55	181.1	109	114	5	52.4	95	260.4	693	700	7	34.3
16	82.3	97	140	43	3.5	56	182.2	114	125	11	19.4	96	261.0	700	706	6	41.6
17	86.2	140	179	39	3.9	57	182.5	125	128	3	99.7	97	261.4	706	710	4	69.4
18	91.0	179	227	48	3.0	58	183.2	128	135	7	34.3	98	262.6	710	722	12	17.4
19	96.1	27	78	51	2.8	59	184.0	135	143	8	29.0	99	263.4	722	730	8	29.0
20	98.8	78	105	27	6.3	60	185.0	143	153	10	21.9	100	264.0	730	736	6	41.6
21	100.9	105	126	21	8.6	61	186.2	153	165	12	17.4	101	264.9	736	745	9	25.0
22	102.4	126	141	15	13.1	62	187.3	165	176	11	19.4	102	266.2	745	758	13	15.7
23	104.6	141	163	22	8.1	63	188.2	176	185	9	25.0	103	267.9	758	775	17	11.2
24	106.8	163	185	22	8.1	64	189.3	185	196	11	19.4	104	270.4	775	800	25	6.9
25	109.5	185	212	27	6.3	65	190.4	196	207	11	19.4	105	273.4	800	830	30	5.5
26	112.1	212	238	26	6.6	66	191.1	0	7	7	34.3	106	277.9	830	875	45	3.3
27	115.2	238	269	31	5.3	67	192.5	7	21	14	14.3	107	282.0	53	94	41	3.7
28	119.5	269	312	43	3.5	68	194.6	21	42	21	8.6	108	285.8	94	132	38	4.1
29	122.7	312	344	32	5.1	69	196.9	42	65	23	7.7	109	288.8	132	162	30	5.5
30	125.9	344	376	32	5.1	70	199.3	65	89	24	7.3	110	291.1	162	185	23	7.7
31	130.1	376	418	42	3.6	71	200.4	89	100	11	19.4	111	292.1	185	195	10	21.9
32	134.8	418	465	47	3.1	72	201.9	100	115	15	13.1	112	292.6	195	200	5	52.4
33	139.3	465	510	45	3.3	73	203.4	115	130	15	13.1	113	293.2	0	6	6	41.6
34	143.0	510	547	37	4.2	74	205.3	130	149	19	9.7	114	295.6	6	30	24	7.3
35	146.0	547	577	30	5.5	75	207.2	149	168	19	9.7	115	298.6	30	60	30	5.5
36	150.3	577	620	43	3.5	76	210.3	168	199	31	5.3	116	300.8	60	82	22	8.1
37	154.5	620	662	42	3.6	77	213.4	199	230	31	5.3	117	304.1	82	115	33	4.9
38	159.5	662	712	50	2.9	78	217.2	230	268	38	4.1	118	306.6	115	140	25	6.9
39	163.9	712	756	44	3.4	79	220.9	268	305	37	4.2	119	309.1	140	165	25	6.9
40	168.0	756	797	41	3.7	80	224.6	305	342	37	4.2	120	311.6	165	190	25	6.9

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta la mayor cantidad de valores entre 10 y 60 mm/golpes. Esto se relaciona con suelo de compacidad baja. Además desde los 6 cm y hasta los 40 cm de profundidad los valores del Número D son excesivamente altos, superando en su mayoría los 100 mm/golpes, lo que indica rellenos muy sueltos.

En general este muro presenta una compacidad baja, exceptuando algunos valores de D que son menores a 10 mm/golpes y que probablemente corresponde a pequeñas gravas las cuales el penetrómetro desplazó.

29.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse de riego se ubica en la comuna de Sagrada Familia, provincia de Curicó, región del Maule.

Partiendo desde Curicó, se llega a él de forma directa a través de la ruta J-60 en dirección a la costa, encontrándose antes de la llegada a la localidad de Hualañé.

El cauce principal de aguas abajo corresponde a una quebrada natural limitada en su borde norte por los faldeos del cerro, y por terrazas de cultivo por su borde sur. El suelo se aprecia natural con presencia vegetal de baja densidad (arbórea y/o arbustiva).

Efectuando el trazado del cauce, uniendo los puntos bajos de la quebrada en el sentido de las aguas, se obtiene una pendiente media de 1,14%, desarrollada a lo largo de 0,88km de cauce, medidos (por el eje del cauce) entre el pie del muro y su intersección con la ruta J-60.

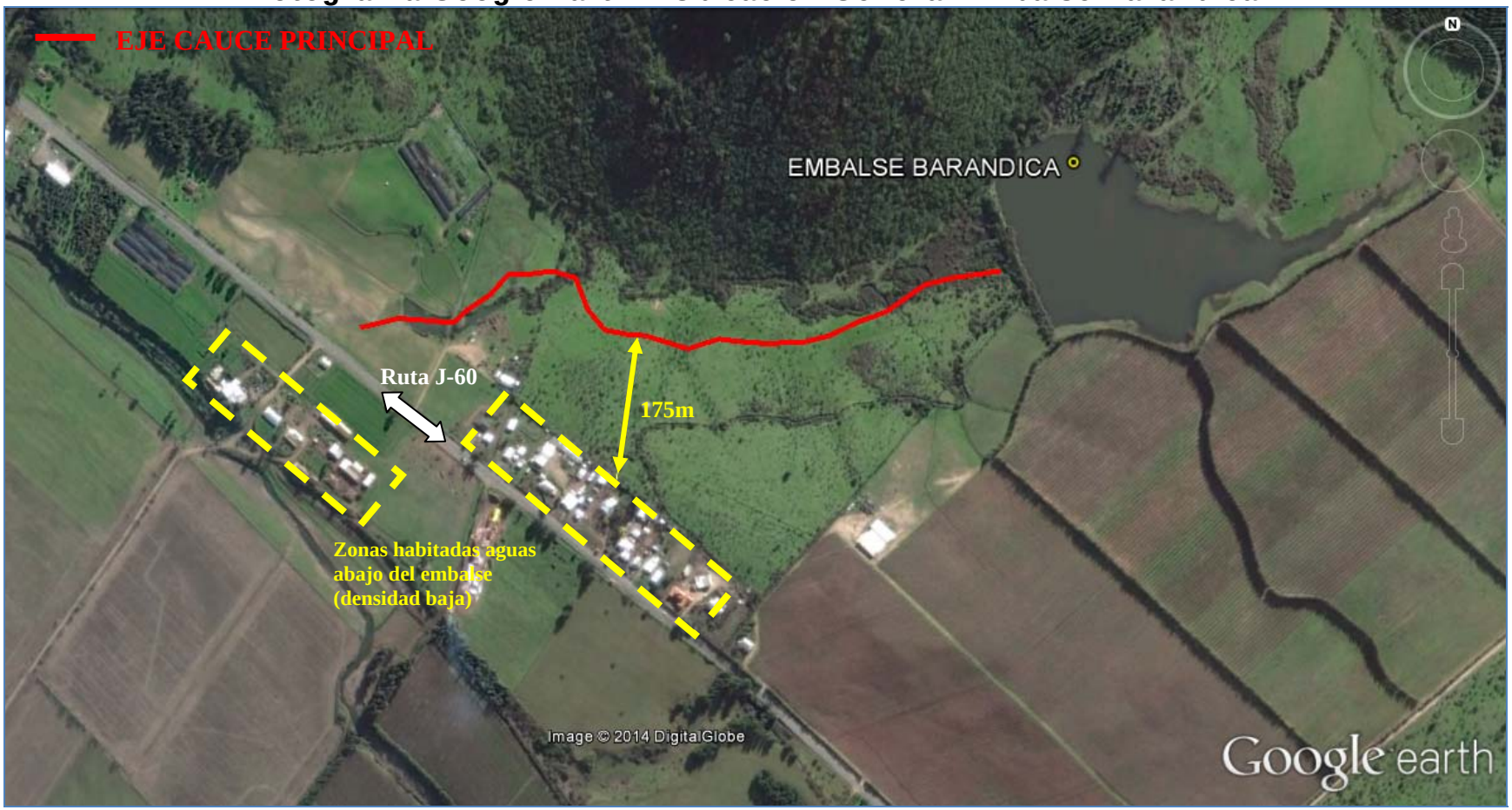
En torno a la ruta señalada, se aprecia una zona habitada con densidad poblacional baja, a unos 175m del cauce, medidos de manera perpendicular al eje trazado.

En cuanto a áreas agrícolas, si bien las terrazas se encuentran a una cota mayor que la del cauce, existen zonas cultivadas aguas abajo del fin del trazado, a una distancia radial de 650m radiales a partir del muro.

No se aprecia ningún otro tipo de infraestructura importante en el entorno de aguas abajo del embalse.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse respecto del terreno aguas abajo del muro.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Barandica



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Barandica:

CUADRO 29-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE BARANDICA

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Barandica	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada natural	---
	Tipo de Terreno	Vegetal (arbórea y/o arbustiva de baja densidad)	---
	Pendiente Media	0,0114	m/m
	Ancho medio	2	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,88	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,175	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,88	km
	Zonas Agrícolas	0,88	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

29.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Barandica	1,010	1,554	298	61	237

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,193	0,218	0,639	0,416

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 29-2 siguiente.

CUADRO 29-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	RACIONAL (m3/s)	HUS (m3/s)	ADOPTADO (m3/s)	MAX (m3/s)
24 Embalse Barandica	2	0,34	0,51	1,25	1,22	-	1,22	1,25
	5	0,54	0,82	1,88	1,74	-	1,74	1,88
	10	0,68	1,06	2,32	2,14	-	2,14	2,32
	20	0,81	1,29	2,74	2,69	-	2,69	2,74
	25	0,85	1,36	2,86	2,79	-	2,79	2,86
	50	0,97	1,57	3,22	3,33	-	3,33	3,33
	100	1,10	1,78	3,56	3,98	-	3,98	3,98
	250	1,29	2,10	4,18	4,48	-	4,48	4,48
	500	1,42	2,33	4,59	4,97	-	4,97	4,97
	1000	1,55	2,55	5,00	5,45	-	5,45	5,45

29.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Barandica fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Barandica	Arcilla arenosa	18	0,20	1,80	12	37	37	1 a 2

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.29
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.03
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.18

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.19
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	0.95

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

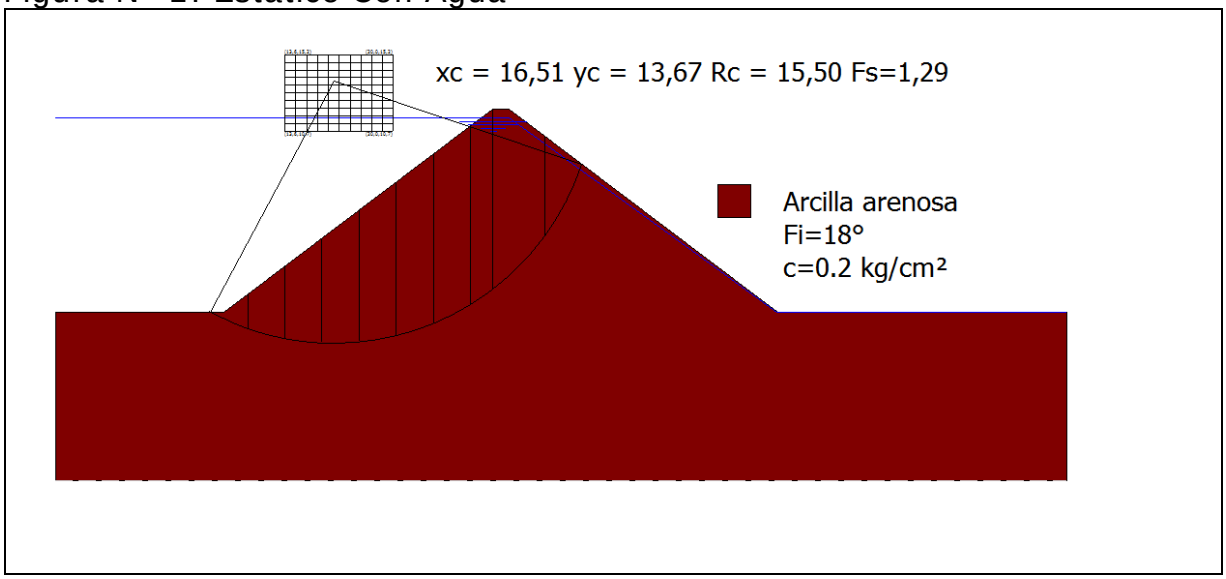


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

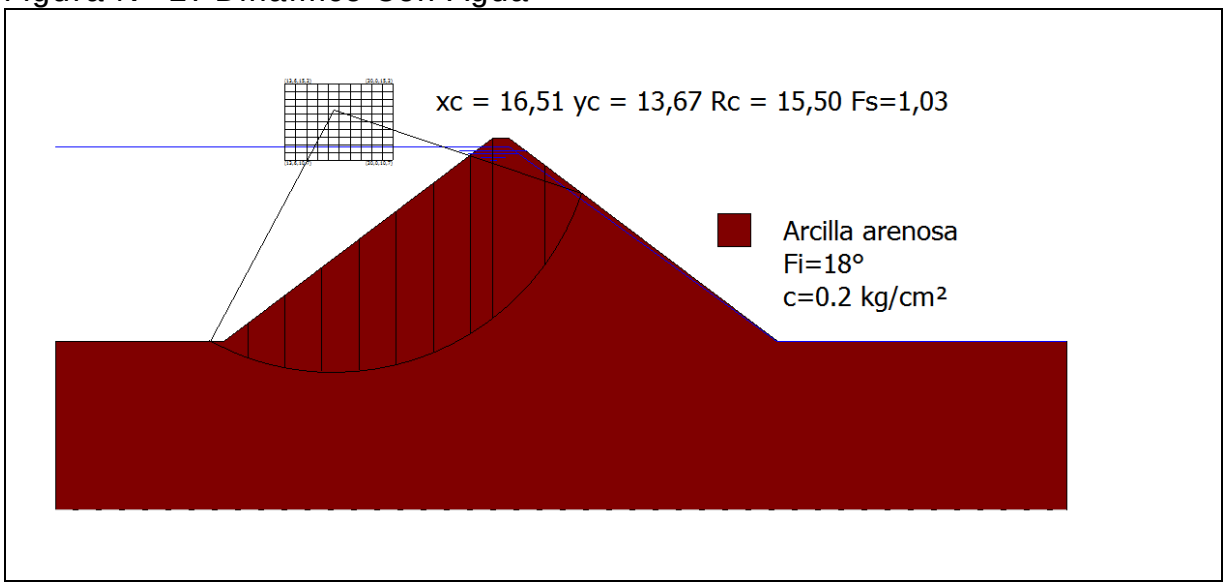
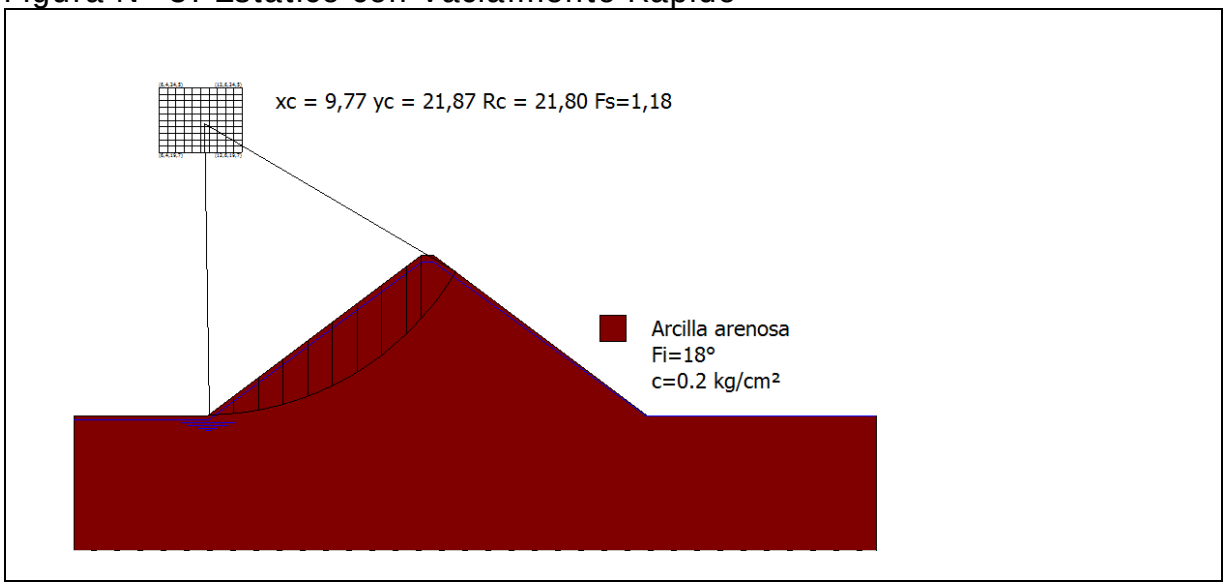


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

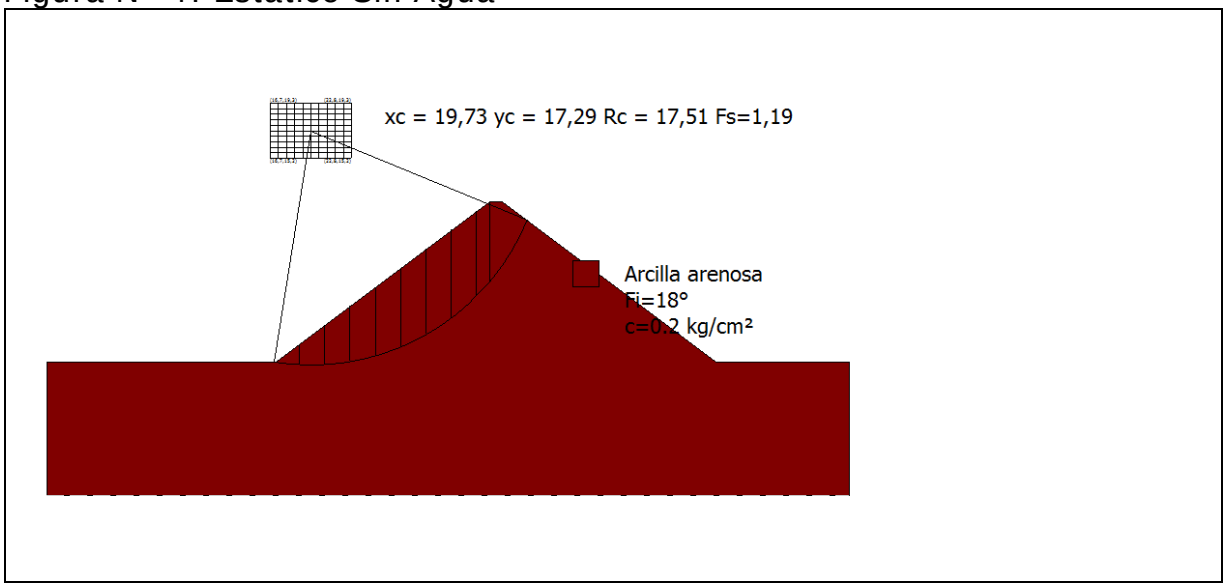
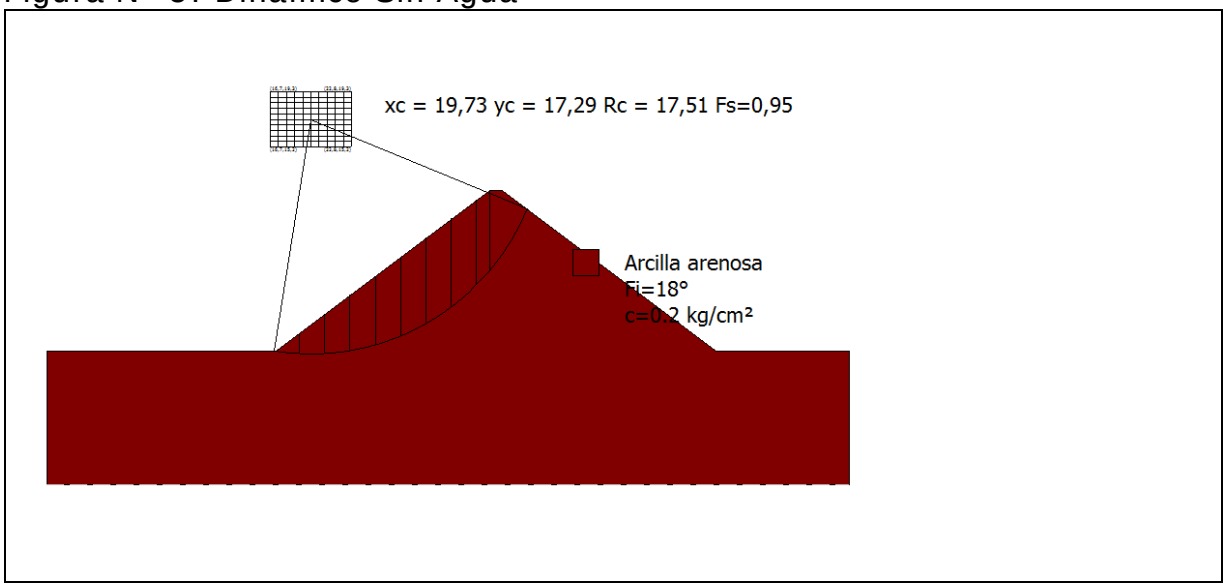


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El muro del embalse Barandica sufrió gravísimos daños debido al terremoto del año 2010, al punto que los profesionales que lo visitaron definieron su estado como colapsado. Los daños consistieron en graves grietas longitudinales en el coronamiento del muro y deslizamientos importantes en ambos taludes.

ii) Es importante señalar que el muro se encuentra completamente cubierto de vegetación al punto que se hace muy difícil acceder a él y medir su geometría.

iii) De lo observado en la visita, es posible establecer, que el muro del embalse no fue reparado luego del terremoto. Aún pueden observarse las grietas y deslizamientos ocurridos el año 2010.

iv) Al momento de la visita el embalse se encontraba lleno, con abundantes filtraciones al pie del talud de aguas abajo.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Se recomienda solicitar al propietario el vaciamiento indefinido del embalse Barandica, hasta que se efectúen las reparaciones que aseguren un funcionamiento adecuado.

viii) Las reparaciones deberán efectuarse en base a un proyecto desarrollado por un ingeniero civil competente. Dicho proyecto deberá además contar con la aprobación de la DGA.

29.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 29-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Barandica	Arcillas Arenosas	33,9	0	11,3	2	12,0	24,0	Si

29.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 29-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Barandica	Lateral	Hormigón, pared gruesa	15	0,5								**16,66**

29.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Barandica, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 33,2 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	0,2
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	0,6

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor adoptado**
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 16,66 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,42 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 6,99 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	4,48	0,05
0,002 (T= 500 años)	4,97	
0,001 (T= 1.000 años)	5,45	

Nota: Embalse Tipo A (T= 250 años)

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,004 (T= 250 años)

Así, se escoge al sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente a la Sismo= 0,2
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,03 x 0,2 x 1,0= 0,6 %

30. EMBALSE LOS MAITENES

30.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Los Maitenes.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Los Maitenes	Nº de ficha	25
Propietario	Comunidad Unión Los Maitenes	Fecha (dd/mm/año)	11/9/2014; 10:50 hrs.
	Víctor Moya		
	Calle principal poblado os Maitenes		
	Comuna de Río Claro		
Año de construcción	1956	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARTADO	Capacidad > 50.000 m3	Sí
Año de reparación	2010	Altura del muro > 5 m	Sí
Cuenca / Código DGA	Río Maule/073		
Subcuenca / Código DGA	Río Claro/737		
Fuente del recurso	Estero Teatino, canal Gatica		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VII Región del Maule	
Provincia	Talca	
Comuna	Río Claro	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.089.372	E = 304.576
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	542	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	100 m
Ancho del coronamiento	25 m
Desarrollo del talud aguas abajo	28 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	si, por aguas arriba sector con talud vertical
Ángulo talud de aguas abajo	25 °
Ángulo talud de aguas arriba	35 ° después del talud vertical

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	12
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	60.000
Ancho máximo de la poza (m)	200
Largo de la poza (m)	450
Volumen declarado o proyectado (m3)	250.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	baja a alta
Uniformidad de los taludes	Regular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	no
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	no
Tipo de revestimiento del muro	Sin revestimiento

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero lateral - canal
Material constructivo	Excavado en tierra, con gran vegetación
Estado de conservación y operatividad	Operativo, estado de conservación precario
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	1 m de ancho por 2 m de alto

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Toma de fondo, tubo de hormigón de 600 mm de diámetro
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	Inutilizable

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

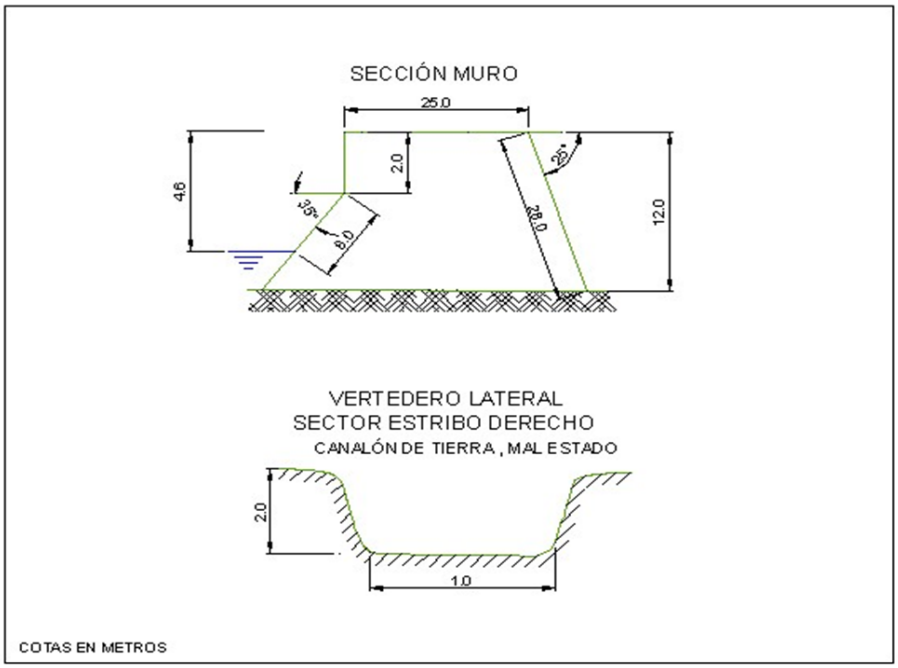
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	valle agrícola, i= 0,016; ancho medio 3 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,8 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,09 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,2 km
Area de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Muro fue arreglado ensanchándolo hasta los 25 m
Buen estado

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE LOS MAITENES N° 25



EMBALSE LOS MAITENES (25)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

VERTEDERO

VERTEDERO VISTO DESDE OTRO ÁNGULO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

30.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Los Maitenes, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arcillas arenosas, de color café. Son suelos de plasticidad media, permeabilidad media y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra reparada de manera que se dejó el muro original, que estaba en malas condiciones y que se componía de suelos arcillo arenosos de color café, y detrás de él se colocó un refuerzo en base a un relleno de arena levemente limosa con gravas dispersas de unos 12 metros de espesor. Conforme a lo anterior, el muro original (en base a arcilla arenosa) dará la impermeabilidad, mientras que el nuevo muro (arena limosa con gravas) dará la resistencia estructural. La compacidad que tienen los materiales colocados en el nuevo muro es media a alta, su plasticidad es baja y la permeabilidad asociada es media a alta.

El muro del embalse Los Maitenes sufrió graves daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en graves grietas longitudinales en el coronamiento del muro.

De lo observado en la visita, es posible establecer, que tal como se dijo, dejando el muro antiguo tal como estaba, se construyó un nuevo muro aguas abajo del original de manera que sirviera de respaldo anterior. Se desconoce si esta reparación cuenta con proyecto de ingeniería. Al momento de la visita el embalse se encontraba vacío, por lo que no fue posible observar la existencia de filtraciones.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total del muro 24 m; ancho de coronamiento 25 m (3 del muro antiguo y 22 del muro nuevo); inclinación talud aguas arriba vertical los primeros 2 metros (por erosión del agua) y a partir de allí 35°; Altura hasta el nivel de agua 7 m (embalse vacío); inclinación talud aguas abajo 25°; altura máxima talud aguas abajo 12 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del

CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

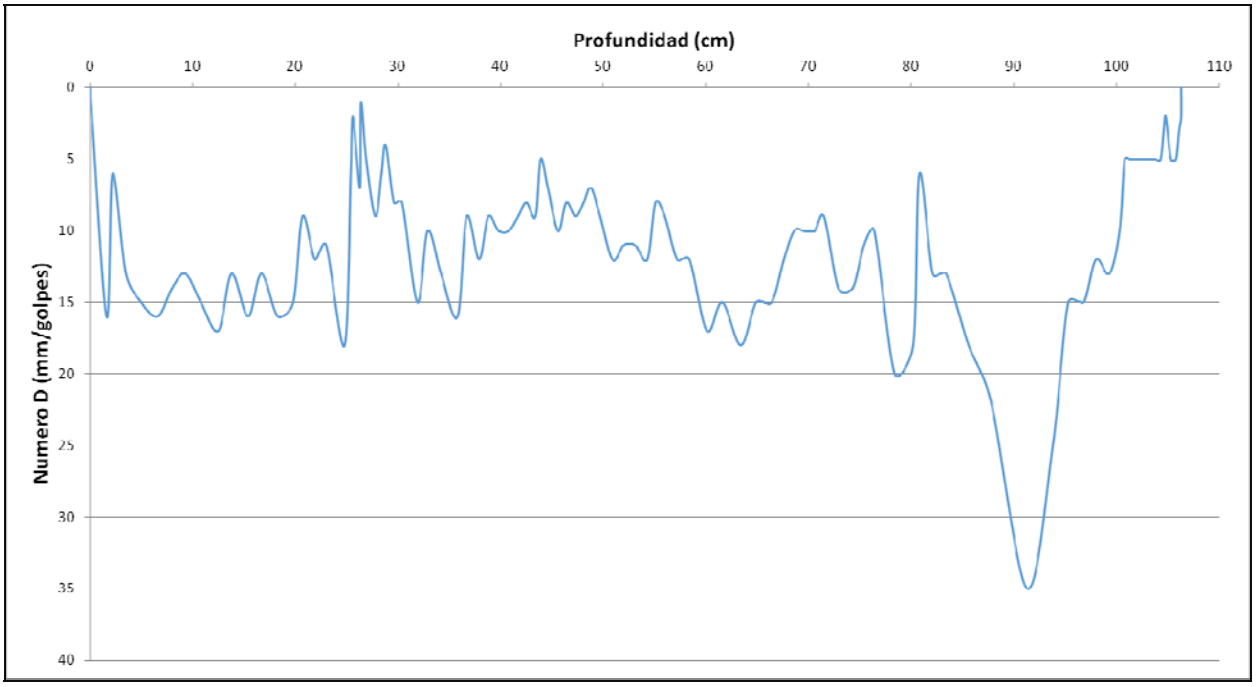
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Los Maitenes

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1.6	115	131	16	12.1	41	43.9	560	565	5	52.4	81	96.8	40	55	15	13.1
2	2.2	131	137	6	41.6	42	44.6	565	572	7	34.3	82	98.0	55	67	12	17.4
3	3.5	148	161	13	15.7	43	45.6	572	582	10	21.9	83	99.3	67	80	13	15.7
4	5.0	161	176	15	13.1	44	46.4	582	590	8	29.0	84	100.3	80	90	10	21.9
5	6.6	176	192	16	12.1	45	47.3	590	599	9	25.0	85	100.8	90	95	5	52.4
6	8.0	192	206	14	14.3	46	48.1	599	607	8	29.0	86	101.3	95	100	5	52.4
7	9.3	206	219	13	15.7	47	48.8	607	614	7	34.3	87	101.8	100	105	5	52.4
8	10.8	219	234	15	13.1	48	49.7	614	623	9	25.0	88	102.3	105	110	5	52.4
9	12.5	234	251	17	11.2	49	50.9	623	635	12	17.4	89	102.8	110	115	5	52.4
10	13.8	251	264	13	15.7	50	52.0	635	646	11	19.4	90	103.3	115	120	5	52.4
11	15.4	264	280	16	12.1	51	53.1	646	657	11	19.4	91	103.8	120	125	5	52.4
12	16.7	280	293	13	15.7	52	54.3	657	669	12	17.4	92	104.3	125	130	5	52.4
13	18.3	293	309	16	12.1	53	55.1	669	677	8	29.0	93	104.6	130	133	3	99.7
14	19.8	309	324	15	13.1	54	56.0	677	686	9	25.0	94	104.8	133	135	2	166.2
15	20.7	324	333	9	25.0	55	57.2	686	698	12	17.4	95	105.3	135	140	5	52.4
16	21.9	333	345	12	17.4	56	58.4	698	710	12	17.4	96	105.8	140	145	5	52.4
17	23.0	345	356	11	19.4	57	60.1	710	727	17	11.2	97	106.1	145	148	3	99.7
18	24.8	356	374	18	10.4	58	61.6	727	742	15	13.1	98	106.3	148	150	2	166.2
19	25.4	374	380	6	41.6	59	63.4	742	760	18	10.4	99	106.3	150	0	0	0.0
20	25.6	380	382	2	166.2	60	64.9	760	775	15	13.1						
21	26.3	382	389	7	34.3	61	66.4	775	790	15	13.1						
22	26.4	389	390	1	398.1	62	67.6	790	802	12	17.4						
23	26.9	390	395	5	52.4	63	68.6	802	812	10	21.9						
24	27.8	395	404	9	25.0	64	69.6	812	822	10	21.9						
25	28.4	404	410	6	41.6	65	70.6	822	832	10	21.9						
26	28.8	410	414	4	69.4	66	71.5	832	841	9	25.0						
27	29.6	414	422	8	29.0	67	72.9	841	855	14	14.3						
28	30.4	422	430	8	29.0	68	74.3	855	869	14	14.3						
29	31.9	430	445	15	13.1	69	75.4	869	880	11	19.4						
30	32.9	445	455	10	21.9	70	76.4	880	890	10	21.9						
31	34.2	455	468	13	15.7	71	78.4	890	910	20	9.1						
32	35.8	468	484	16	12.1	72	80.2	100	118	18	10.4						
33	36.7	484	493	9	25.0	73	80.8	118	124	6	41.6						
34	37.9	493	505	12	17.4	74	82.1	124	137	13	0.0						
35	38.8	505	514	9	25.0	75	83.8	137	154	17	11.2						
36	39.8	514	524	10	21.9	76	85.6	150	168	18	10.4						
37	40.8	524	534	10	21.9	77	87.8	168	190	22	8.1						
38	41.7	534	543	9	25.0	78	91.3	190	225	35	4.5						
39	42.5	543	551	8	29.0	79	93.8	0	25	25	6.9						
40	43.4	551	560	9	25.0	80	95.3	25	40	15	13.1						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta la mayoría de sus valores entre 5 y 15 mm/golpes. Esto se relaciona con suelos de compacidad media. Sin embargo entre los 80 y 95 cm de profundidad los valores del número D aumentan llegando a 35 mm/golpes. Estos valores son consistentes con suelos de consistencia media a baja.

30.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Embalse de riego, ubicado en la comuna de Río Claro, provincia de Talca, Región del Maule.

Se llega a él desde la ruta 5, saliendo de ella por la ruta K-31 (Camarico) hacia el oriente. Al llegar al cruce con la ruta K-15, tomar ésta en dirección al norte; al cabo de unos kilómetros, se llega al cruce con la ruta K-235, la que se debe tomar en dirección sur- poniente. Al mantenerse en ella se llega a las afueras del embalse Los Maitenes, ubicado hacia el lado oriente de la ruta.

El cauce de aguas abajo del muro está constituido por un valle destinado tanto al cultivo como a la vivienda, además de zonas que no presentan trabajo agrícola.

Si bien en base a las imágenes satelitales resulta algo difuso el eje del cauce, al unir los puntos más bajos en el sentido de las aguas, es posible trazar dicho eje, en torno al cual se aprecian zonas de densidad vegetal alta de tipo boscosa en su primera mitad. Luego de esto, al continuar por cauce hacia aguas abajo, la densidad vegetal disminuye considerablemente, perdiéndose incluso (en términos visuales) los contornos que lo definen.

El eje trazado presenta una pendiente media del 1,6%, la que se desarrolla a lo largo de 0,813m de cauce, medidos entre el muro y el punto en que el cauce pierde definición al interceptar un camino rural no enrolado.

Tal como se ha señalado anteriormente, se observan viviendas en el valle de aguas abajo, aunque se estima una densidad poblacional baja. Las distancias determinadas son las siguientes:

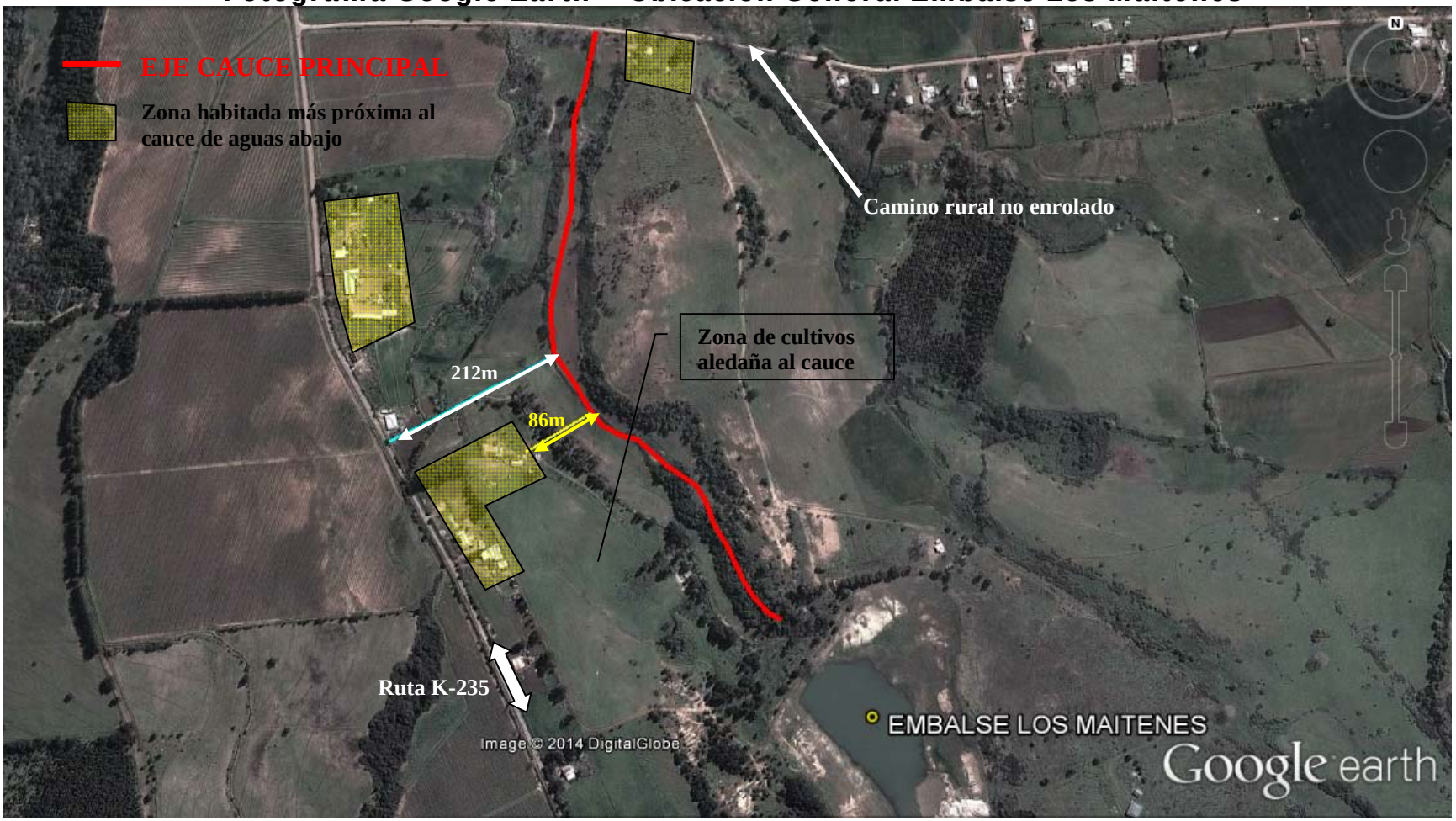
- Distancia a zonas habitadas a partir del muro, medidas por el cauce: 0,813km.
- Distancia más corta a zonas habitadas perpendicular al cauce: 0,086km.

En cuanto a zonas agrícolas aguas abajo del embalse, éstas son aledañas al cauce y al muro.

En referencia a la ruta K-235, la distancia más corta en sentido perpendicular al cauce es de 0,21km. No se aprecia ningún otro tipo de infraestructura importante en las cercanías del cauce aguas abajo del embalse.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra el embalse en relación a su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Los Maitenes



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Los Maitenes:

CUADRO 30-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE LOS MAITENES

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Los Maitenes	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle intervenido con cauce central no bien definido	---
	Tipo de Terreno	Valle agrícola habitado / semi boscoso, densidad vegetal media a baja	---
	Pendiente Media	0,016	m/m
	Ancho medio	3	m
DISTANCIAS A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,813	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,086	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,212	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

30.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Los Maitenes	1,663	1,358	597	549	48

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,305	0,340	0,755	0,530

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 30-2 siguiente.

CUADRO 30-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	RACIONAL (m3/s)	HUS (m3/s)	ADOPTADO (m3/s)	MAX (m3/s)
25 Embalse Los Maitenes	2	0,99	1,51	2,99	2,93	-	2,93	2,99
	5	1,61	2,45	4,50	4,18	-	4,18	4,50
	10	2,02	3,15	5,58	5,15	-	5,15	5,58
	20	2,40	3,83	6,57	6,46	-	6,46	6,57
	25	2,54	4,04	6,87	6,69	-	6,69	6,87
	50	2,92	4,67	7,72	7,99	-	7,99	7,99
	100	3,31	5,30	8,56	9,54	-	9,54	9,54
	250	3,88	6,25	10,04	10,76	-	10,76	10,76
	500	4,28	6,92	11,02	11,92	-	11,92	11,92
	1000	4,69	7,59	12,01	13,08	-	13,08	13,08

30.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Los Maitenes fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Los Maitenes	Arcilla arenosa	18	0,20	1,80	12	35	25	25
	Arena limosa con gravas	35	0,08	1,85				

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.13
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	0.96
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.14

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.50
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.19

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

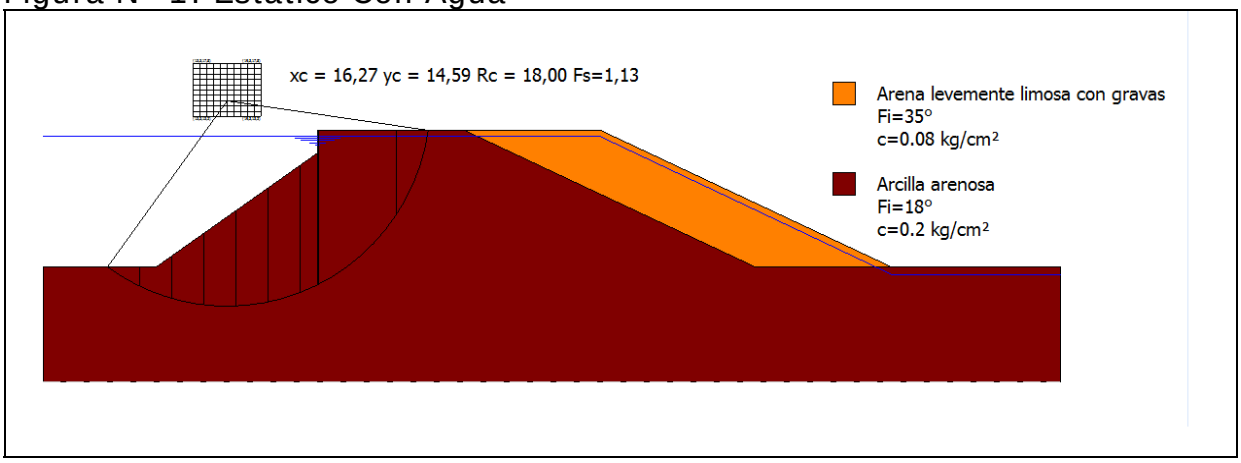


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

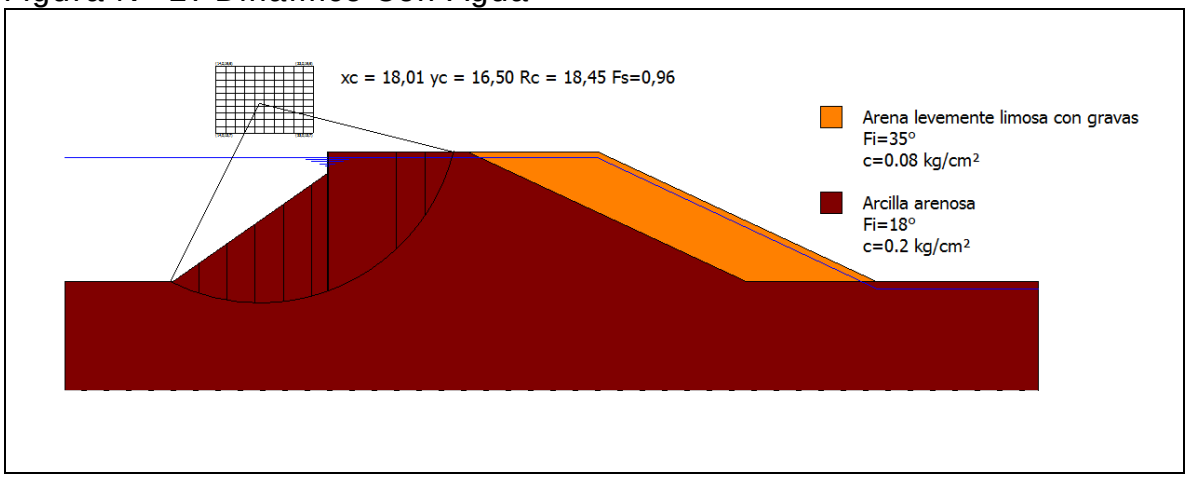
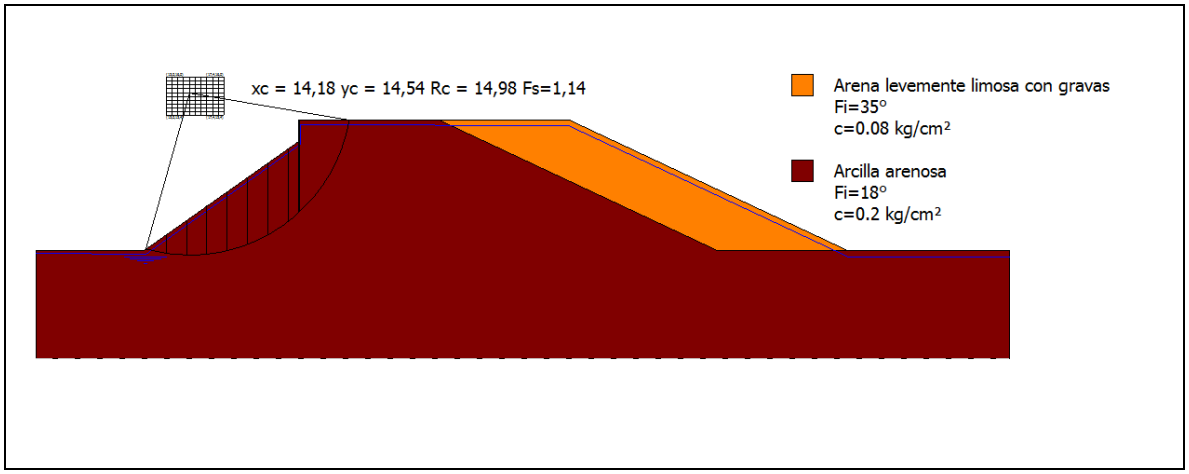


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

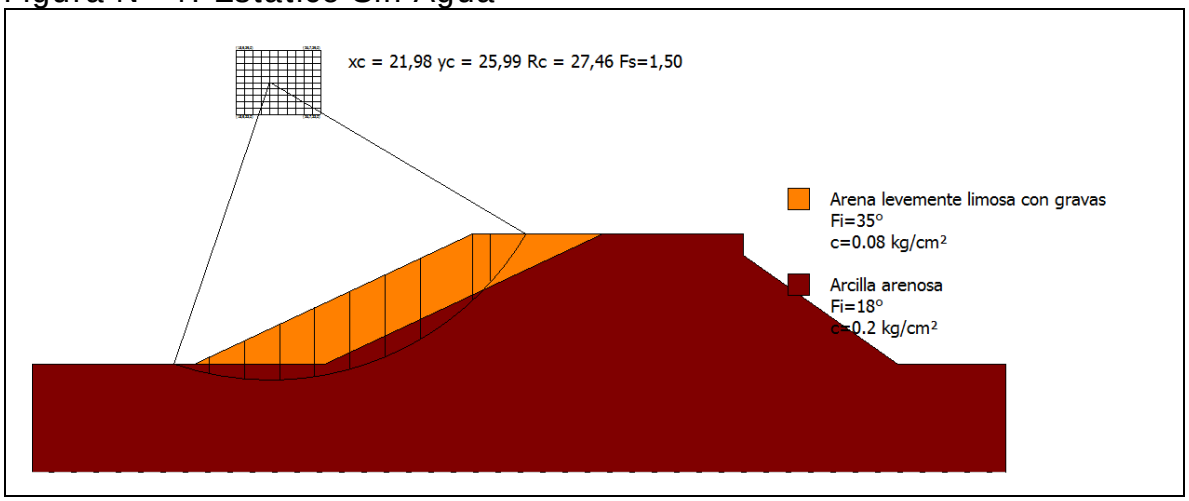
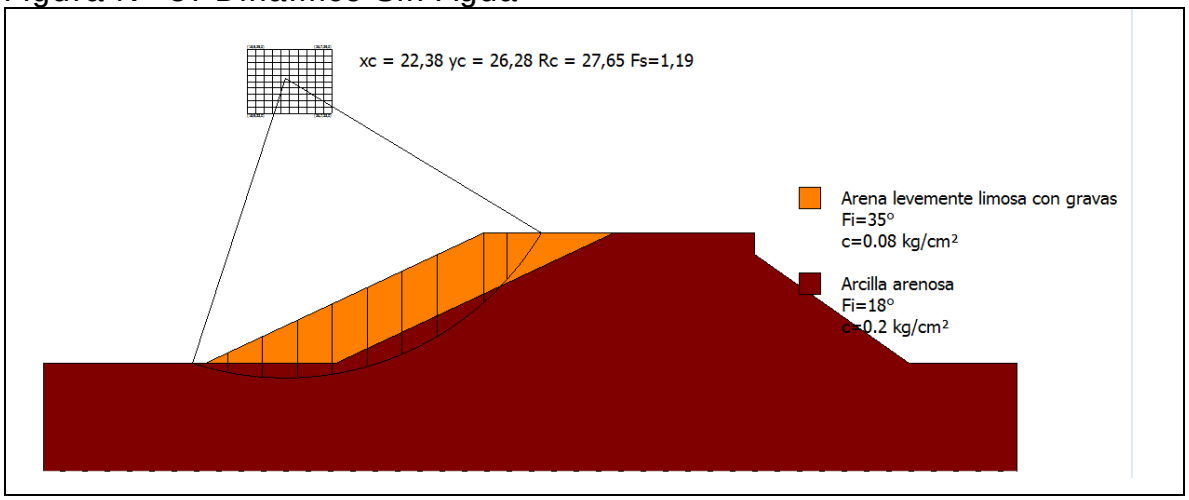


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El muro del embalse Los Maitenes sufrió graves daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en graves grietas longitudinales en el coronamiento del muro.

ii) De lo observado en la visita es posible establecer que se efectuaron reparaciones al muro, las que consistieron en mantener el muro original (muro arcillo arenoso de color café), que estaba en malas condiciones, y la colocación de un refuerzo tras él, con material arenoso (levemente limoso) con gravas en un espesor de 12 m.

iii) Conforme al punto anterior, el muro original (en base a arcilla arenosa) dará la impermeabilidad, mientras que el nuevo muro (arena limosa con gravas) dará la resistencia estructural.

iv) De lo observado en la visita, es posible establecer, que tal como se dijo, dejando el muro antiguo tal como estaba, se construyó un nuevo muro aguas abajo del original de manera que sirviera de respaldo al anterior. Se desconoce si esta reparación cuenta con proyecto de ingeniería.

v) Al momento de la visita el embalse se encontraba vacío, por lo que no fue posible observar la existencia de filtraciones.

vi) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vii) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son mayores o iguales a los mínimos habitualmente aceptados.

viii) El embalse Los Maitenes se aprecia en buenas condiciones. De la revisión del proyecto de reparación efectuada por el Ingeniero Civil Agrícola don Patricio Cordero Núñez, se puede señalar que desde el punto de vista geotécnico, el proyecto efectuado tiene deficiencias graves en el análisis de la estabilidad de taludes. No hace un análisis geotécnico de las propiedades de los materiales, tanto de los rellenos como de la fundación. Tampoco presenta un algún cálculo de la determinación de filtraciones.

30.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 30-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Los Maitenes	Arcilla Arenosa	64,5	0	21,5	3	12,0	36,0	Si

30.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 30-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Los Maitenes	Lateral	Canal de Tierra		2	2	1	0,002	0,035				**1,39**

30.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Los Maitenes, Río Claro, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g**
es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,6
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	0,6

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	0,6

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 1,39 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,252 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 0,35 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	10,76	0,95
0,002 (T= 500 años)	11,92	
0,001 (T= 1.000 años)	13,08	

Como la capacidad efectiva es de 0,35 m3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,5.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,004 (T= 250 años)

Así, se escoge al sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,043
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,6
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,043 x 0,6 x 1,0= 2,6 %

31. EMBALSE CHÉPICA

31.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Chépica.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	CHEPICA	Nº de ficha	26
Propietario	Polar Star Mining Corporation	Fecha (dd/mm/año)	01-10-2014; 8:45 hrs.
	Camino Pencahue a Corinto S/N		
	comuna de Pencahue		
Año de construcción		Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Maule / 073		
Subcuenca / Código DGA	Maule Bajo/ 0738		
Fuente del recurso			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VII Región del Maule	
Provincia	Talca	
Comuna	Pencahue	
Coordenadas UTM ED		
Coordenadas UTM C	N 6.081.667	E 240.766
Coordenadas UTM EI		
Datum	WGS 84, Huso 19	
Altitud m.s n m	82	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

Riego	
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	X
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	162 m
Ancho del coronamiento	3 m
Desarrollo del talud aguas abajo	24 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud aguas abajo	30 °
Ángulo talud aguas arriba	30 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	12
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	10.580
Ancho máximo de la poza (m)	95
Largo de la poza (m)	139
Volumen declarado o proyectado (m3)	63.480

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	NO
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Irregular
Compacidad del material estructural	Media a Baja
Uniformidad de los taludes	Uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, de 0,4 m
Grietas visibles y su ubicación	sí, longitudinales mal muro mde hasta 30 m de 2 mm de espesor, prof. ideterminada
Indicios de deslizamientos y ubicación	NO
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	NO
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	NO
Tipo de revestimiento del muro	Talud aguas arriba presenta geomembrana
Estado general del muro	Regular

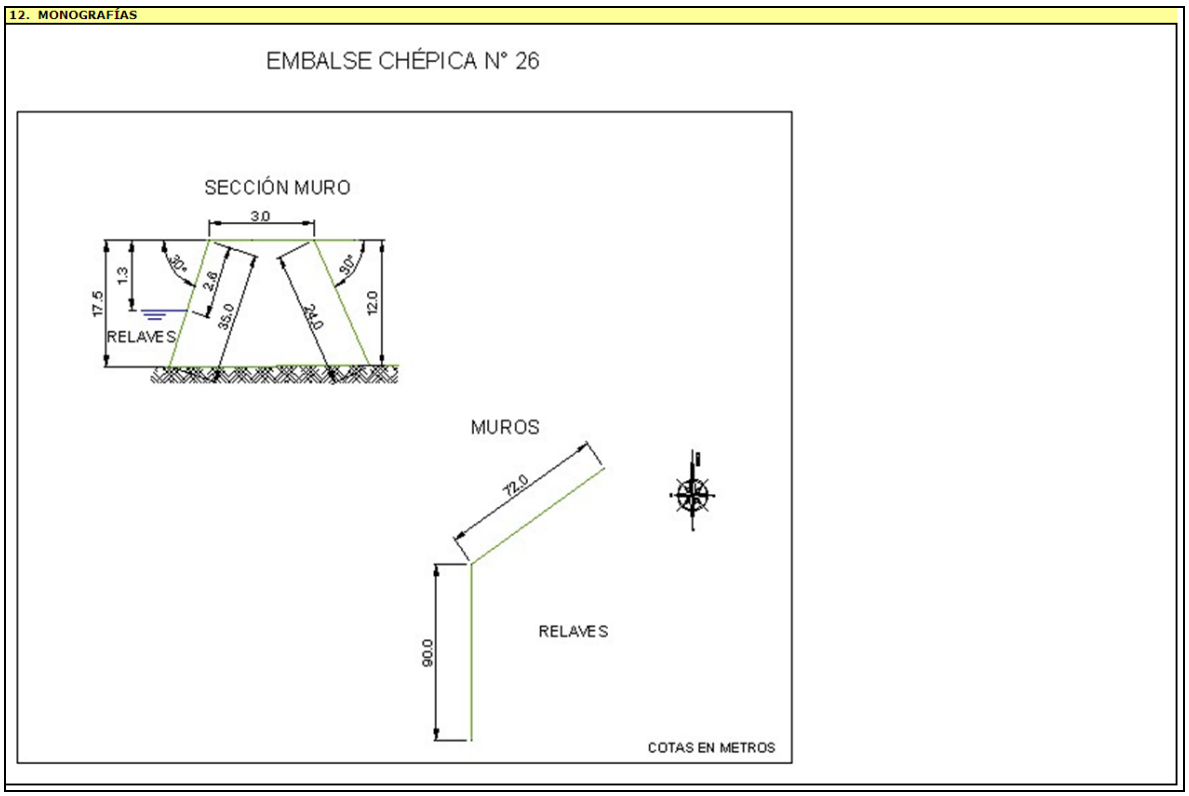
8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS			
Por su localización en relación a la estructura principal:		**Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:**	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		**Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:**	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	
Los datos a consignar son:			
Tipo de vertedero	NO TIENE VERTEDERO; TIENE CANALES DE CONTORNO PARA CAPTAR LAS AGUAS LLUVIAS		
Material constructivo			
Estado de conservación y operatividad			
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)			

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO	
Tipo de estructura	No posee obra de entrega
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO	
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Cauce de quebrada, terrenos pie de quebrada, pendiente media 0,025, ancho medio 150 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1,3 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	No hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,3 km
Área de riego servida por el tranque analizado	-

11. OBSERVACIONES
Tranque de relaves que no fue reparado después del terremoto del 2010

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE CHEPICA (26)
(Tranque de Relaves)

TALUD POR AGUAS ARRIBA

TALUD POR AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

GRIETA

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

31.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Chépica, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a rocas meteorizadas a arenas limosas, de color café claro. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta en estado natural.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de arcillas arenosas de color café. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

De lo observado en la visita efectuada es posible concluir, que el embalse de relaves Chépica que posee un muro en forma de v abierta, con su vértice hacia aguas abajo, sufrió daños importantes, consistentes en grietas longitudinales en su coronamiento. Al momento de la visita, un trabajador de la Compañía Minera propietaria del embalse se encontraba descubriendo una de las grietas, para determinar la profundidad de esta. Las grietas tienen espesores de 2 a 3 mm y longitudes de 10 a 40 metros. Según se informó, a la fecha de la visita, no se habían efectuado reparaciones al muro.

Se pudo observar que el talud de aguas arriba cuenta con una geomembrana que llega, según se informó, hasta el pie de dicho talud, enterrándose un metro en suelo natural.

Por otra parte, se debe señalar que para el nivel de relaves existente (embalse al 90% de su capacidad máxima), no se observaron filtraciones en el talud de aguas abajo. Sin embargo, es importante señalar que se han depositado varios metros de relleno al pie del talud de aguas abajo, con la intención de peraltar el muro.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total del muro 162 m; ancho de coronamiento 3 m; inclinación talud aguas arriba 30°; altura hasta el nivel de relaves 1.3 m; inclinación talud aguas abajo 30°; altura máxima talud aguas abajo 12 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del

CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

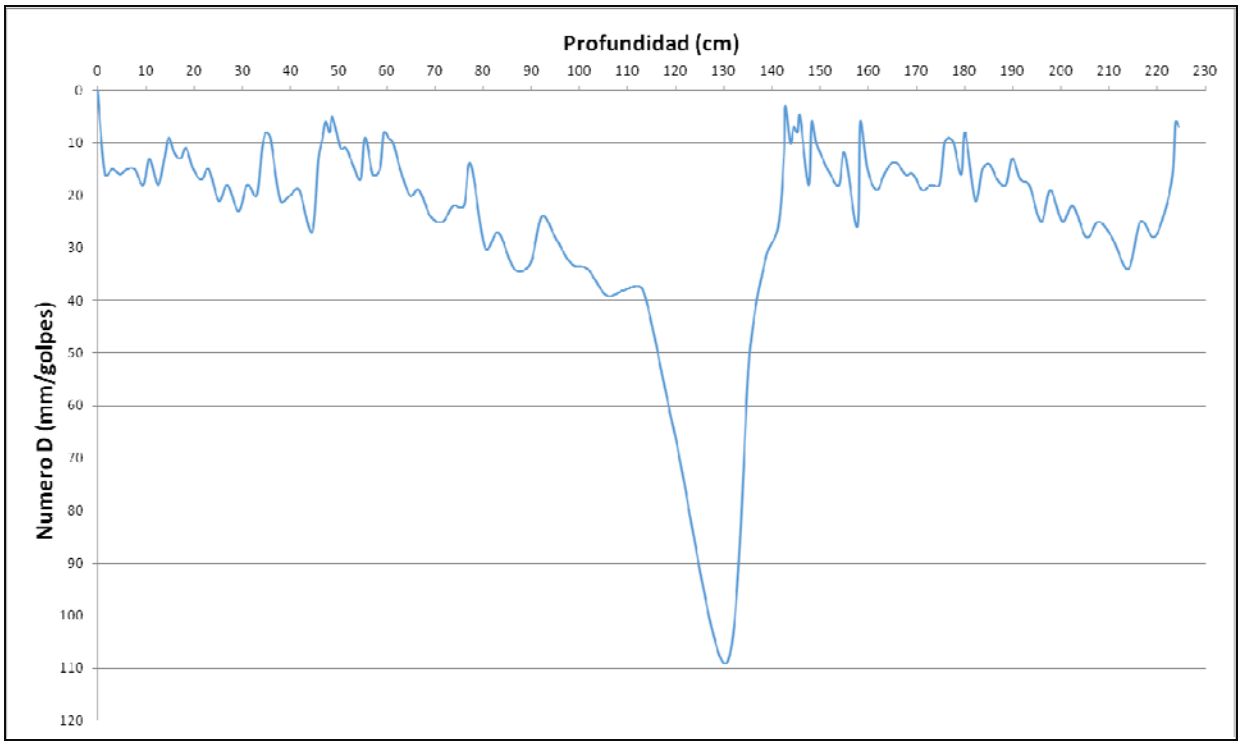
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Chepica

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetr [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetr [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetr [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1.6	115	131	16	12.1	41	58.7	687	702	15	13.1	81	155.2	641	653	12	17.4
2	3.1	131	146	15	13.1	42	59.5	702	710	8	29.0	82	157.8	653	679	26	6.6
3	4.7	146	162	16	12.1	43	60.4	710	719	9	25.0	83	158.4	679	685	6	41.6
4	6.2	162	177	15	13.1	44	61.4	719	729	10	21.9	84	159.9	685	700	15	13.1
5	7.7	177	192	15	13.1	45	62.9	729	744	15	13.1	85	161.8	700	719	19	9.7
6	9.5	192	210	18	10.4	46	64.9	744	764	20	9.1	86	163.4	719	735	16	12.1
7	10.8	210	223	13	15.7	47	66.8	764	783	19	9.7	87	164.8	735	749	14	14.3
8	12.6	223	241	18	10.4	48	69.2	783	807	24	7.3	88	166.2	749	763	14	14.3
9	13.9	241	254	13	15.7	49	71.7	807	832	25	6.9	89	167.8	763	779	16	12.1
10	14.8	254	263	9	25.0	50	73.9	832	854	22	8.1	90	169.4	779	795	16	12.1
11	16.0	263	275	12	17.4	51	76.1	854	876	22	8.1	91	171.3	795	814	19	9.7
12	17.3	275	288	13	15.7	52	77.5	62	76	14	14.3	92	173.1	814	832	18	10.4
13	18.4	288	299	11	19.4	53	80.5	76	106	30	5.5	93	174.9	832	850	18	10.4
14	19.9	299	314	15	13.1	54	83.2	106	133	27	6.3	94	175.9	34	44	10	21.9
15	21.6	314	331	17	11.2	55	86.6	133	167	34	4.7	95	176.8	44	53	9	25.0
16	23.1	331	346	15	13.1	56	89.9	167	200	33	4.9	96	177.8	53	63	10	21.9
17	25.2	346	367	21	8.6	57	92.3	0	24	24	7.3	97	179.4	63	79	16	12.1
18	27.0	367	385	18	10.4	58	95.1	24	52	28	6.0	98	180.2	79	87	8	29.0
19	29.3	385	408	23	7.7	59	98.4	52	85	33	4.9	99	182.3	87	108	21	8.6
20	31.1	408	426	18	10.4	60	101.8	85	119	34	4.7	100	183.8	108	123	15	13.1
21	33.1	426	446	20	9.1	61	105.7	119	158	39	3.9	101	185.2	123	137	14	14.3
22	34.2	446	457	11	19.4	62	109.5	158	196	38	4.1	102	186.9	137	154	17	11.2
23	35.0	457	465	8	29.0	63	113.3	196	234	38	4.1	103	188.7	154	172	18	10.4
24	35.9	465	474	9	25.0	64	119.8	234	299	65	2.1	104	190.0	172	185	13	15.7
25	38.0	474	495	21	8.6	65	130.7	299	408	109	1.1	105	191.7	185	202	17	11.2
26	40.0	495	515	20	9.1	66	135.6	408	457	49	3.0	106	193.5	2	20	18	10.4
27	41.9	515	534	19	9.7	67	138.8	457	489	32	5.1	107	196.0	20	45	25	6.9
28	44.6	534	561	27	6.3	68	141.4	489	515	26	6.6	108	197.9	45	64	19	9.7
29	45.9	561	574	13	15.7	69	142.6	515	527	12	17.4	109	200.4	64	89	25	6.9
30	46.8	574	583	9	25.0	70	142.9	527	530	3	99.7	110	202.6	89	111	22	8.1
31	47.4	583	589	6	41.6	71	143.9	530	540	10	21.9	111	205.4	111	139	28	6.0
32	48.2	589	597	8	29.0	72	144.6	540	547	7	34.3	112	207.9	139	164	25	6.9
33	48.7	597	602	5	52.4	73	145.4	547	555	8	29.0	113	210.7	164	192	28	6.0
34	49.4	602	609	7	34.3	74	145.9	555	560	5	52.4	114	214.1	192	226	34	4.7
35	50.5	609	620	11	19.4	75	147.7	560	578	18	10.4	115	216.6	226	251	25	6.9
36	51.6	620	631	11	19.4	76	148.3	578	584	6	41.6	116	219.4	251	279	28	6.0
37	53.0	631	645	14	14.3	77	149.3	584	594	10	21.9	117	221.7	279	302	23	7.7
38	54.7	645	662	17	11.2	78	150.6	594	607	13	15.7	118	223.3	302	318	16	12.1
39	55.6	662	671	9	25.0	79	152.2	607	623	16	12.1	119	223.9	318	324	6	41.6
40	57.2	671	687	16	12.1	80	154.0	623	641	18	10.4	120	224.6	324	331	7	34.3

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta la mayor cantidad de valores entre 10 y 30 mm/golpe. Esto se puede relacionar a suelos finos de consistencia media-baja. Entre las profundidades 100 y 140 cm se encontró un estrato de suelo menos consistente, con valores de D mayores a 100 mm/golpe, lo que puede corresponder a una oquedad en el relleno.

31.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El tranque de relaves Chépica se encuentra en la comuna de Pencahue, provincia de Talca, Región del Maule. Partiendo desde dicha comuna, se llega a él tomando la ruta K-60 hacia la costa; al llegar al cruce con la ruta K-540, tomar ésta en dirección sur-poniente, la que al cabo de 800m deja a las afueras del camino privado que lleva directamente al tranque.

El terreno aguas abajo del tranque está compuesta por tipos de superficie, a saber:

- Ladera de cerro altamente intervenida y desforestada.
- Valle de cultivos con alfombra vegetal de baja densidad.

Dado lo anterior, el eje del cauce, en caso de colapso del muro, no se encuentra bien defino; esto se tradujo en la necesidad de trazar dicho eje uniendo los puntos bajos de la superficie en el sentido de las aguas.

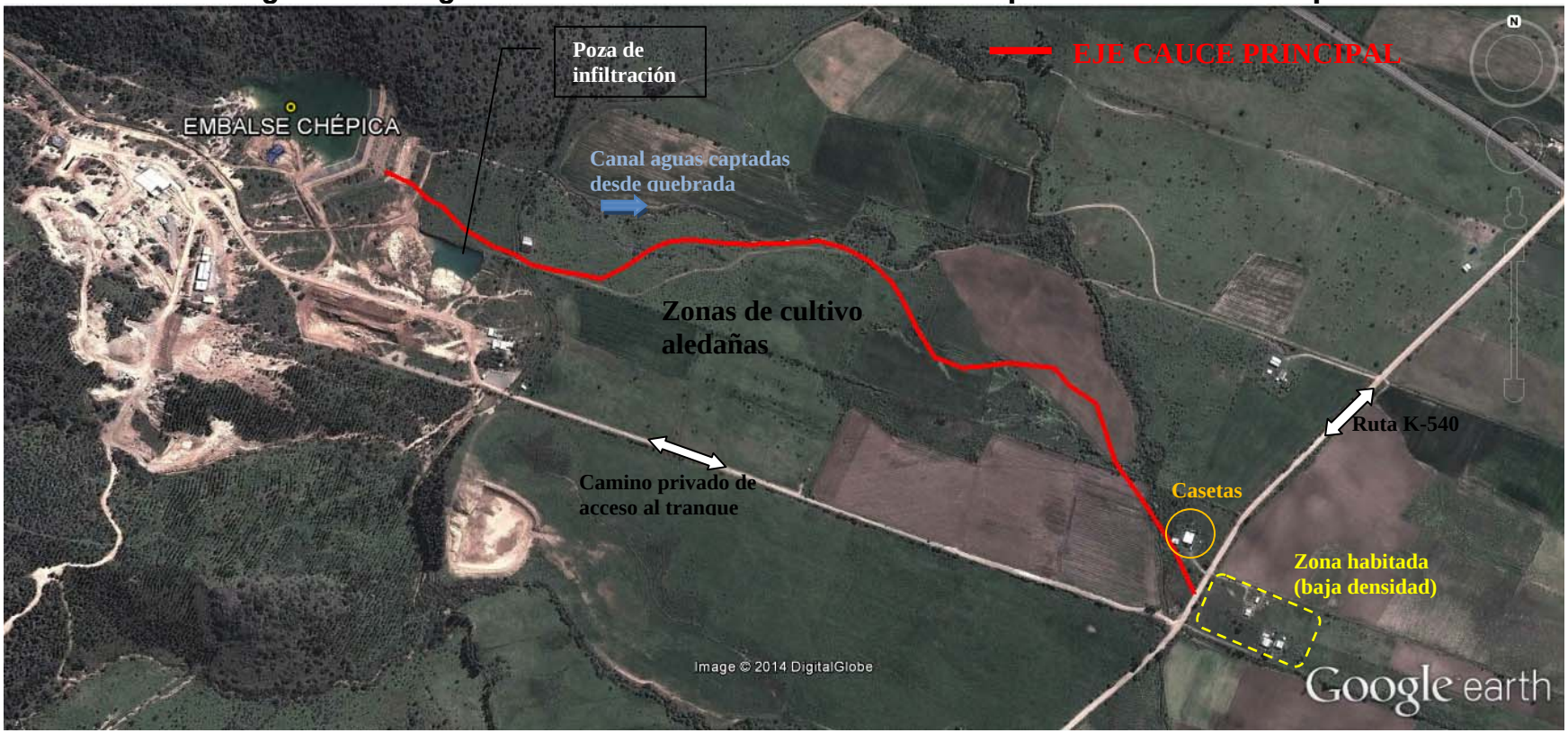
Así entonces, el cauce obtenido arroja una pendiente a favor del escurrimiento de 2,46%, a lo largo de un recorrido total de 1,3km, medido desde los pies del tranque hasta su punto de intersección con la ruta K-540.

En cuanto a la infraestructura presente en la eventual zona de inundación, se aprecia lo siguiente:

- ✓ Poza de infiltración al pie del estribo derecho del muro.
- ✓ Camino privado de acceso al tranque.
- ✓ Canalización de aguas provenientes de la quebrada aguas arriba del tranque.
- ✓ Casetas y otras dependencias pertenecientes al recinto del tranque.
- ✓ Ruta K-540.
- ✓ Algunas viviendas ubicadas fuera del recinto del tranque, al otro lado de la ruta K-540.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra el contexto del embalse respecto de su zona de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Tranque de Relaves Chépica



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del tranque de relaves Chépica:

CUADRO 31-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – TRANQUE DE RELAVES CHÉPICA

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Chépica	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Faldeo a los pies del muro y valle de cultivo	---
	Tipo de Terreno	Alfombra vegetal de cultivos	---
	Pendiente Media	0,0246	m/m
	Ancho medio	Relativo a la magnitud de la eventual falla del muro	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	1,3	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	1,3	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

31.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Chépica	1,939	1,764	420	94	326

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,197	0,215	0,665	0,431

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 31-2 siguiente.

CUADRO 31-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	RACIONAL (m3/s)	HUS (m3/s)	ADOPTADO (m3/s)	MAX (m3/s)
26 Embalse Chépica	2	0,71	1,05	2,66	2,60	-	2,60	2,66
	5	1,15	1,71	4,00	3,71	-	3,71	4,00
	10	1,44	2,20	4,95	4,57	-	4,57	4,95
	20	1,71	2,68	5,84	5,74	-	5,74	5,84
	25	1,81	2,83	6,11	5,95	-	5,95	6,11
	50	2,09	3,26	6,86	7,10	-	7,10	7,10
	100	2,36	3,71	7,60	8,48	-	8,48	8,48
	250	2,77	4,36	8,92	8,35	-	8,35	8,92
	500	3,06	4,83	9,79	9,04	-	9,04	9,79
	1000	3,35	5,31	10,67	9,74	-	9,74	10,67

31.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Chépica fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Chépica	Arcilla arenosa	18	0,20	1,80	12	30	30	3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.35
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.06
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.32

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.36
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.04

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

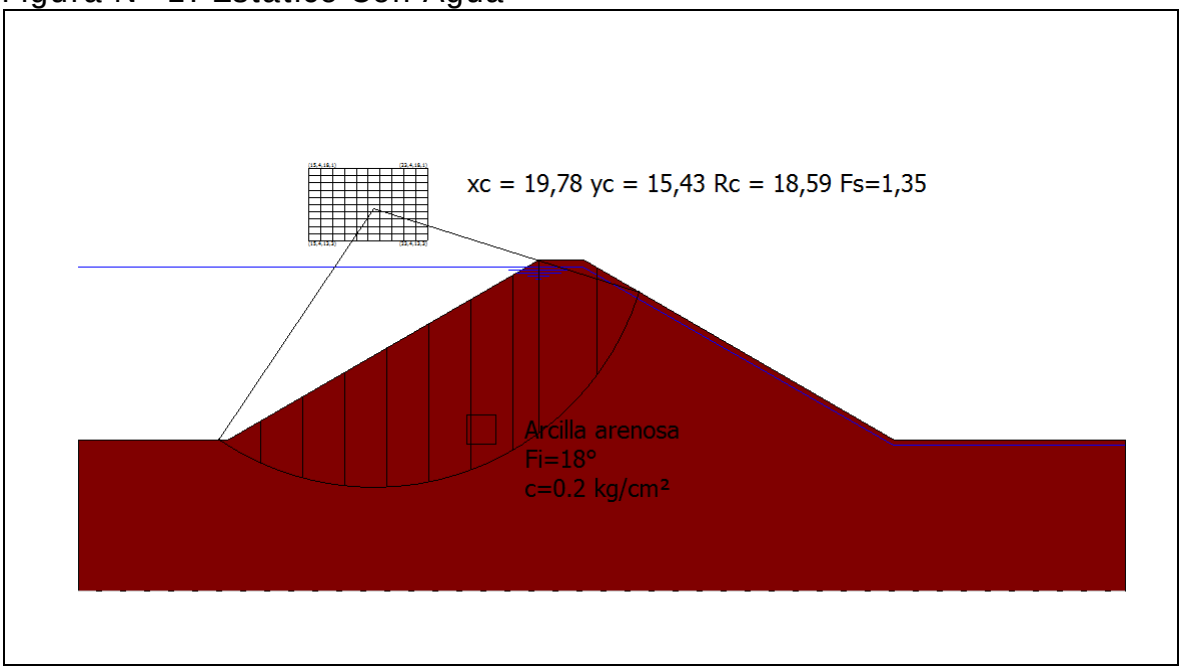


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

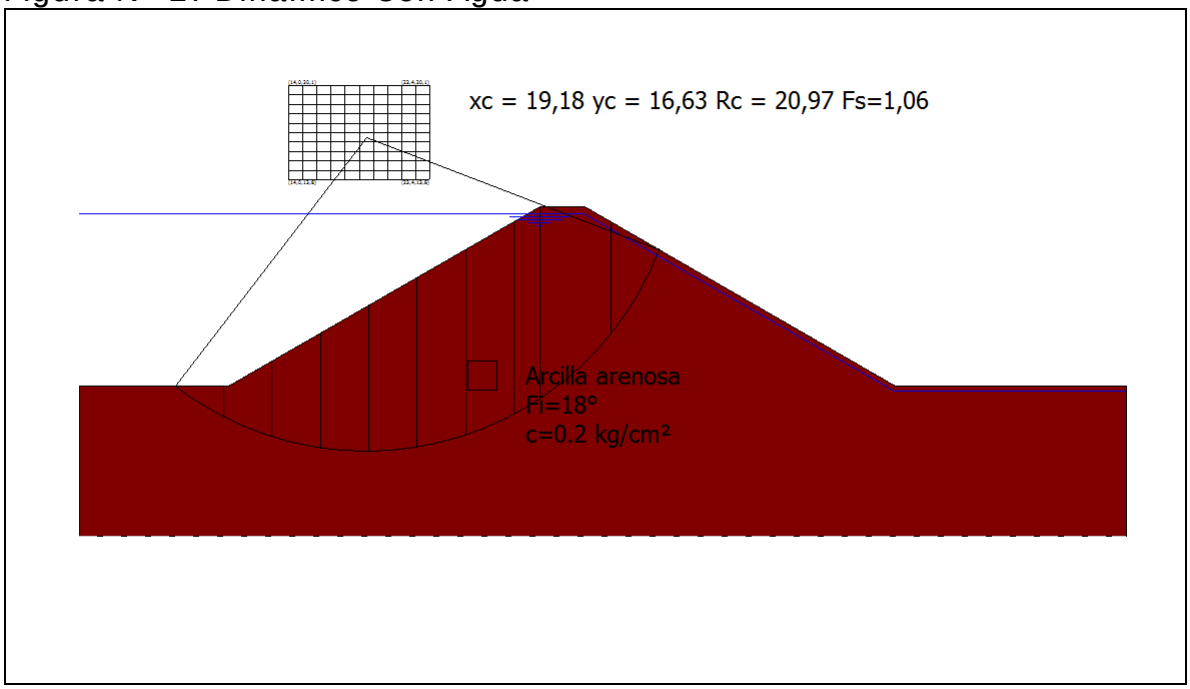
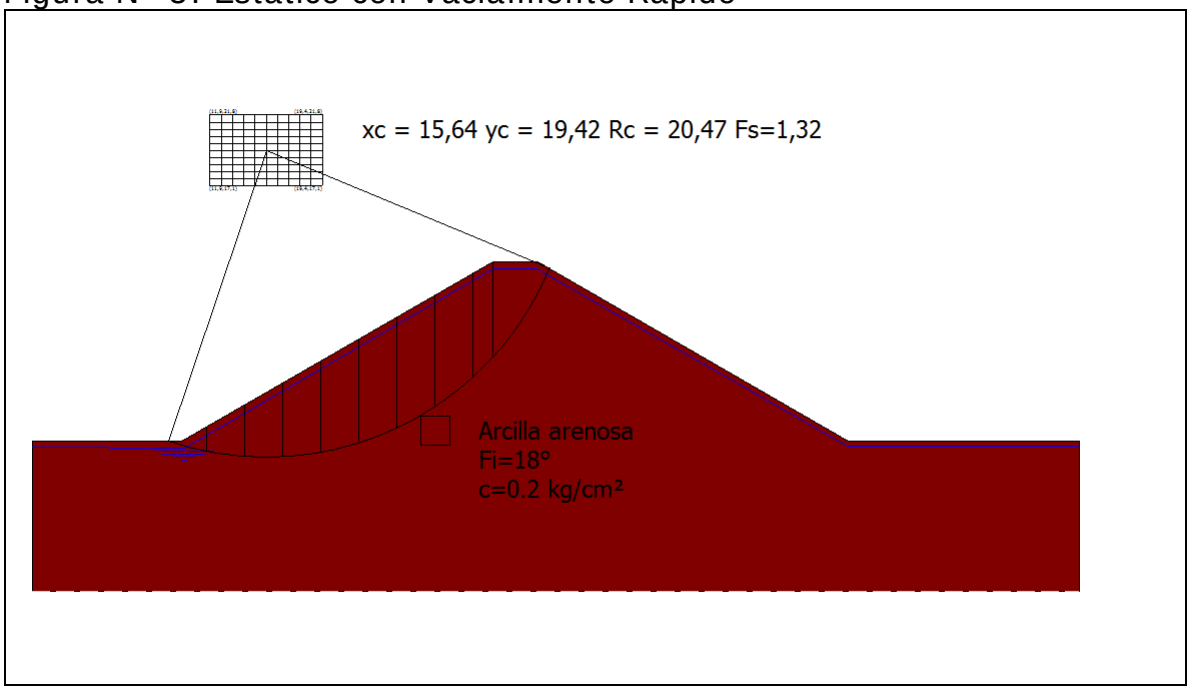


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

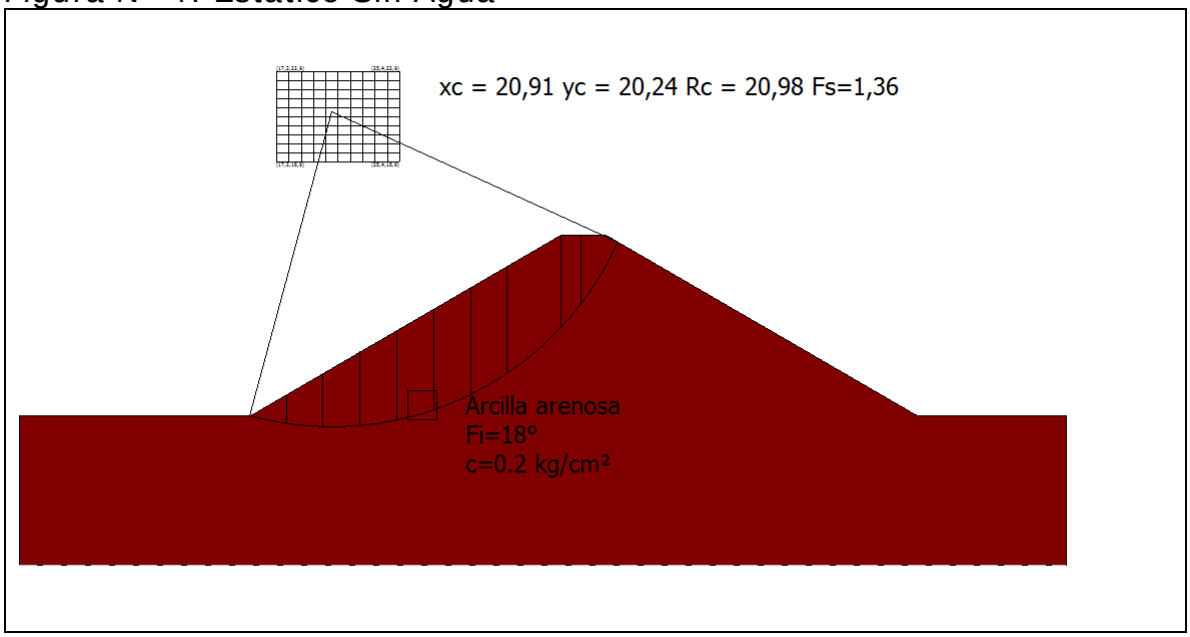
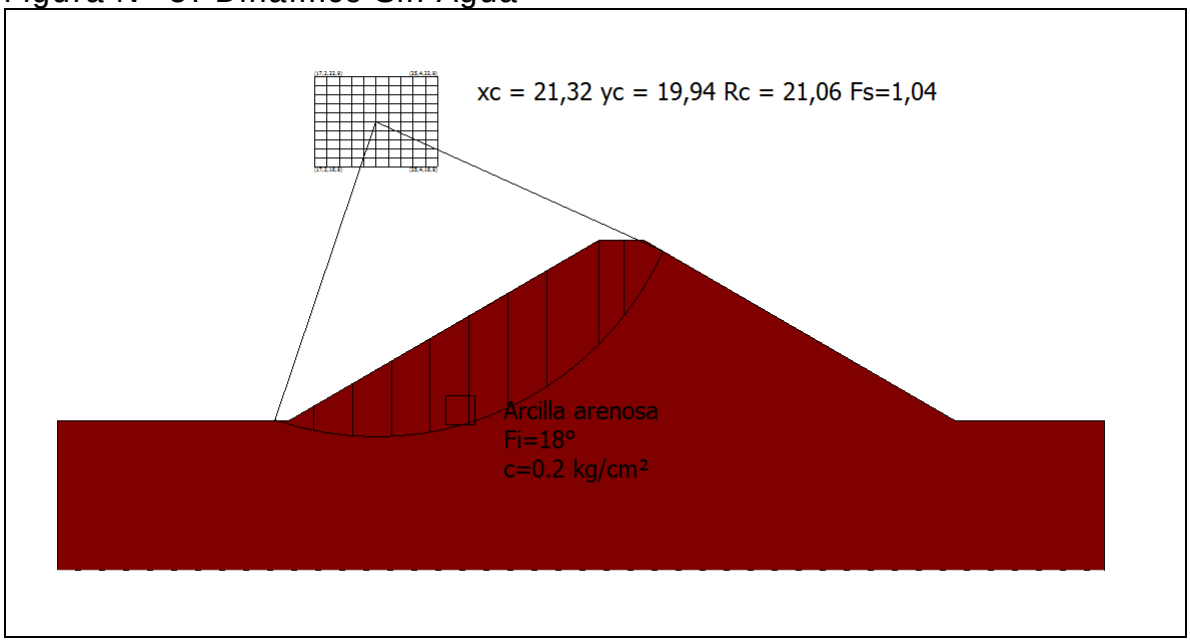


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) De lo observado en la visita efectuada es posible concluir que, el muro del embalse Chépica sufrió daños importantes con el terremoto del año 2010, consistentes en grietas longitudinales en su coronamiento.

ii) Al momento de la visita, un trabajador de la Compañía Minera propietaria del embalse se encontraba descubriendo una de las grietas, para determinar la profundidad de ésta. Las grietas tienen espesores de 2 a 3 mm y longitudes de 10 a 40 metros. Según se informó, a la fecha de la visita, no se habían efectuado reparaciones al muro.

iii) Se pudo observar que el talud de aguas arriba cuenta con una geomembrana que llega, según se informó, hasta el pie de dicho talud, enterrándose un metro en suelo natural.

iv) Para el nivel de relaves existente (embalse al 90% de su capacidad máxima), no se observaron filtraciones en el talud de aguas abajo. Sin embargo, es importante señalar que se han depositado varios metros de relleno al pie del talud de aguas abajo, con la intención de peraltar el muro.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Se recomienda solicitar a los propietarios del embalse Chépica efectuar las reparaciones que aseguren la integridad del muro.

viii) Las reparaciones deberán efectuarse en conformidad con un proyecto que deberá desarrollar un ingeniero civil competente. Dicho estudio deberá contar con la aprobación de la DGA, con la consideración especial de que se trata de un embalse que acumula relaves.

31.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 31-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Chépica	Arcilla arenosa	18	0,20	1,80	12	30	30	3

31.7. Caudal Máximo en Vertedero

Corresponde a un tranque de relave y no tiene vertedero.

31.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Chépica, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** **g**
es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **8,019**

A= **392,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **33,2** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02
cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 33,2 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 33,2 años, o 0,03.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	0,95

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: No dispone de vertedero.

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s (No dispone de vertedero)

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	8,35	0,95
0,002 (T= 500 años)	9,04	
0,001 (T= 1.000 años)	9,74	

Nota: Embalse Tipo A (T= 250 años)

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	E1	Valor adoptado
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,03
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,004 (T= 250 años)

Así, se escoge al Sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,03
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,03 x 0,95 x 1,0= 2,9 %

32. EMBALSE LAS MERCEDES NUEVO

32.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Las Mercedes Nuevo.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	LAS MERCEDES NUEVO (2)	Nº de ficha / ID (mapa)	27
Propietario	Comunidad de Aguas Las Mercedes	Fecha (dd/mm/año)	11-09-2014: 13:20 hrs.
	Luis Galleguillos Campos		
	Correo Cumpeo, Parcelación Las		
	Mercedes, comuna de Río Claro		
Año de construcción	1970	Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO PARCIALMENTE	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Maule/073		
Subcuenca / Código DGA	Río Claro/0737		
Fuente del recurso	ESTERO LOS ROBLES		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VII REGIÓN DEL MAULE
Provincia	TALCA
Comuna	RIO CLARO
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.096.968 Este= 294.497
Coordenadas UTM Izq	
Datum/ huso	WGS 84 / Huso 19
Altitud	314 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	860 m
Ancho del coronamiento	3 m
Desarrollo del talud aguas abajo	10 m (muro Oeste)
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas	NO APRECIABLE
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	37 ° (muro Oeste)
Ángulo talud de aguas arriba	15 ° (muro Oeste)

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	6
Profundidad máxima de agua en sector del muro	seco
Área estimada o calculada de la poza (m2)	46.000
Ancho máximo de la poza (m)	230
Largo de la poza (m)	200
Volumen declarado o proyectado (m3)	110.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	regular
Compacidad del material estructural	media - baja
Uniformidad de los taludes	uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	sí, esquina suroeste
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al	no (embalse seco)

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	X
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se***	
Vertedero de pared delgada	X	Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vert. De Pozo o Bocina, en sector de entrega para riego
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	Regular
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	L= 2,8 m, H= 0,3 m. Capacidad Vertedero (Q)=0,55 m3/s

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	con salida a canal
Mediciones estructurales	0,9 m de ancho por 4 m de largo
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno,	valle agrícola
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	no hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	media
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,9 km
Área de riego servida por el tranque analizado	180 há

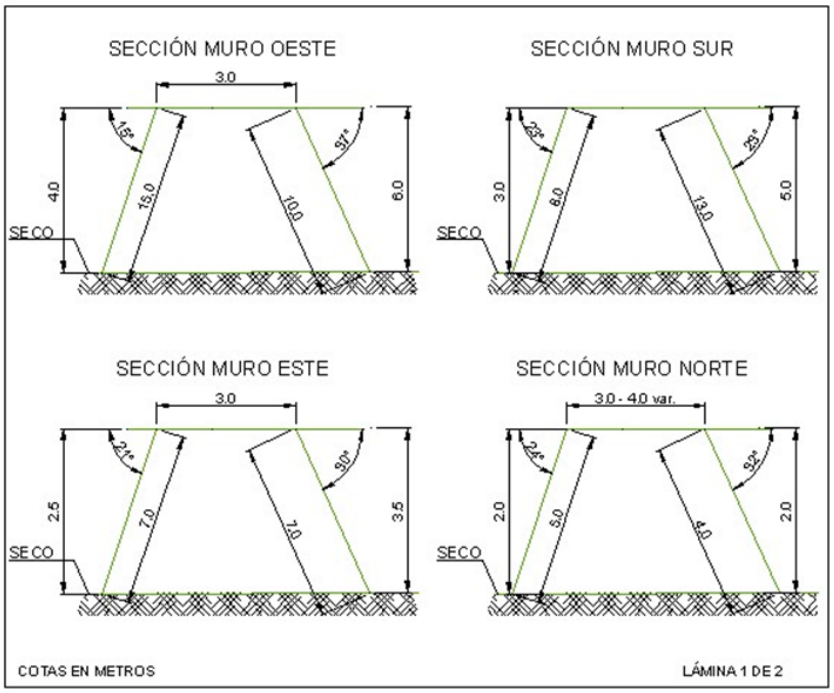
11. OBSERVACIONES

Embalse en regular estado

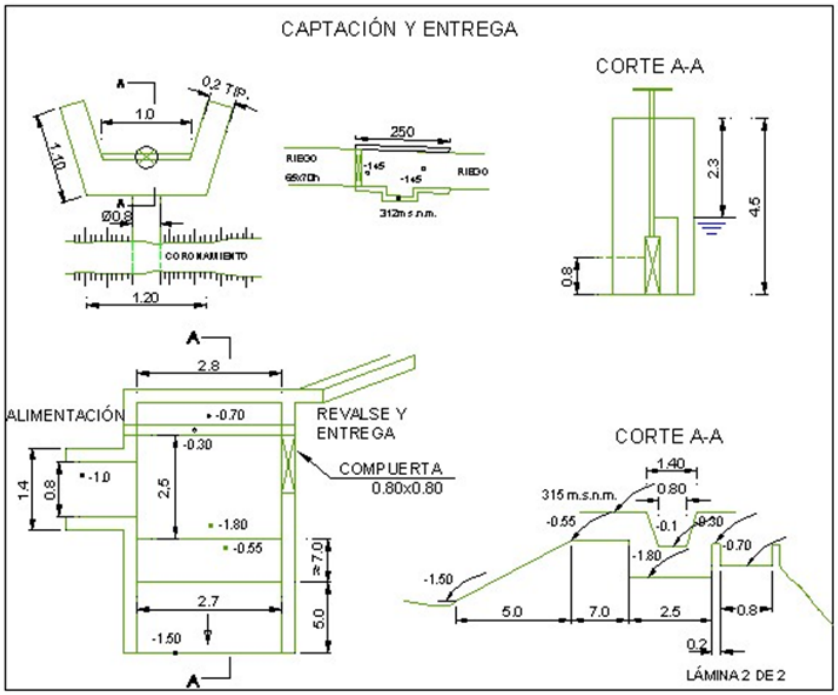
Al parecer se reparó el muro Oeste, el resto de los muros no fueron reparados

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE LAS MERCEDES NUEVO N° 27



EMBALSE LAS MERCEDES NUEVO N° 27



EMBALSE LAS MERCEDES NUEVO (27)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

VERTEDERO Y OBRA DE ALIMENTACIÓN

OBRA DE ENTREGA

32.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Las Mercedes Nuevo, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, permeabilidad media a baja y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta está construida con suelos semejantes a los definidos en el párrafo anterior, es decir, limos arenosos de color café, plasticidad media a baja, permeabilidad media a baja y compacidad media.

El muro del embalse Las Mercedes Nuevo sufrió daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en graves grietas longitudinales en el coronamiento del muro, especialmente en los muros oeste y sur. En el mismo año 2010 se efectuaron algunas reparaciones someras en el muro oeste, utilizando una retroexcavadora que excavó ligeramente el sector de las grietas y luego colocó el mismo material reperfilando los taludes. Se desconoce si para efectuar las reparaciones ya comentadas se contó con algún proyecto de ingeniería.

De lo observado en la visita, es posible establecer que si bien en el muro oeste no se aprecian grietas ni deformaciones, en el muro sur aún se encuentran las grietas observadas el año 2010 (aunque es difícil descubrirlas debido a la vegetación que las cubre). Al momento de la visita el embalse se encontraba vacío, por lo que no fue posible observar la existencia de filtraciones.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total de los muro 860 m (el embalse se compone de 4 muros orientados aproximadamente según los signos cardinales); ancho de coronamiento variable entre 3 y 4 metros; inclinación talud aguas arriba variable entre 15 y 24°; altura hasta el nivel de agua variable entre 2 y 4 m (embalse vacío); inclinación talud aguas abajo variable entre 30 y 37°; altura máxima talud aguas abajo 5 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del

CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

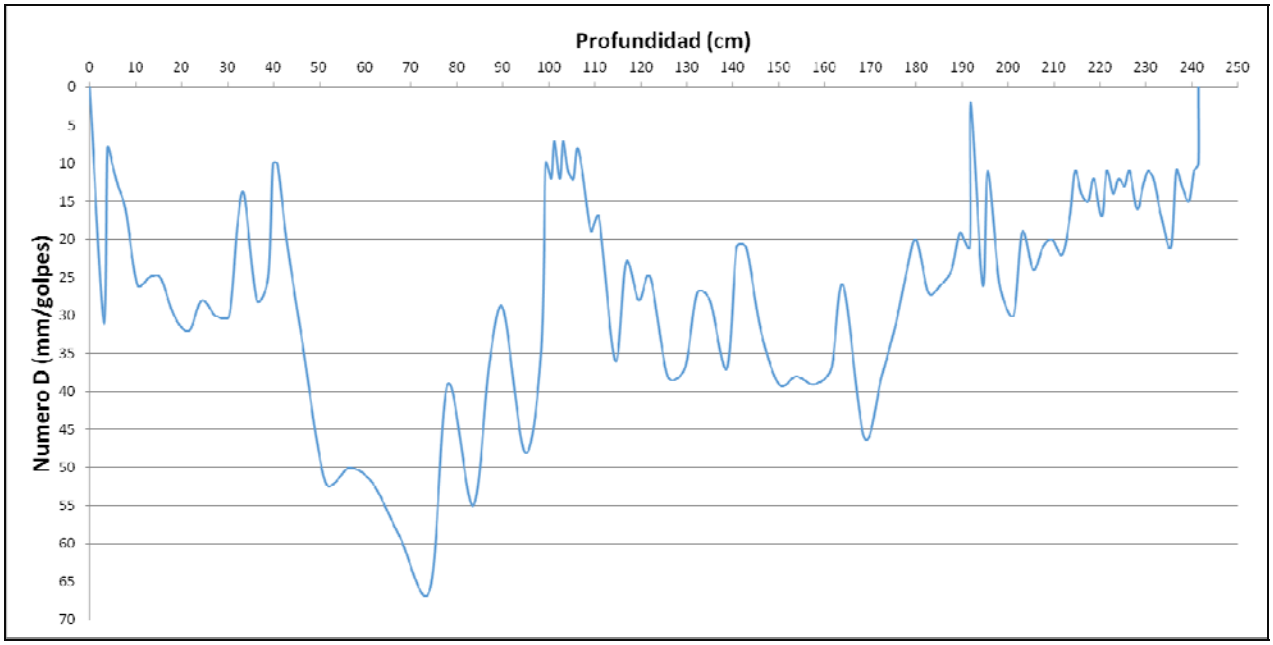
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Mercedes Nuevo

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	3.1	106	137	31	5.3	41	107.3	165	176	11	19.4	81	226.6	201	218	17	11.2
2	3.9	137	145	8	29.0	42	109.2	176	195	19	9.7	82	227.7	230	241	11	19.4
3	4.9	145	155	10	21.9	43	110.9	195	212	17	11.2	83	229.1	241	255	14	14.3
4	6.2	155	168	13	15.7	44	114.5	212	248	36	4.4	84	230.6	255	270	15	13.1
5	7.8	168	184	16	12.1	45	116.8	248	271	23	7.7	85	231.8	270	282	12	17.4
6	10.4	184	210	26	6.6	46	119.6	271	299	28	6.0	86	233.5	282	299	17	11.2
7	12.9	210	235	25	6.9	47	122.1	299	324	25	6.9	87	234.6	299	310	11	19.4
8	15.4	235	260	25	6.9	48	125.9	324	362	38	4.1	88	236.0	310	324	14	14.3
9	18.4	260	290	30	5.5	49	129.6	362	399	37	4.2	89	237.2	324	336	12	17.4
10	21.6	290	322	32	5.1	50	132.3	399	426	27	6.3	90	238.5	336	349	13	15.7
11	24.4	322	350	28	6.0	51	135.1	426	454	28	6.0	91	239.6	349	360	11	19.4
12	27.4	350	380	30	5.5	52	138.8	454	491	37	4.2	92	241.2	360	376	16	12.1
13	30.4	380	410	30	5.5	53	140.9	491	512	21	8.6	93	242.5	376	389	13	15.7
14	32.2	410	428	18	10.4	54	143.0	512	533	21	8.6	94	243.6	389	400	11	19.4
15	33.6	428	442	14	14.3	55	146.2	533	565	32	5.1	95	244.8	400	412	12	17.4
16	36.4	442	470	28	6.0	56	150.1	565	604	39	3.9	96	246.5	412	429	17	11.2
17	38.9	470	495	25	6.9	57	153.9	604	642	38	4.1	97	248.6	429	450	21	8.6
18	39.9	495	505	10	21.9	58	157.8	642	681	39	3.9	98	249.7	450	461	11	19.4
19	40.9	505	515	10	21.9	59	161.5	681	718	37	4.2	99	251.0	461	474	13	15.7
20	42.9	515	535	20	9.1	60	164.1	718	744	26	6.6	100	252.5	474	489	15	13.1
21	46.2	535	568	33	4.9	61	168.7	744	790	46	3.2	101	253.6	489	500	11	19.4
22	51.4	568	620	52	2.7	62	172.5	782	820	38	4.1	102	254.6	500	510	10	21.9
23	56.4	620	670	50	2.9	63	175.6	820	851	31	5.3	103	254.6	510	0	0	0.0
24	61.6	670	722	52	2.7	64	178.0	851	875	24	7.3						
25	67.5	722	781	59	2.3	65	180.0	65	85	20	9.1						
26	74.1	781	847	66	2.0	66	182.7	85	112	27	6.3						
27	78.0	28	67	39	3.9	67	185.3	112	138	26	6.6						
28	83.5	67	122	55	2.6	68	187.7	138	162	24	7.3						
29	87.1	122	158	36	4.4	69	189.6	162	181	19	9.7						
30	90.0	158	187	29	5.7	70	191.7	181	202	21	8.6						
31	94.8	187	235	48	3.0	71	191.9	0	2	2	166.2						
32	98.3	0	35	35	4.5	72	194.5	2	28	26	6.6						
33	99.3	86	96	10	21.9	73	195.6	28	39	11	19.4						
34	100.5	96	108	12	17.4	74	205.4	39	137	98	0.0						
35	101.2	108	115	7	34.3	75	214.3	65	154	89	1.4						
36	102.4	115	127	12	17.4	76	216.2	95	114	19	9.7						
37	103.1	127	134	7	34.3	77	218.6	114	138	24	7.3						
38	104.2	134	145	11	19.4	78	220.7	138	159	21	8.6						
39	105.4	145	157	12	17.4	79	222.7	159	179	20	9.1						
40	106.2	157	165	8	29.0	80	224.9	179	201	22	8.1						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores sobre 25 mm/golpes entre 20 y 95 cm de profundidad. Valores que se relacionan con una compacidad baja. Seguido de esto, los valores del numero D tienden a disminuir sobre todo entre los 100 a 110 cm y 190 a 240 cm de profundidad, valores que son concordantes con suelos de compacidad media.

32.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Las Mercedes Nuevo se ubica en la comuna de Río Claro, provincia de Talca, Región del Maule.

Para llegar a él se debe tomar la ruta K-31 por la ruta 5 a la altura de Camarico y seguir en ella en dirección a la cordillera hasta su intersección con la ruta K-15, la que se debe tomar en dirección al norte. Manteniéndose en ella en la dirección señalada, unos 4km al norte de dicha intersección se encuentra el camino privado que lleva al embalse en estudio.

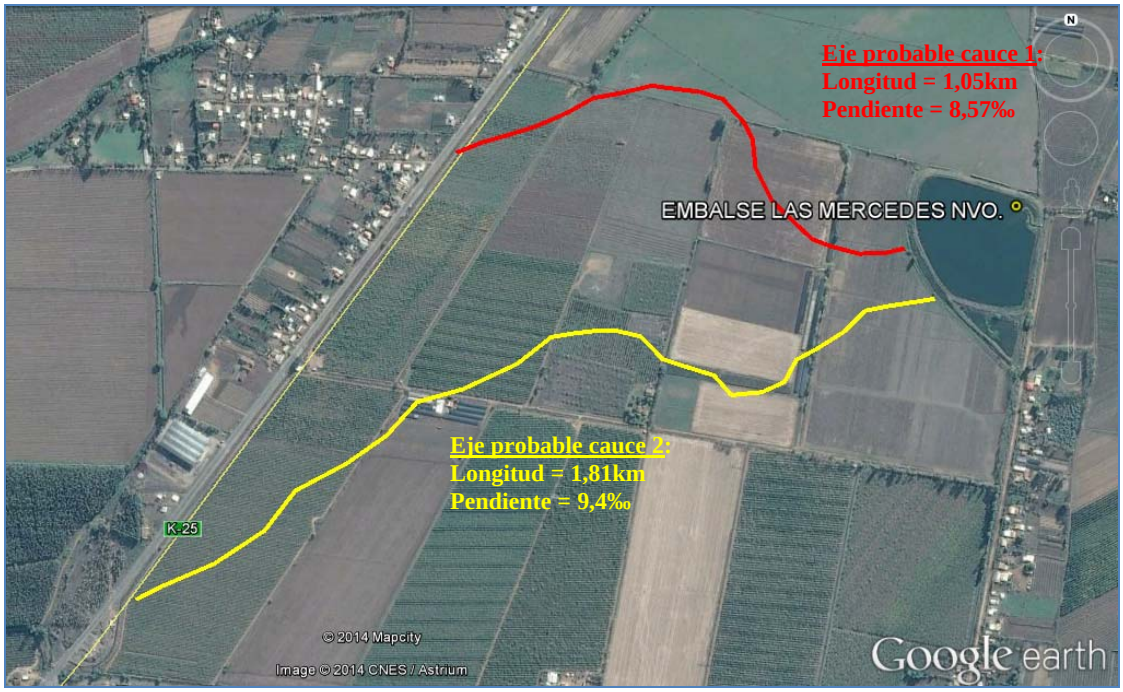
Este embalse posee tres muros: 2 rectos y uno curvo, los que en planta forman un cuarto de círculo. Sin embargo, dado que sólo el muro curvo se orienta hacia superficie de menor cota que el embalse, se destaca como única vía de inundación la adyacente a él.

Cabe destacar que el embalse Las Mercedes Nuevo no posee cuenca propia, ya que es llenado a partir de un canal alimentador, cuyas aguas provienen del río Claro.

En referencia al eje del cauce aguas abajo del muro curvo, no es posible definir de manera segura su trayecto, debido a que la superficie circundante corresponde a un valle completamente agrícola, sin cauces visibles.

Luego, al inspeccionar altimétricamente dicha superficie, se detectan dos vías de inundación alternativas. En la siguiente figura se muestran dos posibilidades de eje, resultantes de la unión de los puntos más bajos del valle en el sentido de las aguas.

Posibles vías de escurrimiento ante falla de muro curvo – Embalse Las Mercedes Nuevo



Tal como se ve, ambos cauces interceptan la ruta K-15, pero el caso 1 (de color rojo) tiene una longitud un 43% menor que la del cauce 2; por ende, pese a que el cauce 2 tiene una pendiente un poco mayor, se considerará que la vía preferente de inundación tiene su eje según lo

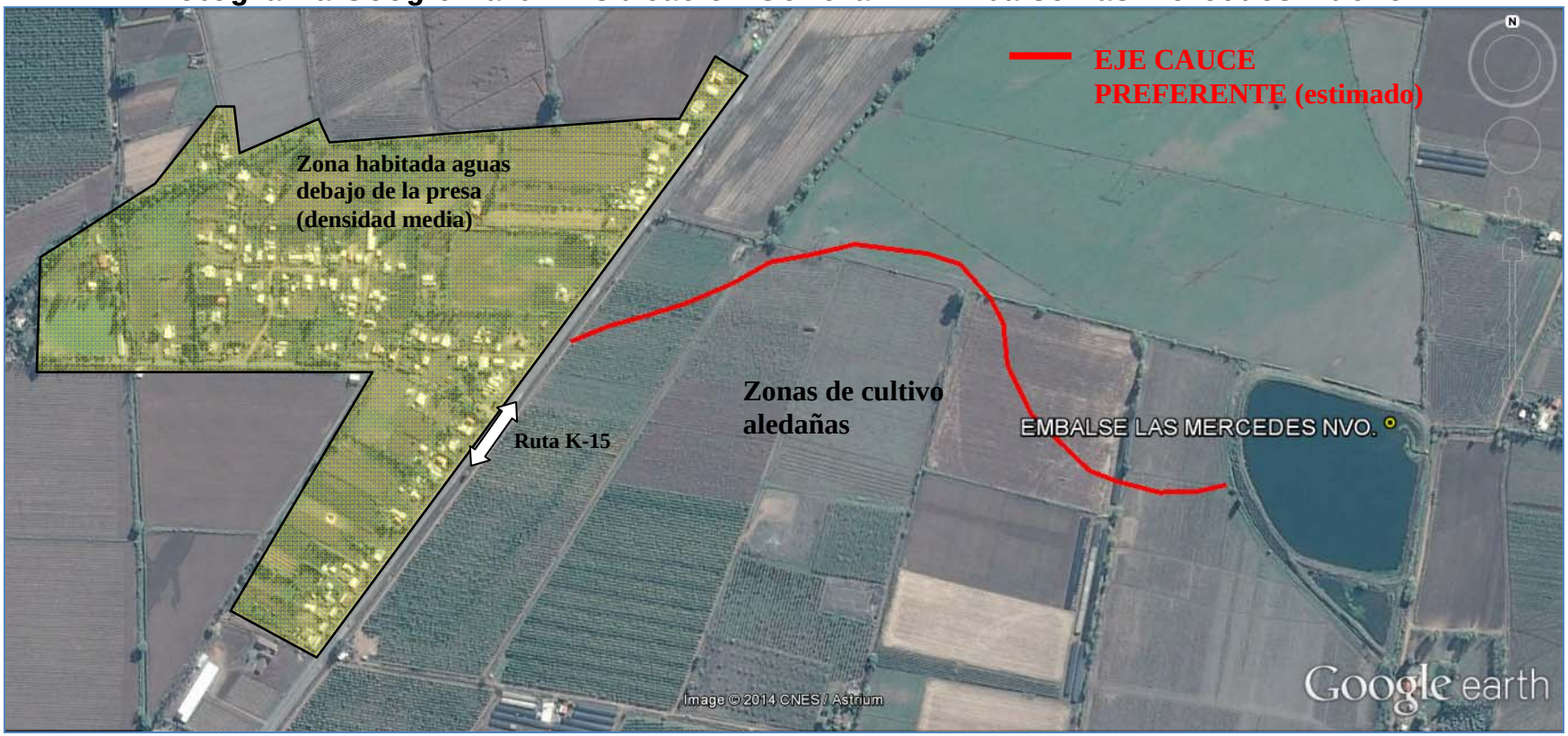
indica el cauce 1. Los datos correspondientes se aprecian en la figura anterior.
En referencia al tipo de suelo aguas abajo del muro, éste es fundamentalmente agrícola, sin zonas habitadas, al menos no aguas arriba del cruce del eje trazado con la ruta K-15. Sin embargo, al otro lado de la calzada se aprecian viviendas con densidad poblacional estimada en media.

En cuanto a la infraestructura importante expuesta, tal como se señalara anteriormente, se encuentra la ruta K-15, la que está a una distancia de 890m aguas abajo del muro, distancia medida de forma radial desde los pies del embalse.

Además de la infraestructura nombrada, no se encuentran otras que sean de importancia dentro del área de estudio.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse en relación a la zona inundable de aguas abajo, tomando como referencia el cauce 1.

Fotograma Google Earth – Ubicación General – Embalse Las Mercedes Nuevo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Las Mercedes Nuevo:

CUADRO 32-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE LAS MERCEDES NUEVO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Las Mercedes Nuevo	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle agrícola sin vía preferente claramente definida	---
	Tipo de Terreno	Agrícola	---
	Pendiente Media (1)	No hay cauce	m/m
	Ancho medio	No hay cauce	---
DISTANCIAS A	Centros Poblados medidos por el Cauce	1,05	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (2)	0,89	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Media	---

(1) Corresponde a la pendiente media del cauce 1.
(2) Distancia medida en línea recta desde el muro del embalse.

32.4. Caudales Máximos Instantáneos

No se realiza estudio hidrológico de crecidas afluentes al embalse, ya que no posee cuenca aportante.

32.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Las Mercedes Nuevo fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Las Mercedes Nuevo	Limo arenoso	28	0,10	1,80	5	24	37	3 a 4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.05
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.67
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	2.22

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.69
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.42

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

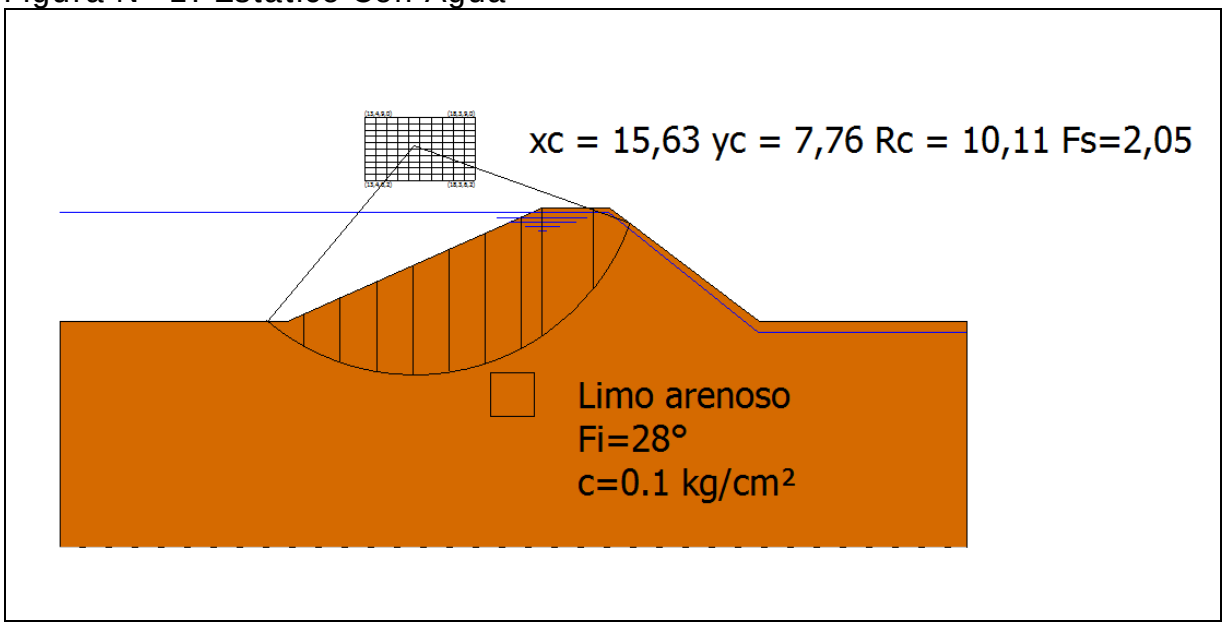


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

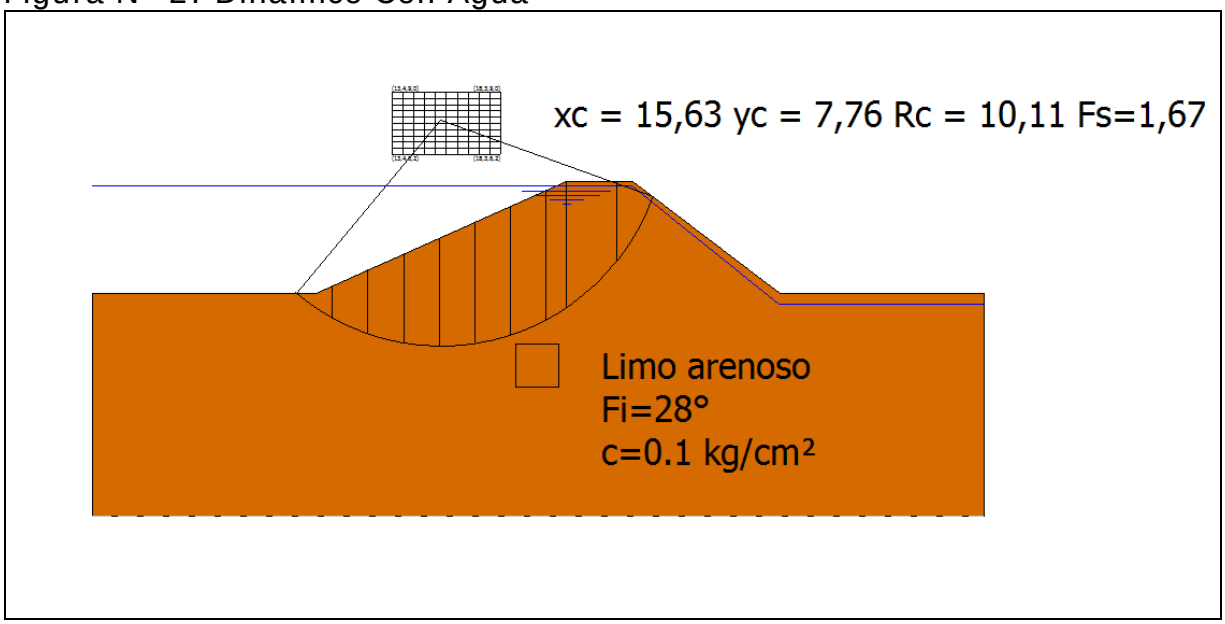
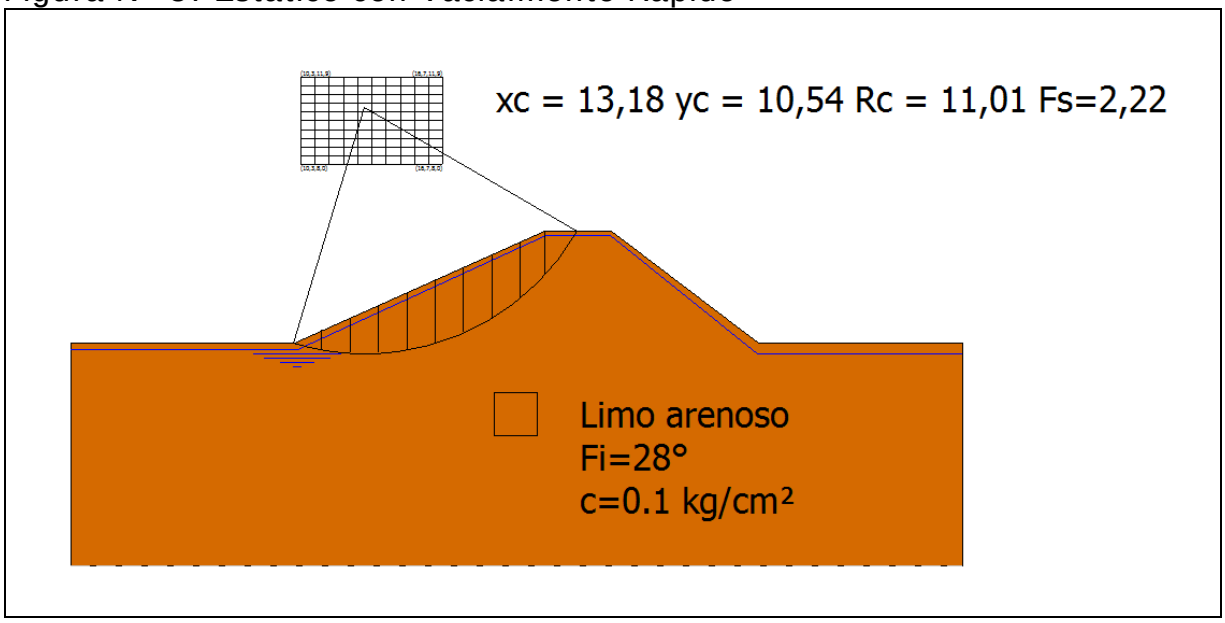


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

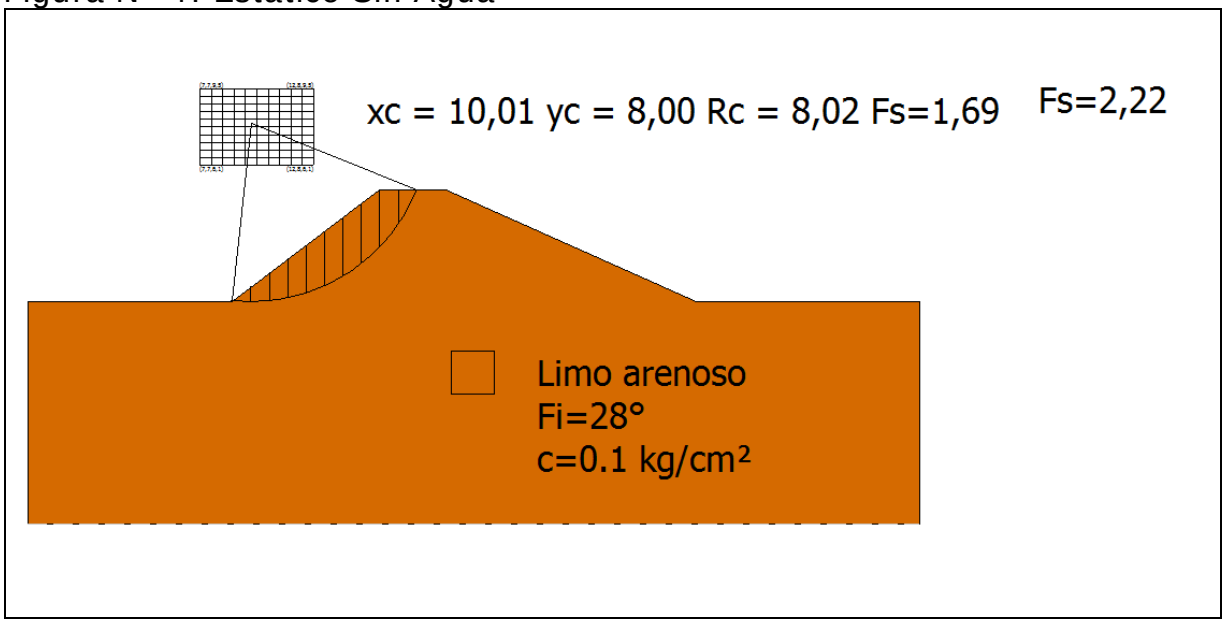
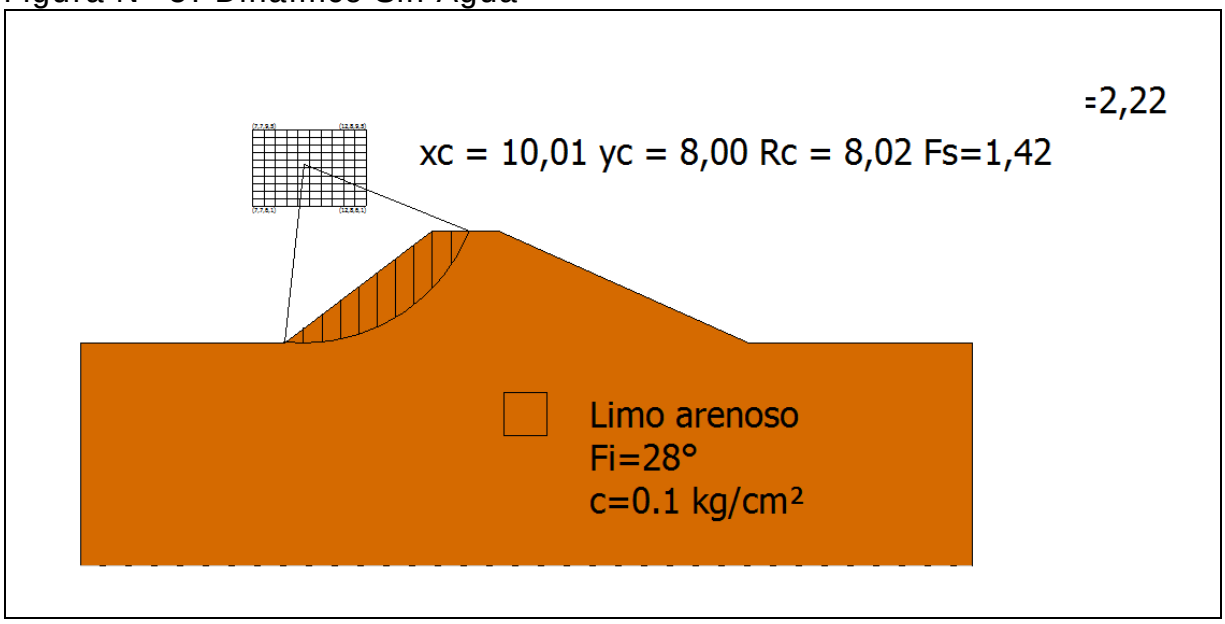


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El muro del embalse Las Mercedes Nuevo sufrió daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en graves grietas longitudinales en el coronamiento del muro, especialmente en los muros oeste y sur.

ii) En el mismo año 2010 se efectuaron algunas reparaciones someras en el muro oeste, utilizando una retroexcavadora que excavó ligeramente el sector de las grietas y luego colocó el mismo material reperfilando los taludes. Se desconoce si para efectuar las reparaciones ya comentadas se contó con algún proyecto de ingeniería.

iii) De lo observado en la visita, es posible establecer que si bien en el muro oeste no se aprecian grietas ni deformaciones, en el muro sur aún se encuentran las grietas observadas el año 2010 (aunque es difícil descubrirlas debido a la vegetación que las cubre).

iv) Al momento de la visita el embalse se encontraba vacío, por lo que no fue posible observar la existencia de filtraciones.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos

analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Se considera que mientras no se tengan antecedentes que avalen la seguridad del muro del embalse Las Mercedes Nuevo, específicamente un estudio desarrollado por un ingeniero civil competente y que además cuente con la aprobación de la DGA, se deberá restringir el nivel de agua en el embalse a una altura del 50% de la altura máxima a la cota del umbral del vertedero.

32.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 32-2
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Las Mercedes Nuevo	Limos Arenosos	33,3	0	11,1	6	6,0	36,0	Si

32.7. Caudal Máximo en Vertedero

No tiene cuenca aportante.

32.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores "p" y "V" son independientes por evento, y el valor "E" es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Las Mercedes Nuevo, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g**
es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: No dispone de vertedero.

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s (No dispone de vertedero)

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	-	
0,002 (T= 500 años)	-	
0,001 (T= 1.000 años)	-	

Nota: No tiene cuenca aportante.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	0,5
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

Nota: No tiene cuenca aportante.

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	0,5

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= No posee (No tiene cuenca aportante)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que es el único que tiene una probabilidad asociada.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,043
Vulnerabilidad Frente a la Sismo = 0,05
Potencialidad de Falla= 0,5

Riesgo Total= 0,043 x 0,05 x 0,5=0,11 %

33. EMBALSE SAN GERARDO

33.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse San Gerardo.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	SAN GERARDO		Nº de ficha / ID (mapa)	28
Propietario	Comunidad de Aguas San Gerardo		Fecha (dd/mm/año)	11/9/2014; 14:40 hrs.
	Jaime Muñoz, Vicepdte., 92181632			
	Casilla 1, Molina, comuna de Molina			
Año de construcción	1945		Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación	2010		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Maule/073			
Subcuenca / Código DGA	Río Claro/0737			
Fuente del recurso	RIO CLARO			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VII REGIÓN DEL MAULE
Provincia	Curicó
Comuna	Molina
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	Norte= 6.101.920 Este= 296.269
Coordenadas UTM Izq	
Datum/ huso	WGS84 / 19S
Altitud	318 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos:	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	660 m
Ancho del coronamiento	3 a 5 m
Desarrollo del talud aguas abajo	12 (muro norte)
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	33° (muro norte)
Ángulo talud de aguas arriba	25° (muroi norte)

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	6,5
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	32.000
Ancho máximo de la poza (m)	290
Largo de la poza (m)	110
Volumen declarado o proyectado (m3)	200.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	media - alta
Uniformidad de los taludes	no son uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al	no
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	no
Tipo de revestimiento del muro	no
Estado General del muro	BUENO

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	vertedero a la cola del embalse, hormigón
Material constructivo	hormigón
Estado de conservación y operatividad	regular
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	L= 8 m, 0,7 m de carga

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	con salida a canal
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	operativo

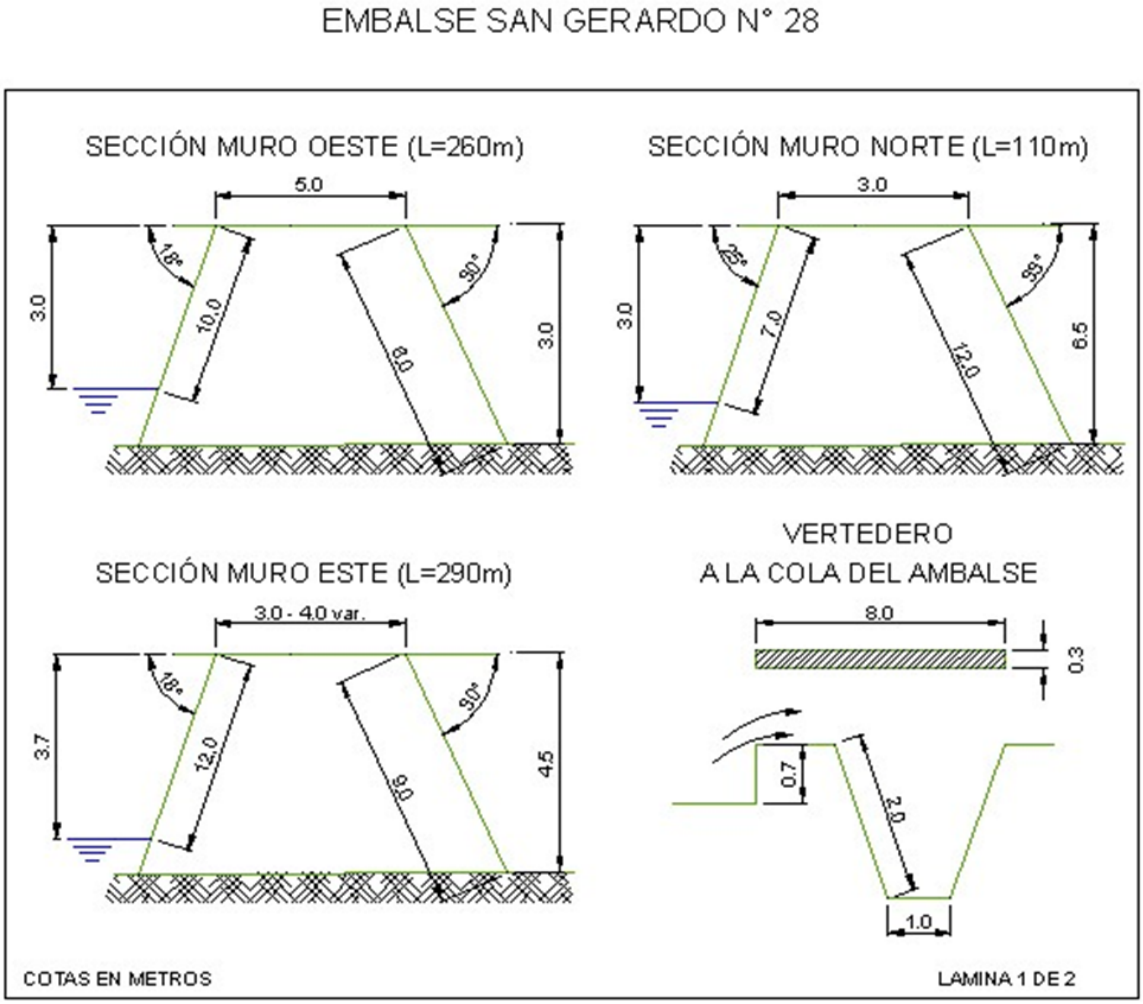
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	valle agrícola sin vía preferente, i= 0,01
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1,7 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,55 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	alta
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,7 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse en buen estado

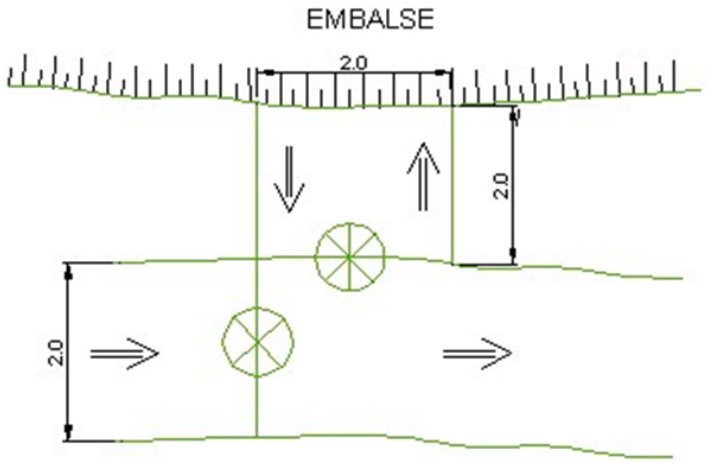
12. MONOGRAFÍAS



12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE SAN GERARDO N° 28

COMPUERTA DE INGRESO
Y OBRA DE ENTREGA



COTAS EN METROS

LAMINA 2 DE 2

EMBALSE SAN GERARDO (28)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

OBRA DE ENTREGA

OBRA DE ENTREGA

VERTEDERO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

33.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse San Gerardo, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, permeabilidad media a baja y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta está construida con suelos semejantes a los definidos en el párrafo anterior, es decir, limos arenosos de color café, plasticidad media a baja, permeabilidad media a baja y compacidad media.

El muro del embalse San Gerardo sufrió severos daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en graves grietas longitudinales en el coronamiento del muro y deslizamientos importantes de los taludes en casi un 80% de ellos. Debido a lo anterior, se desarrolló un proyecto de reconstrucción del embalse, cuyo detalle se desconoce, el que se materializó aparentemente el año 2013.

De lo observado en la visita, es posible establecer que el muro del embalse se observa en buen estado, con taludes homogéneos y sin señales de grietas ni deformaciones. Al momento de la visita el embalse se encontraba casi vacío, por lo que no fue posible observar la existencia de filtraciones.

Las mediciones efectuadas son las siguientes: longitud total del muro 830; ancho de coronamiento variable entre 3 y 5 metros; inclinación talud aguas arriba variable entre 18 y 25°; altura hasta el nivel de agua 3 m (embalse vacío); inclinación talud aguas abajo variable entre 30 y 33°; altura máxima talud aguas abajo 6.5 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

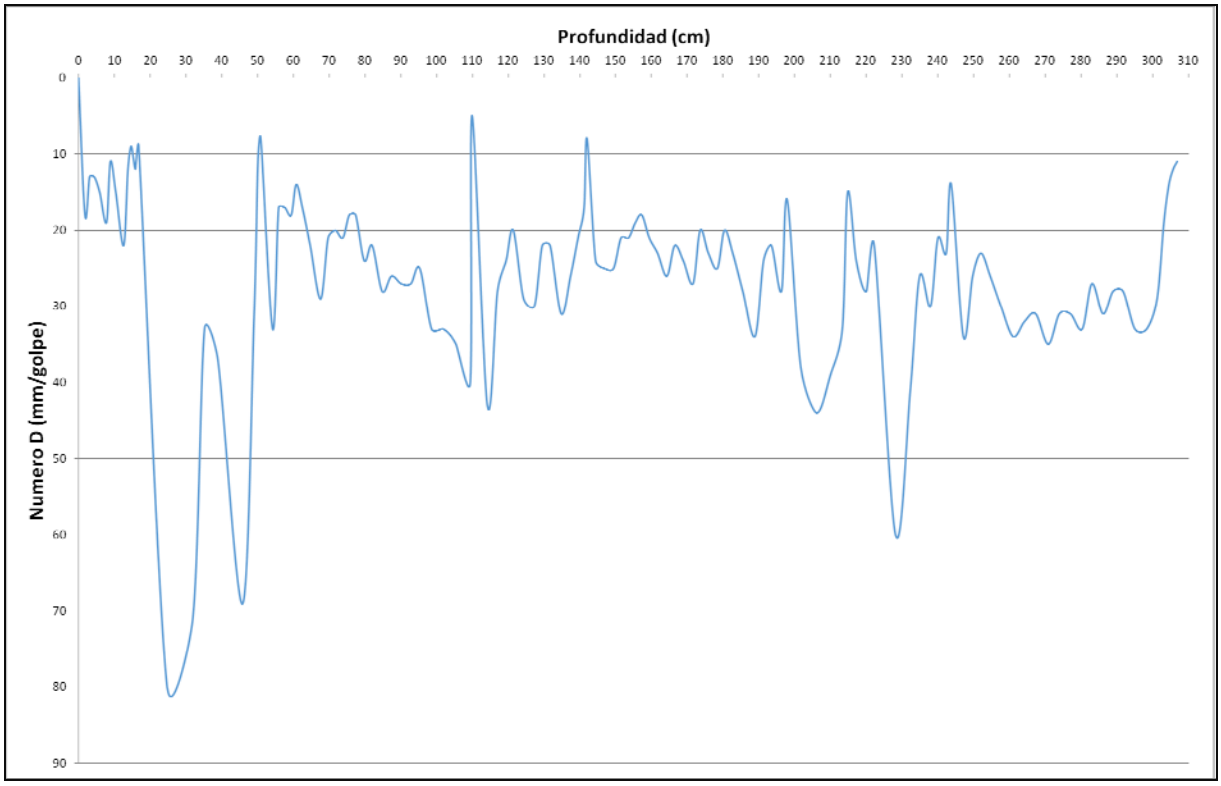
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse San Gerardo

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Penetración [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Penetración [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Penetración [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1.8	111	129	18	10.4	41	98.6	64	97	33	4.9	81	196.3	841	869	28	6.0
2	3.1	129	142	13	15.7	42	101.9	97	130	33	4.9	82	197.9	869	885	16	12.1
3	4.4	142	155	13	15.7	43	105.4	130	165	35	4.5	83	201.7	61	99	38	4.1
4	5.9	155	170	15	13.1	44	109.4	165	205	40	3.8	84	206.1	99	143	44	3.4
5	7.8	170	189	19	9.7	45	109.9	0	5	5	52.4	85	210.0	143	182	39	3.9
6	8.9	189	200	11	19.4	46	114.2	5	48	43	3.5	86	213.3	182	215	33	4.9
7	10.4	200	215	15	13.1	47	117.0	48	76	28	6.0	87	214.8	0	15	15	13.1
8	12.6	215	237	22	8.1	48	119.4	76	100	24	7.3	88	217.2	40	64	24	7.3
9	13.8	49	61	12	17.4	49	121.4	100	120	20	9.1	89	220.0	64	92	28	6.0
10	14.7	61	70	9	25.0	50	124.3	120	149	29	5.7	90	222.2	92	114	22	8.1
11	15.9	70	82	12	17.4	51	127.3	149	179	30	5.5	91	228.2	114	174	60	2.3
12	16.8	82	91	9	25.0	52	129.5	179	201	22	8.1	92	232.3	174	215	41	3.7
13	24.8	91	171	80	1.6	53	131.7	201	223	22	8.1	93	234.9	215	241	26	6.6
14	31.9	171	242	71	1.9	54	134.8	223	254	31	5.3	94	237.9	241	271	30	5.5
15	35.2	242	275	33	4.9	55	137.4	254	280	26	6.6	95	240.0	271	292	21	8.6
16	38.9	275	312	37	4.2	56	139.5	280	301	21	8.6	96	242.3	292	315	23	7.7
17	45.8	312	381	69	1.9	57	141.2	301	318	17	11.2	97	243.7	315	329	14	14.3
18	49.0	381	413	32	5.1	58	142.0	318	326	8	29.0	98	247.1	329	363	34	4.7
19	50.1	413	424	11	19.4	59	144.4	326	350	24	7.3	99	249.7	363	389	26	6.6
20	50.9	424	432	8	29.0	60	146.9	350	375	25	6.9	100	252.0	389	412	23	7.7
21	54.2	432	465	33	4.9	61	149.4	375	400	25	6.9	101	254.6	412	438	26	6.6
22	55.9	465	482	17	11.2	62	151.5	400	421	21	8.6	102	257.6	438	468	30	5.5
23	57.6	482	499	17	11.2	63	153.6	421	442	21	8.6	103	261.0	468	502	34	4.7
24	59.4	499	517	18	10.4	64	155.5	442	461	19	9.7	104	264.2	502	534	32	5.1
25	60.8	517	531	14	14.3	65	157.3	461	479	18	10.4	105	267.3	534	565	31	5.3
26	62.5	531	548	17	11.2	66	159.4	479	500	21	8.6	106	270.8	565	600	35	4.5
27	64.7	548	570	22	8.1	67	161.7	500	523	23	7.7	107	273.9	600	631	31	5.3
28	67.6	570	599	29	5.7	68	164.3	523	549	26	6.6	108	277.0	631	662	31	5.3
29	69.7	599	620	21	8.6	69	166.5	549	571	22	8.1	109	280.3	662	695	33	4.9
30	71.7	620	640	20	9.1	70	168.9	571	595	24	7.3	110	283.0	695	722	27	6.3
31	73.8	640	661	21	8.6	71	171.6	595	622	27	6.3	111	286.1	722	753	31	5.3
32	75.6	661	679	18	10.4	72	173.6	622	642	20	9.1	112	288.9	753	781	28	6.0
33	77.4	679	697	18	10.4	73	175.9	642	665	23	7.7	113	291.7	781	809	28	6.0
34	79.8	697	721	24	7.3	74	178.4	665	690	25	6.9	114	295.0	809	842	33	4.9
35	82.0	721	743	22	8.1	75	180.4	690	710	20	9.1	115	298.3	842	875	33	4.9
36	84.8	743	771	28	6.0	76	182.7	710	733	23	7.7	116	301.2	875	904	29	5.7
37	87.4	771	797	26	6.6	77	185.5	733	761	28	6.0	117	303.1	97	116	19	9.7
38	90.1	797	824	27	6.3	78	188.9	761	795	34	4.7	118	304.5	116	130	14	14.3
39	92.8	824	851	27	6.3	79	191.3	795	819	24	7.3	119	305.7	130	142	12	17.4
40	95.3	851	876	25	6.9	80	193.5	819	841	22	8.1	120	306.8	142	153	11	19.4

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta hasta los 50 cm de profundidad valores sobre los 40 mm/golpes y en algunos casos sobre los 70 mm/golpe. Esto se relaciona con un suelo de compacidad baja. Luego los valores del número D oscilan entre 10 y 40 mm/golpe desde los 50 hasta los 310 cm de profundidad. Estos valores son consistentes con suelos de compacidad media a baja.

33.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego San Gerardo se ubica en la comuna de Río Claro, provincia de Talca, Región del Maule.

Para llegar a él se debe tomar la ruta K-31 por la ruta 5 a la altura de Camarico y seguir en ella en dirección a la cordillera hasta su intersección con la ruta K-15, la que se debe tomar en dirección al norte. Al cabo de 7,5km por dicha ruta, se llega a la intersección con la

ruta K-235, la que se debe tomar en dirección oriente. El ingreso al embalse se encuentra a 1,4km al este del cruce anterior.

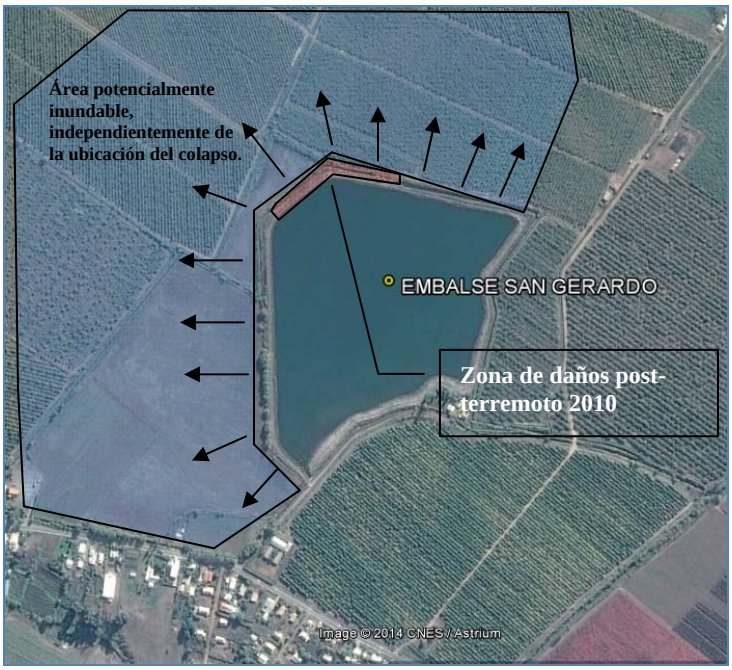
Cabe destacar que este embalse no posee cuenca propia, ya que es llenado a partir de un canal alimentador, cuyas aguas provienen del río Claro y que se conecta al embalse por su costado norte. Como consecuencia de encontrarse rodeado por un valle agrícola, la poza está contenida por muros de tierra en todo su perímetro, lo cual dificulta la determinación rápida y certera de una vía preferente de inundación.

La ubicación y trazado de la vía preferente de inundación, dependerá entonces de los tres siguientes factores:

- Muro en que eventualmente se produciría la falla o colapso.
- Ubicación de la falla en el eje del muro que colapsa.
- Relieve de la superficie aguas abajo del muro que falla.

Mediante una inspección altimétrica rápida de la superficie que rodea el embalse, se puede apreciar que, asumiendo que cualquiera de los muros puede fallar, la diferencia altimétrica a favor de la dirección de las aguas se produce en la superficie que se señala en la Figura 12-1.

Direccionalidad de área posiblemente inundable – Embalse San Gerardo



No obstante la amplitud del área potencialmente inundable señalada, la Figura también señala la ubicación real de los daños post-terremoto, lo que permite acotar el análisis.

Luego, al unir los puntos más bajos del terreno en el sentido de las aguas, partiendo desde una localización acotada de la falla, se obtiene un eje de 1,69km de longitud (medida entre el pie del embalse y la intersección con la ruta K-15) con una pendiente media de 1,00%.

Perpendicularmente al eje del cauce determinado, se ubica la localidad de San Gerardo (densidad poblacional media) a una distancia mínima de 0,554km, mientras que la ruta K-15 se ubica a 1,33km de distancia, medida radialmente a partir del muro.

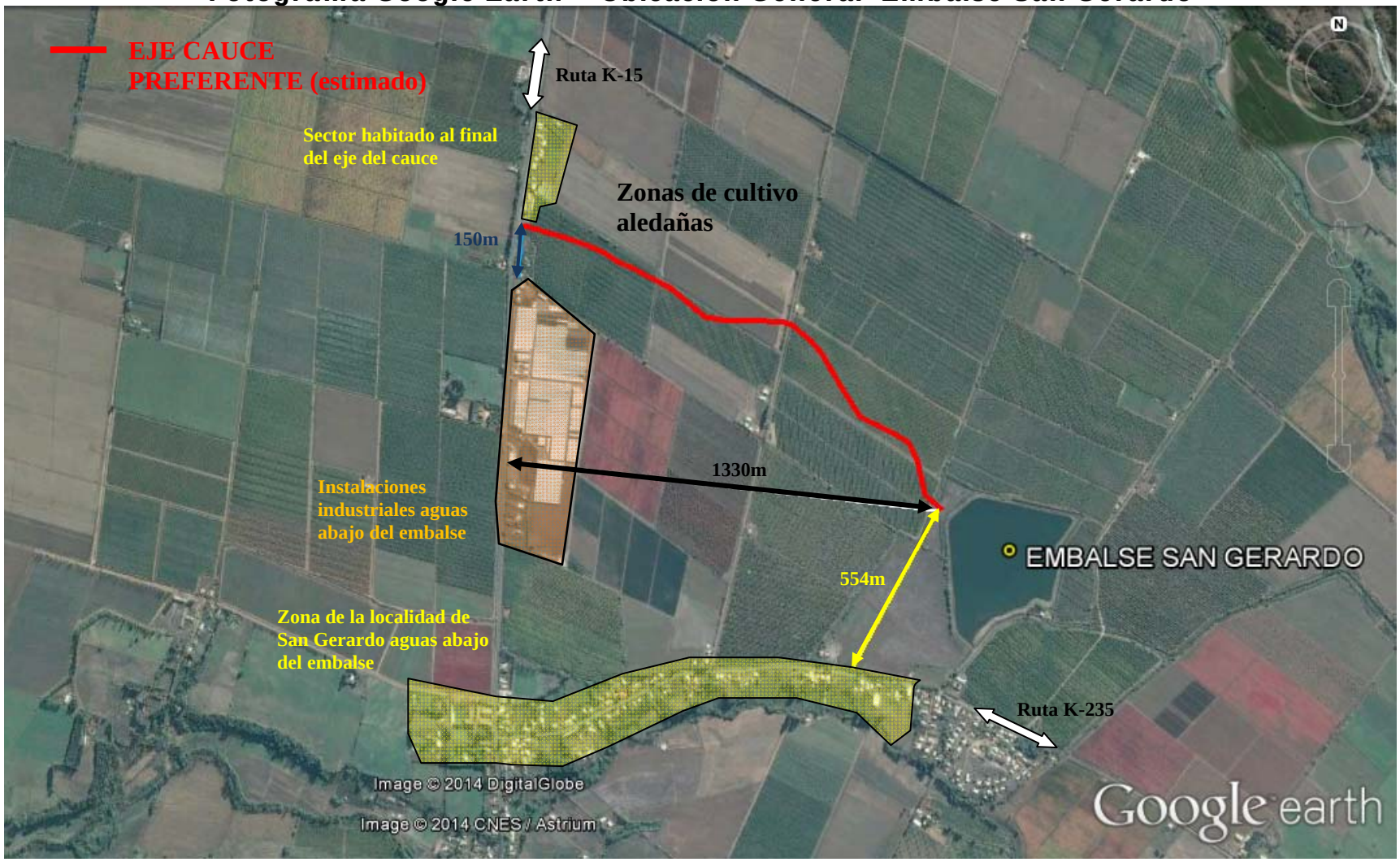
En cuanto a la ruta K-235 (que cruza la localidad de San Gerardo), ésta se ubica a 0,554km, distancia medida de forma perpendicular al eje del cauce trazado.

Es importante establecer que el hecho de que la localidad de San Gerardo se encuentre dentro del área potencial de inundación, involucra la exposición de infraestructura y servicios urbanos, tales como vías pavimentadas, red AP, luminaria pública, etcétera.

Adicionalmente, al borde oriente de la ruta K-15 se emplazan instalaciones industriales importantes, a 0,15km perpendicularmente al eje del cauce.

En el siguiente fotograma Google Earth se entrega la situación del embalse respecto a la superficie aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse San Gerardo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse San Gerardo:

CUADRO 33-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE SAN GERARDO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		San Gerardo	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle agrícola sin vía preferente claramente definida	---
	Tipo de Terreno	Agrícola / habitacional / industrial	---
	Pendiente Media	0,01	m/m
	Ancho medio	Relativo al tamaño de la falla	---
DISTANCIAS A	Centros Poblados medidos por el Cauce	1,69	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,554	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (*)	1,69	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Alta	---

(*) Se indica la distancia a la ruta K-15, siendo éste el ramal enrolado más importante de los encontrados.

33.4. Caudales Máximos Instantáneos

No tiene cuenca aportante.

33.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse San Gerardo fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
San Gerardo	Limo arenoso	28	0,10	1,80	6,5	25	33	3 a 5

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.01
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.62
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.97

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.64
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.36

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

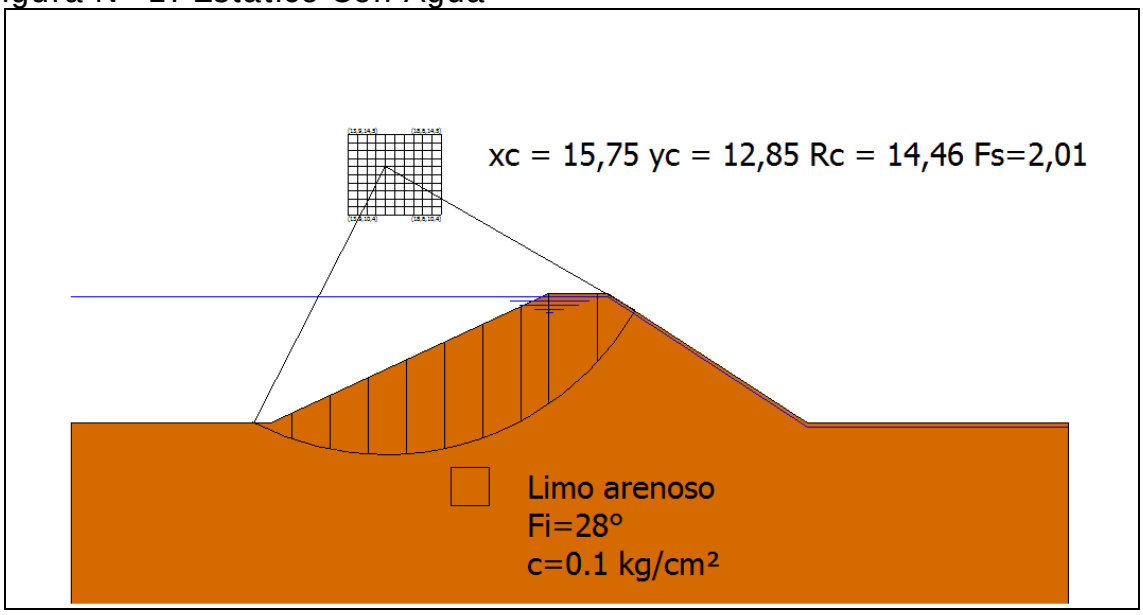


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

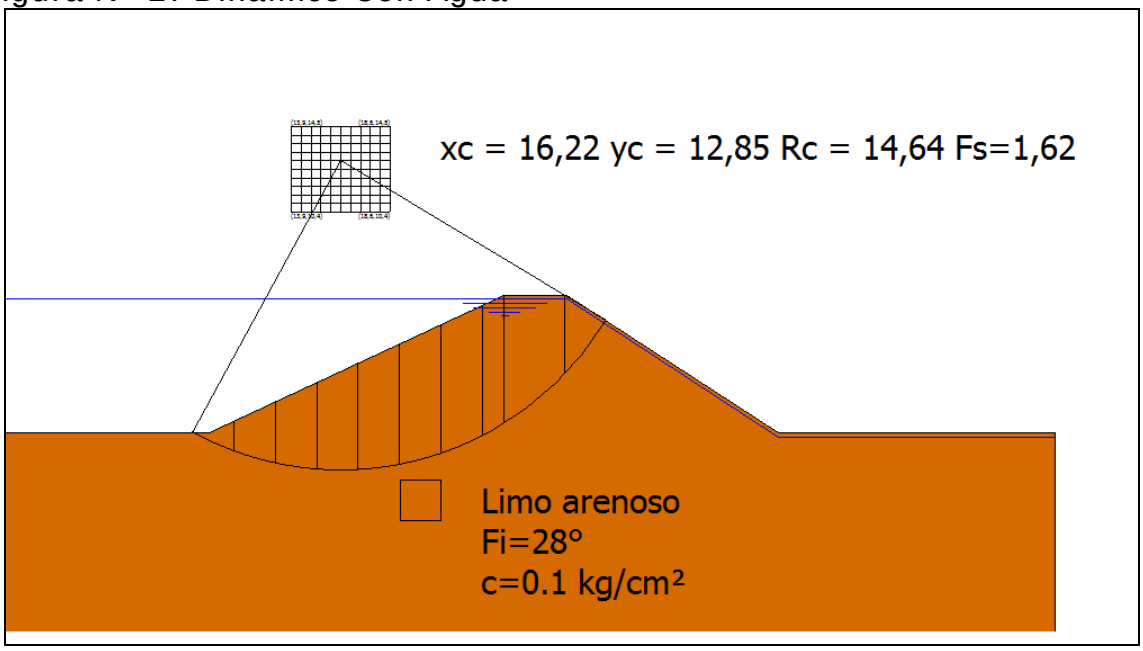
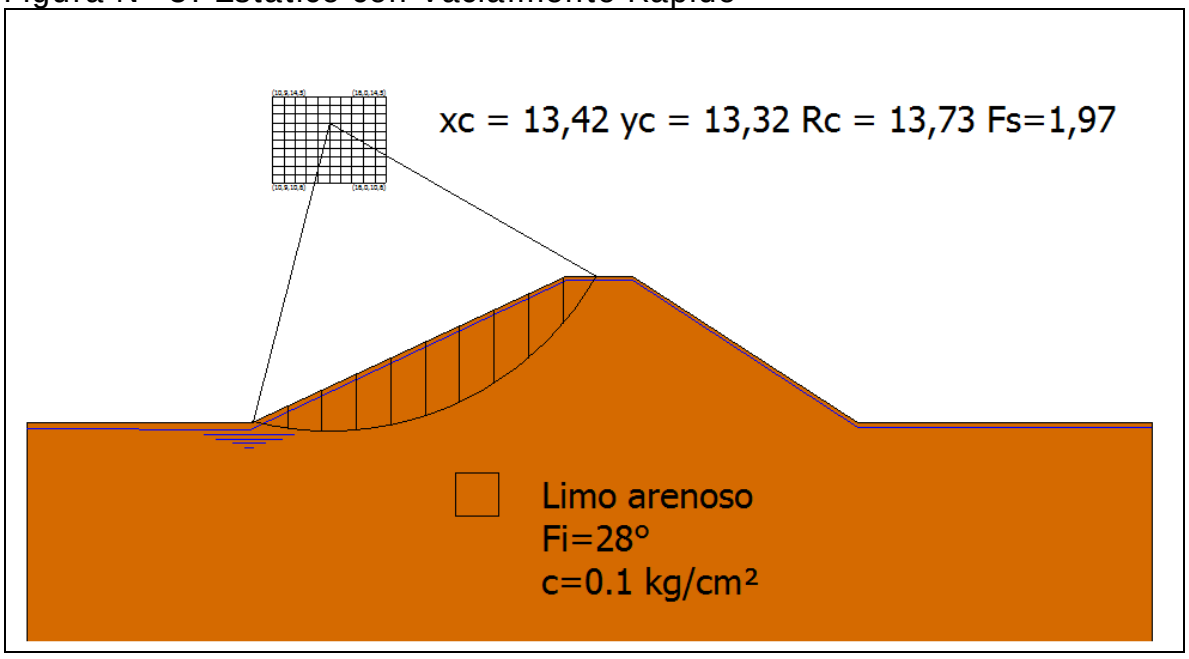


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

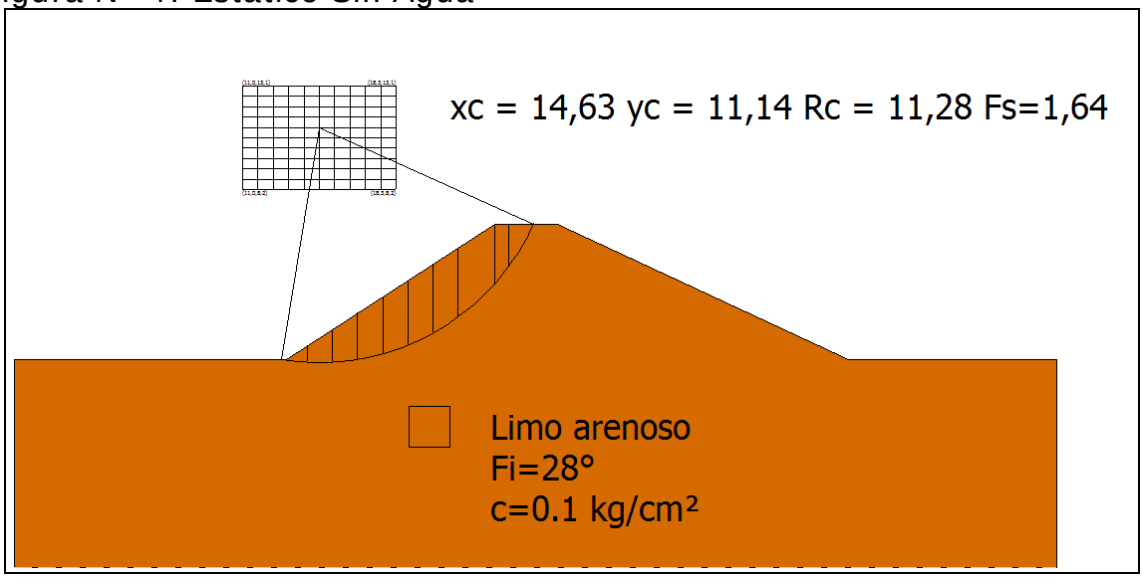
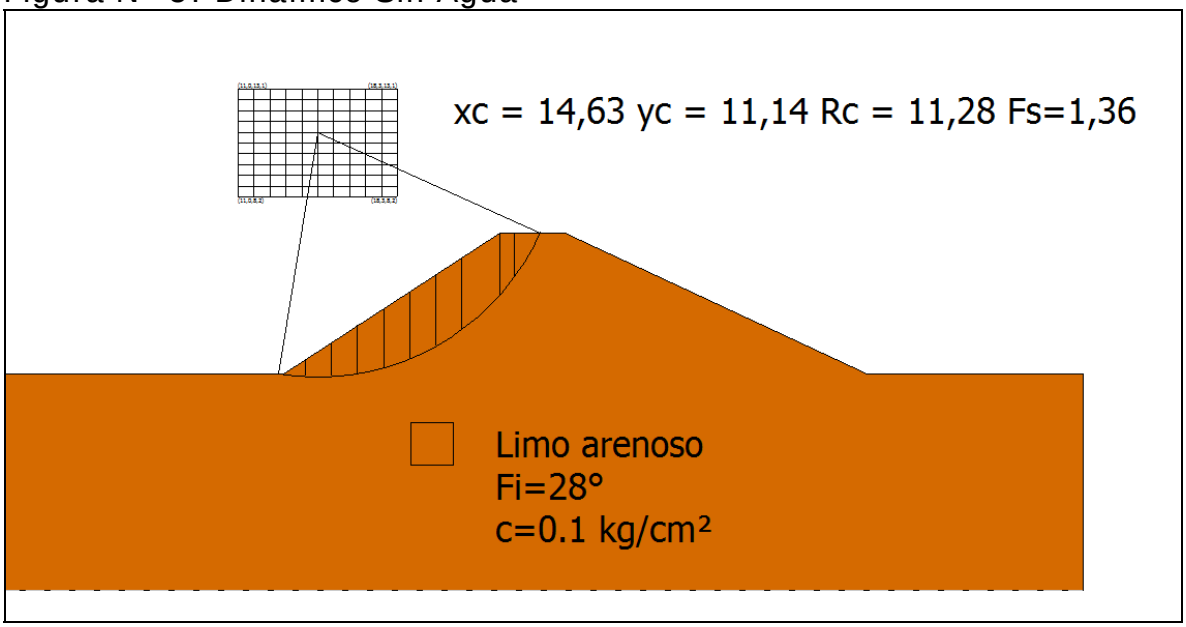


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El muro del embalse San Gerardo sufrió severos daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en graves grietas longitudinales en el coronamiento del muro y deslizamientos importantes de los taludes en casi un 80% de ellos.

ii) Debido a lo anterior, se desarrolló un proyecto de reconstrucción del embalse, cuyo detalle se desconoce, el que se materializó aparentemente el año 2013.

iii) De lo observado en la visita, es posible establecer que el muro del embalse se observa en buen estado, con taludes homogéneos y sin señales de grietas ni deformaciones.

iv) Al momento de la visita el embalse se encontraba casi vacío, por lo que no fue posible observar la existencia de filtraciones.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente

aceptados.

vii) Aún cuando el embalse San Gerardo se aprecia en buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente y aprobado por la DGA.

33.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 33-2
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
San Gerardo	Limos Arenosos	33,0	0	11,0	6	6,5	39,0	Si

33.7. Caudal Máximo en Vertedero

No tiene cuenca aportante

33.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: San Gerardo, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3 g** es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 7,796**

A= 294,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 23,4 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: No dispone de vertedero.

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s (No dispone de vertedero)

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	-	
0,002 (T= 500 años)	-	
0,001 (T= 1.000 años)	-	

Nota: No tiene cuenca aportante.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	E1	Valor adoptado
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	0,5
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

Nota: No tiene cuenca aportante.

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	0,5

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= No posee (No tiene cuenca aportante)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que es el único que tiene una probabilidad asociada.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,043
Vulnerabilidad Frente a la Sismo = 0,05
Potencialidad de Falla= 0,5

Riesgo Total= 0,043 x 0,05 x 0,5= 0,11%

34. EMBALSE LOS MAITENES 2

34.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Los Maitenes 2.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	LOS MAITENES 2		Nº de ficha	29
Propietario	Maximiano Errázuriz		Fecha (dd/mm/año)	11/9/2014; 11:50 hrs.
	Lo Arcaya 2502, Vitacura, Santiago			
Año de construcción			Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación	2010		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Maule/073			
Subcuenca / Código DGA	Río Claro/0737			
Fuente del recurso				

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VII Región del Maule	
Provincia	Del Maule	
Comuna		
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N =	E =
Coordenadas UTM Centro	N = 6.088.960	E = 304.003
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N =	E =
Datum	WGS 84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m		

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	335 m
Ancho del coronamiento (m)	12
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	7
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	NO APRECIABLE
Paramentos verticales	No
Ángulo talud de aguas abajo	36°
Ángulo talud de aguas arriba	30°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	4
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	20.000
Ancho máximo de la poza (m)	70
Largo de la poza (m)	264
Volumen declarado o proyectado (m3)	70.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Medianamente regular
Compacidad del material estructural	media a baja
Uniformidad de los taludes	relativamente uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	si, al pie del muro norte
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	si, al pie del muro norte (mucho es sector de válvula para riego)
Tipo de revestimiento del muro	Sin revestimientos

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero que hace las veces de entrega para riego
Material constructivo	canal de hormigón
Estado de conservación y operatividad	bueno
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	0,8 m de ancho por 7 m de largo

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Tubería de acero y canal de hormigón tipo vertedero (2 obras de entrega)
Mediciones estructurales	No fue posible medir debido a estar cubierta de agua
Funcionamiento actual	operativo, con filtarciones le entrega con tubo de Fe

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

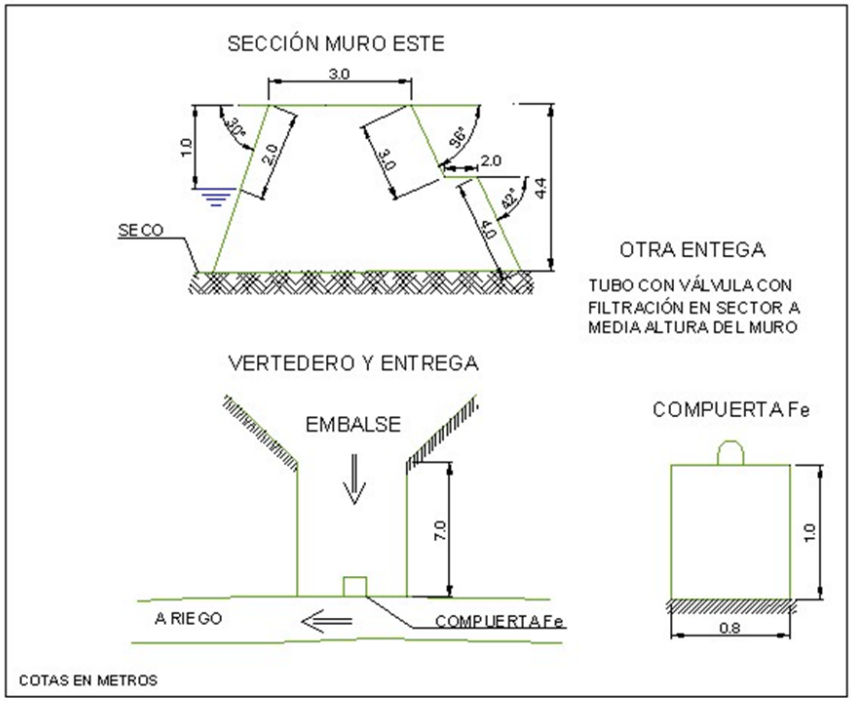
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	cauce natural boscoso, i= 0,025, ancho medio 15 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,7 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,08 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,7 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse en regular estado, filtraciones en sector válvula de entrega a riego

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE LOS MAITENES 2 N° 29



EMBALSE LOS MAITENES 2 (29)

TALUD AGUAS ARRIBA

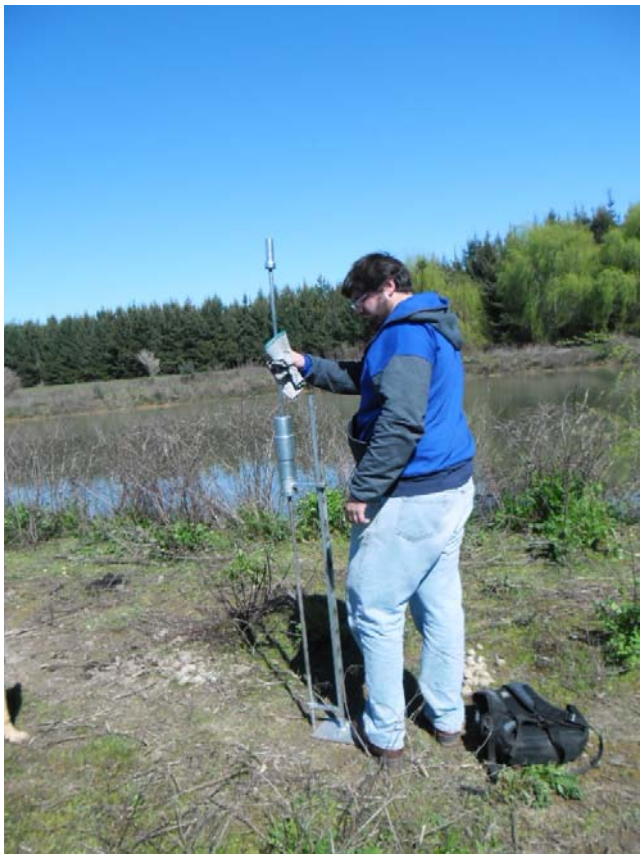
TALUD AGUAS ABAJO MURO ESTE

CORONAMIENTO MURO ESTE

OBRA DE ENTREGA CON FILTRACIONES POR EL COSTADO

VERTEDERO Y OBRA DE ENTREGA 2

ENSAYO CON PENETRÓMETRO



34.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Maitenes 2, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, permeabilidad media a baja y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta está construida con suelos semejantes a los definidos en el párrafo anterior, es decir, limos arenosos de color café, plasticidad media a baja, permeabilidad media a baja y compacidad media.

El muro del embalse Maitenes 2 sufrió daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en grandes grietas longitudinales en el coronamiento del muro y filtraciones abundantes en el talud de aguas abajo.

Los propietarios del embalse efectuaron reparaciones, las que según informaron consistieron en remover los primeros 2 metros del muro para después recolocar el material compactando. Además de lo anterior se incrementó el ancho del muro de los 3 metros que tenía a un ancho de 6 a 8 metros. Las obras efectuadas, permitieron reducir notablemente las filtraciones, las que sin embargo, aún se observan en diferentes puntos del pie del talud de aguas abajo. Se desconoce si las obras de reparación efectuadas tuvieron base en algún proyecto de ingeniería.

Al momento de la visita los muros se observaron sanos, sin grietas ni deformaciones visibles.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 264 m, ancho de coronamiento variable entre 6 y 8 metros; inclinación talud aguas arriba 30°; altura hasta el nivel de agua 1.5 m; inclinación talud aguas abajo primeros 1.5 metros 36°, de allí hasta el nivel de suelo 42°; altura máxima talud aguas abajo 4,4 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio

de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

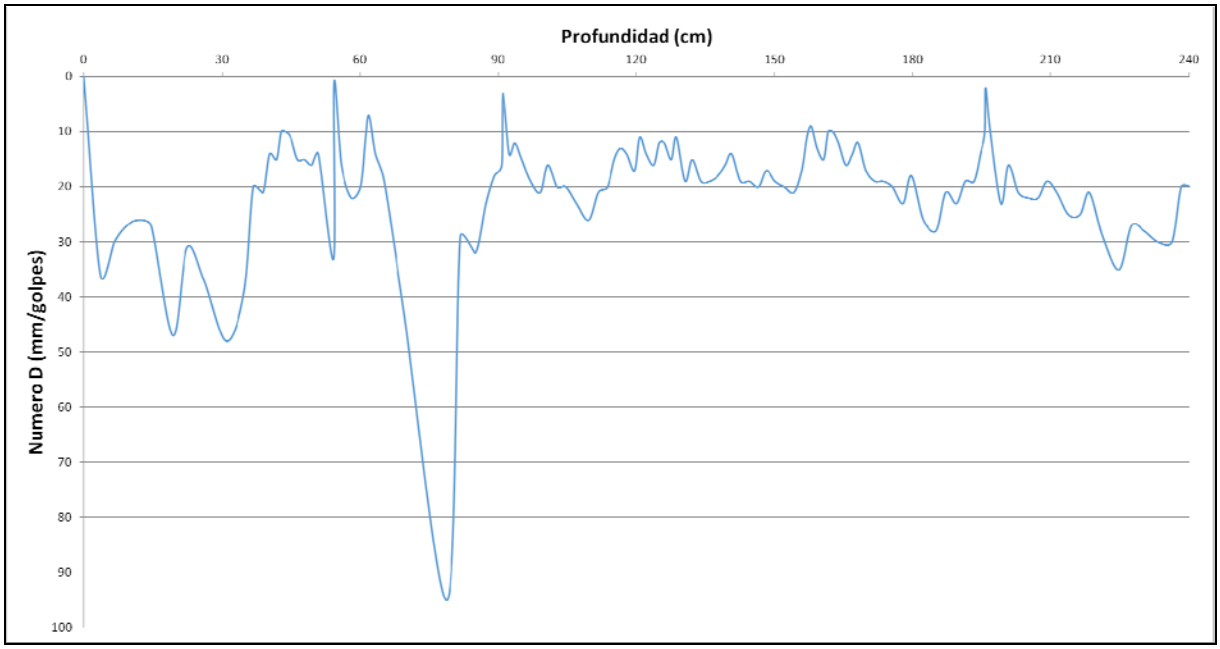
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Maitenes II

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	3,6	111	147	36	4,4	41	95,1	29	44	15	13,1	81	161,7	700	710	10	21,9
2	6,6	147	177	30	5,5	42	97,0	44	63	19	9,7	82	162,7	710	720	10	21,9
3	9,3	177	204	27	6,3	43	99,1	63	84	21	8,6	83	163,9	720	732	12	17,4
4	11,9	204	230	26	6,6	44	100,7	84	100	16	12,1	84	165,5	732	748	16	12,1
5	14,6	230	257	27	6,3	45	102,7	100	120	20	9,1	85	166,9	748	762	14	14,3
6	19,3	257	304	47	3,1	46	104,7	120	140	20	9,1	86	168,1	762	774	12	17,4
7	22,4	304	335	31	5,3	47	107,0	140	163	23	7,7	87	169,8	774	791	17	11,2
8	26,1	335	372	37	4,2	48	109,6	163	189	26	6,6	88	171,7	791	810	19	9,7
9	30,9	372	420	48	3,0	49	111,7	189	210	21	8,6	89	173,6	810	829	19	9,7
10	34,8	420	459	39	3,9	50	113,7	210	230	20	9,1	90	175,6	829	849	20	9,1
11	36,8	459	479	20	9,1	51	115,2	230	245	15	13,1	91	177,9	849	872	23	7,7
12	38,9	479	500	21	8,6	52	116,5	245	258	13	15,7	92	179,7	60	78	18	10,4
13	40,3	500	514	14	14,3	53	117,9	258	272	14	14,3	93	182,3	78	104	26	6,6
14	41,8	514	529	15	13,1	54	119,6	272	289	17	11,2	94	185,1	104	132	28	6,0
15	42,8	529	539	10	21,9	55	120,7	289	300	11	19,4	95	187,2	132	153	21	8,6
16	43,8	539	549	10	21,9	56	122,1	300	314	14	14,3	96	189,5	153	176	23	7,7
17	44,9	549	560	11	19,4	57	123,7	314	330	16	12,1	97	191,4	176	195	19	9,7
18	46,4	560	575	15	13,1	58	124,9	330	342	12	17,4	98	193,3	195	214	19	9,7
19	47,9	575	590	15	13,1	59	126,1	342	354	12	17,4	99	194,7	0	14	14	14,3
20	49,5	590	606	16	12,1	60	127,6	354	369	15	13,1	100	195,7	14	24	10	21,9
21	50,9	606	620	14	14,3	61	128,7	369	380	11	19,4	101	195,9	24	26	2	166,2
22	54,2	620	653	33	4,9	62	130,6	380	399	19	9,7	102	196,9	26	36	10	21,9
23	54,3	653	654	1	398,1	63	132,1	399	414	15	13,1	103	199,2	36	59	23	7,7
24	55,9	654	670	16	12,1	64	134,0	414	433	19	9,7	104	200,8	59	75	16	12,1
25	58,1	670	692	22	8,1	65	135,9	433	452	19	9,7	105	202,9	75	96	21	8,6
26	60,1	692	712	20	9,1	66	137,7	452	470	18	10,4	106	205,1	96	118	22	8,1
27	61,2	712	723	11	19,4	67	139,3	470	486	16	12,1	107	207,3	118	140	22	8,1
28	61,9	723	730	7	34,3	68	140,7	486	500	14	14,3	108	209,2	140	159	19	9,7
29	63,3	730	744	14	14,3	69	142,6	500	519	19	9,7	109	211,3	159	180	21	8,6
30	65,2	744	763	19	9,7	70	144,5	519	538	19	9,7	110	213,8	180	205	25	6,9
31	69,4	763	805	42	3,6	71	146,5	538	558	20	9,1	111	216,3	205	230	25	6,9
32	78,9	805	900	95	1,3	72	148,2	558	575	17	11,2	112	218,4	230	251	21	8,6
33	81,8	85	114	29	5,7	73	150,1	575	594	19	9,7	113	221,3	251	280	29	5,7
34	85,0	114	146	32	5,1	74	152,1	594	614	20	9,1	114	224,8	280	315	35	4,5
35	87,3	146	169	23	7,7	75	154,2	614	635	21	8,6	115	227,5	315	342	27	6,3
36	89,1	169	187	18	10,4	76	155,9	635	652	17	11,2	116	230,3	342	370	28	6,0
37	90,7	187	203	16	12,1	77	157,0	652	663	11	19,4	117	233,3	370	400	30	5,5
38	91,0	0	3	3	99,7	78	157,9	663	672	9	25,0	118	236,3	400	430	30	5,5
39	92,4	3	17	14	14,3	79	159,2	672	685	13	15,7	119	238,3	430	450	20	9,1
40	93,6	17	29	12	17,4	80	160,7	685	700	15	13,1	120	240,3	450	470	20	9,1

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que entre 90 a 240 cm de profundidad los valores del Numero D oscilan entre 10 y 30 mm/golpe, lo que se relaciona a un suelo de compacidad media-baja. Por otra parte, a partir de los 3 cm y hasta 90 cm de profundidad los estratos tienen menor compacidad que los estratos inferiores, lo cual está relacionado con un suelo de compacidades baja.

34.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Los Maitenes 2 se ubica en la comuna de Río Claro, provincia de Talca, Región del Maule.

Se llega a él desde la ruta 5, saliendo de ella por la ruta K-31 (Camarico) hacia el oriente. Al llegar al cruce con la ruta K-15, tomar ésta en dirección al norte; al cabo de unos kilómetros, se llega al cruce con la ruta K-235, la que se debe tomar en dirección sur- poniente. Al mantenerse en ella se llega a las afueras del embalse Los Maitenes 2, ubicado hacia el lado poniente de la ruta.

El eje del cauce aguas abajo del embalse se encuentra nítidamente definido por el lecho del estero El Mellizo, el cual funciona como vía de desagüe para la descarga del vertedero evacuador de crecidas.

El cauce en estudio tiene una longitud estimada de 0,676 km, medidos entre su conexión al evacuador de crecidas y su punto de descarga a una canalización, a unos cuantos metros del borde de la ruta K-235; la pendiente desarrollada es de 2,5%.

El suelo en torno al eje es de tipo boscoso, sobre todo en las riberas del estero mencionado.

En cuanto a la presencia de zonas habitadas, sólo se aprecian aquellas ubicadas al otro lado de la calzada, frente a la descarga en el estero. Esto significa que, midiendo por el eje del cauce, esta zona poblada, de baja densidad, se encuentra a 0,676km del embalse.

La vivienda a menor distancia perpendicular al cauce se encuentra a 80m.

Por otro lado, aledañas a ambos bordes del estero Los Mellizos, se observan áreas de cultivo.

Finalmente, no se observa otra clase de infraestructura importante aguas abajo del embalse.

En el siguiente fotograma Google Earth, se entrega la situación del embalse y su zona aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Los Maitenes 2

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Los Maitenes 2:

CUADRO 34-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE LOS MAITENES 2

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Los Maitenes 2	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Estero	---
	Tipo de Terreno	Boscoso en torno al cauce / superficie agrícola a ambos lados del estero	---
	Pendiente Media	0,025	m/m
	Ancho medio	15	m
DISTANCIAS A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,676	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,08	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,676	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

34.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Los Maitenes 2	0,260	0,499	578	563	15

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,150	0,191	0,388	0,269

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 34-2 siguiente.

CUADRO 34-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	RACIONAL (m3/s)	HUS (m3/s)	ADOPTADO (m3/s)	MAX (m3/s)
29 Embalse Maitenes 2	2	0,16	0,29	0,68	0,47	-	0,47	0,68
	5	0,26	0,48	1,03	0,70	-	0,70	1,03
	10	0,33	0,61	1,28	0,92	-	0,92	1,28
	20	0,39	0,75	1,50	1,16	-	1,16	1,50
	25	0,42	0,79	1,57	1,19	-	1,19	1,57
	50	0,48	0,91	1,77	1,49	-	1,49	1,77
	100	0,54	1,04	1,96	1,81	-	1,81	1,96
	250	0,64	1,22	2,29	2,04	-	2,04	2,29
	500	0,70	1,35	2,52	2,27	-	2,27	2,52
	1000	0,77	1,48	2,75	2,50	-	2,50	2,75

34.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Los Maitenes 2 fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Maitenes II	Limo arenoso	28	0,10	1,80	4,4	30	42	6 a 8

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.01
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.65
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	2.00

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.99
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.63

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

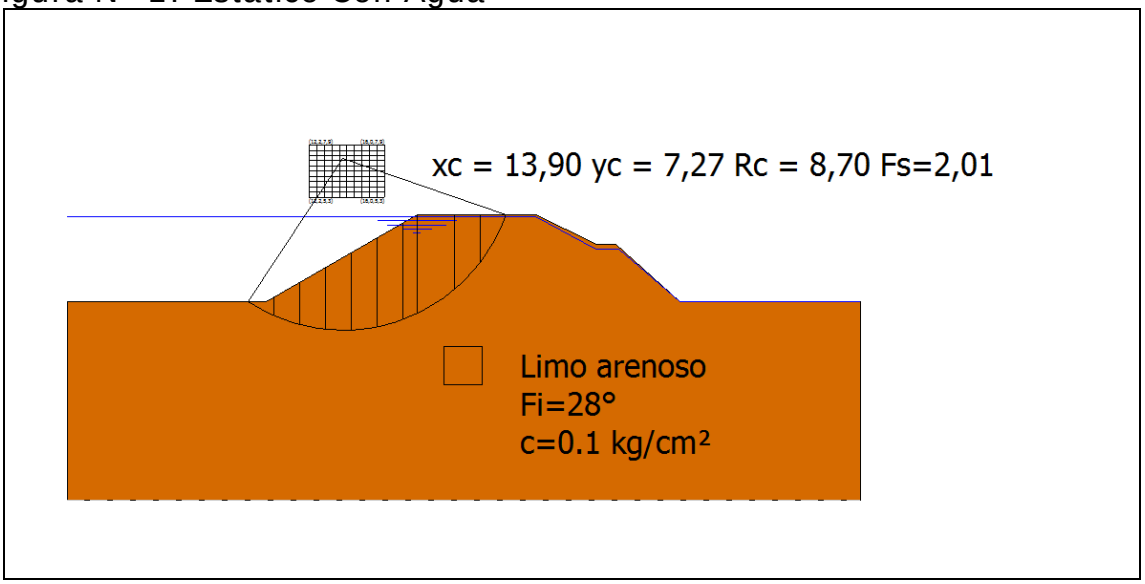


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

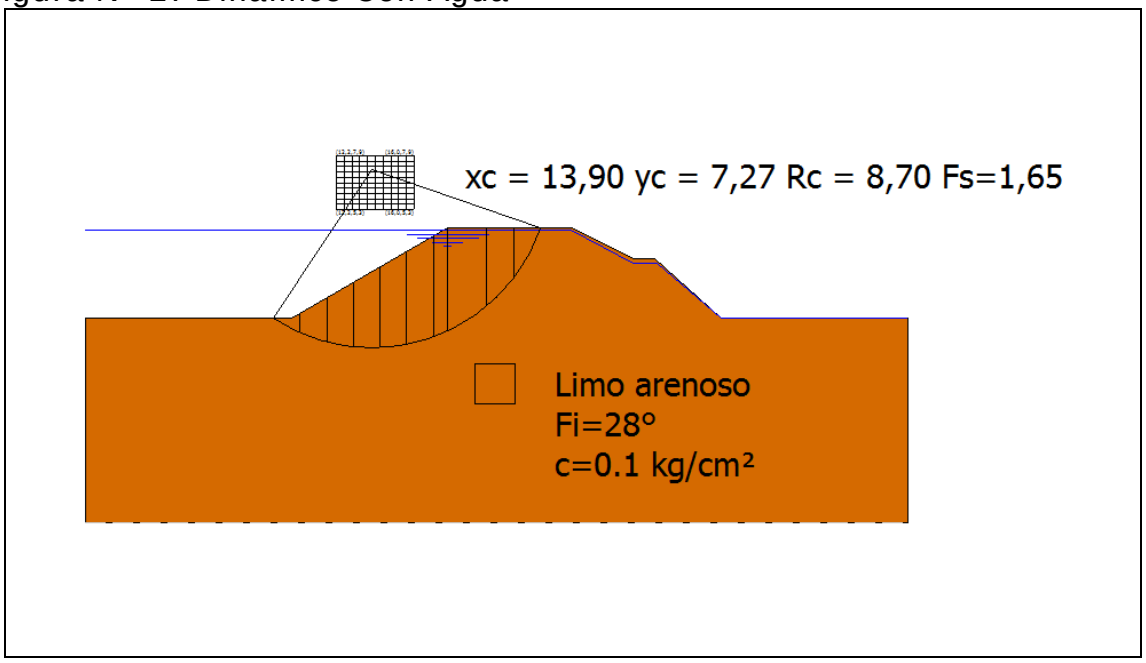
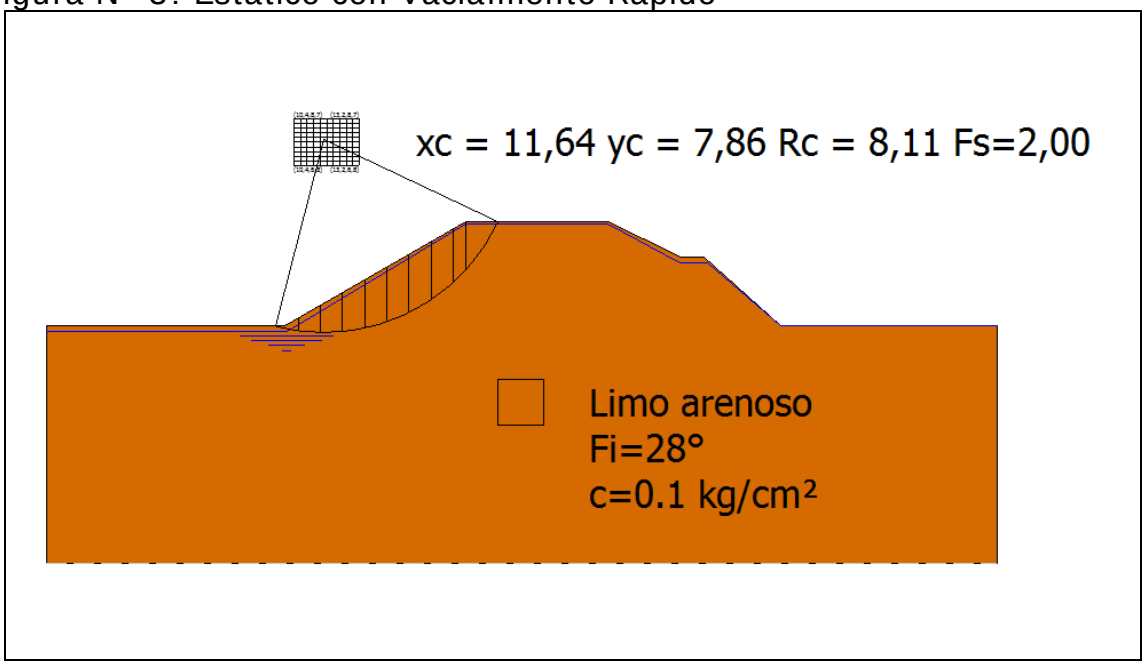


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

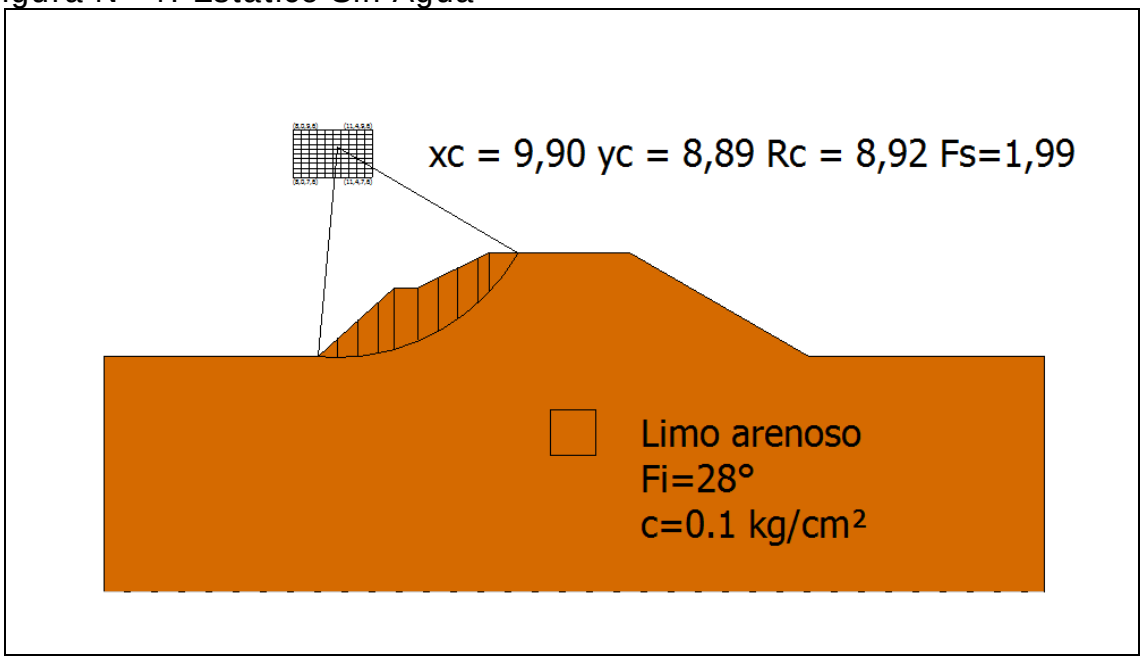
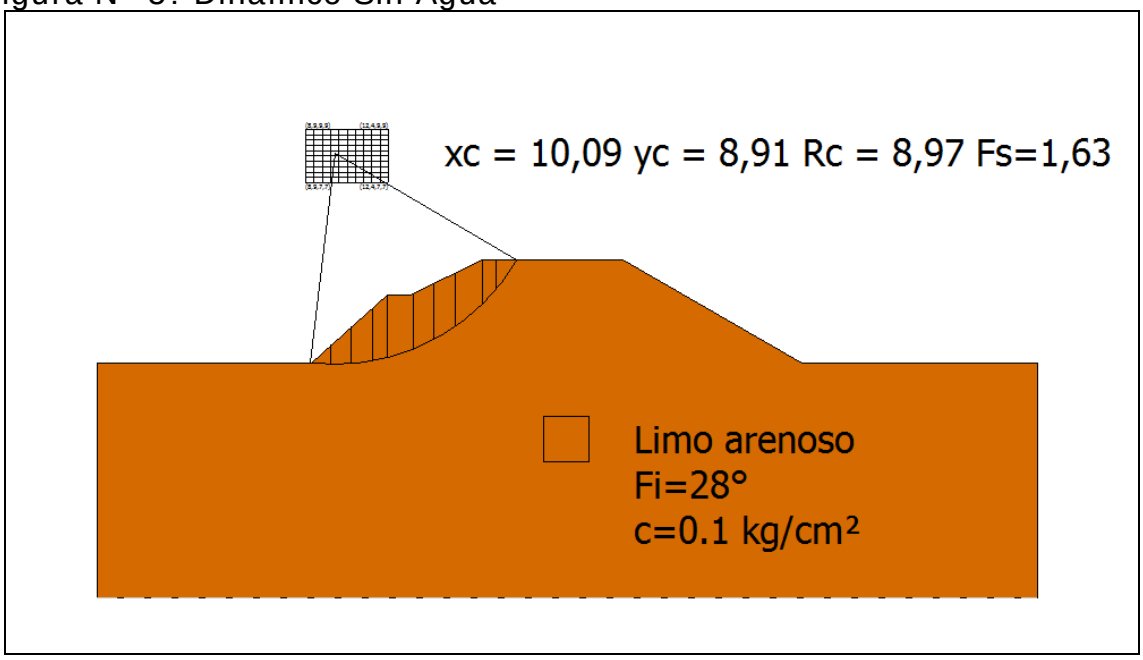


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El muro del embalse Maitenes 2 sufrió daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en grandes grietas longitudinales en el coronamiento del muro y filtraciones abundantes en el talud de aguas abajo.

ii) Los propietarios del embalse efectuaron reparaciones, las que según informaron consistieron en remover los primeros 2 metros del muro para después recolocar el material compactando. Además de lo anterior se incrementó el ancho del muro de los 3 metros que tenía a un ancho de 6 a 8 metros.

iii) Las obras efectuadas, permitieron reducir notablemente las filtraciones, las que sin embargo, aún se observan en diferentes puntos del pie del talud de aguas abajo. Se desconoce si las obras de reparación efectuadas tuvieron base en algún proyecto de ingeniería.

iv) Al momento de la visita los muros se observaron sanos, sin grietas ni deformaciones visibles.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Aún cuando el embalse Los Maitenes 2 se aprecia en relativamente buenas condiciones, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente y aprobado por la DGA.

34.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 34-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Maitenes II	Limos Arenosos	18,0	0	6,0	6	4,4	26,4	Si

34.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 34-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Loa Maitenes 2	Lateral	Canal de Tierra		1	1	1	0,002	0,035				**0,61**

34.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Maitenes II, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** g
es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 0,61 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 0,43 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	2,04	0,95
0,002 (T= 500 años)	2,27	
0,001 (T= 1.000 años)	2,50	

Como la capacidad efectiva es de 0,43 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 1,4 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,708.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,708 (T= 1,4 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,708
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,708 x 0,95 x 1,0= 67,3 %

35. EMBALSE MORATELLI

35.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Moratelli.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Moratelli	Nº de ficha	30
Propietario	Fundo Santa Victoria; Dialma Moratelli	Fecha (dd/mm/año)	11/9/2014; 8:30 hrs.
	Camino fundo Santa Victoria S/N		
	comuna de San Rafael		
Año de construcción	1960	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	Sí
Año de reparación	2010	Altura del muro > 5 m	Sí
Cuenca / Código DGA	Río Maule/073		
Subcuenca / Código DGA	Río Claro/0737		
Fuente del recurso	Canal de regadío perteneciente al fundo Santa Victoria		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VII Región del Maule	
Provincia	Talca	
Comuna	San Rafael	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.095.221	E = 282.389
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m		

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	645 m
Ancho del coronamiento	4 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	6 m (muro norte)
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	20° (muro norte)
Ángulo talud de aguas arriba	24° (muro norte)

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	2,50
Profundidad máxima de agua en sector del muro	seco
Área estimada o calculada de la poza (m2)	30.000
Ancho máximo de la poza (m)	270
Largo de la poza (m)	210
Volumen declarado o proyectado (m3)	700.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	regular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No
Grietas visibles y su ubicación	sí, 1 grieta en la esquina suroeste del muro
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	embalse seco
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	embalse seco
Tipo de revestimiento del muro	Sin revestimiento

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Sin vertedero	X		

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	NO DISPONE DE VERTEDERO
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Toma de fondo, tubo que atraviesa el juro controlado por compuerta
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	Operativo, sin daños

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

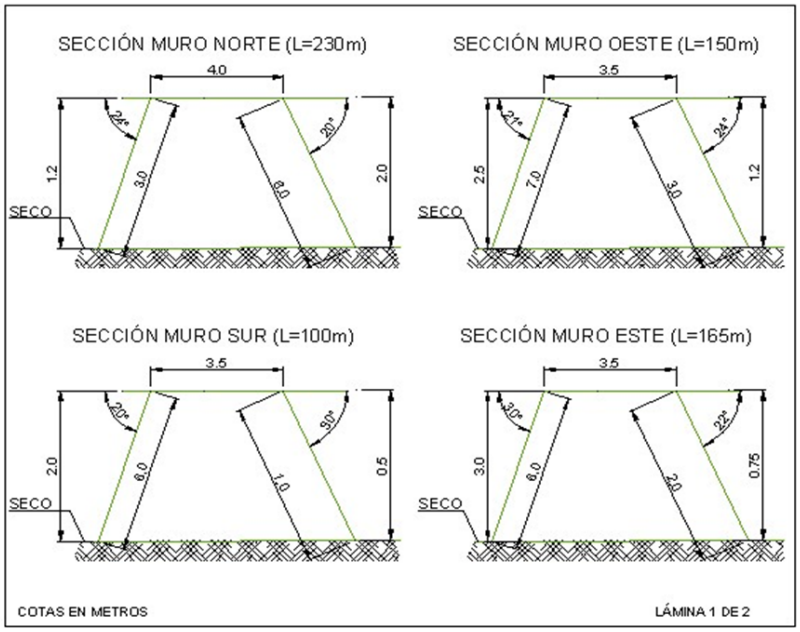
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Valle agrícola
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	a los pies del muro
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	no hay cauce
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	aledaño
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,1 km
Area de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

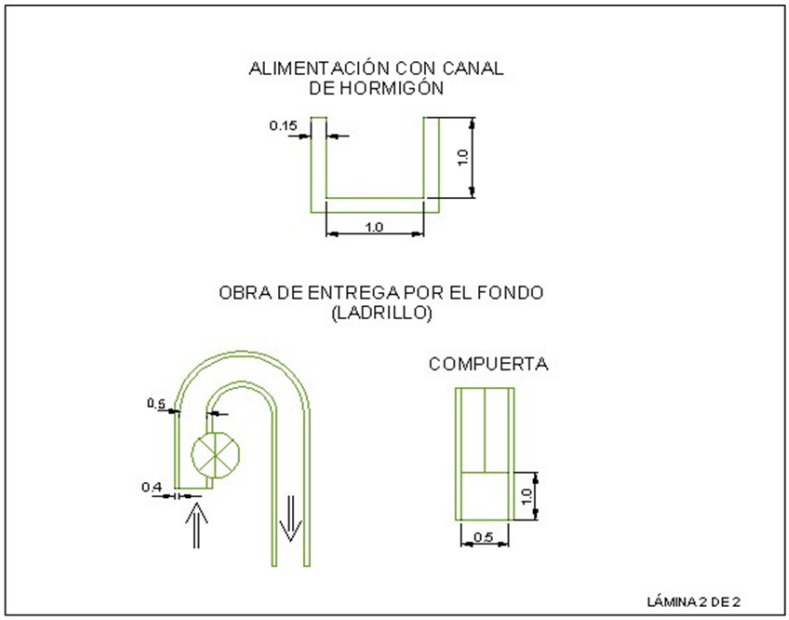
Los muros Sur y Este se hicieron de nuevo, el muro Oeste se arregló parcialmente

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE MORATELLI N° 30



EMBALSE MORATELLI N° 30



EMBALSE LAS EMBALSE MORATELLI (30)

TALUD AGUAS ARRIBA MURO SUR

TALUD AGUAS ABAJO Y CORONAMIENTO

OBRA DE ENTREGA

ALIMENTACIÓN DEL EMBALSE

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

35.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Moratelli, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arenas limosas, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arenas limosas con gravas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Moratelli, que se compone de cuatro muros orientados aproximadamente según los signos cardilnales, sufrió daños muy severos debido al terremoto del año 2010. Los daños fueron especialmente graves en el muro este y el muro Sur. En el transcurso de la visita y de lo conversado con un vecino del sector, se pudo concluir que los muros este y sur (parcialmente) se rehicieron completamente. Los muros Norte y Oeste, por su parte, no fueron reparados ya que tenían pocos daños. Debido a lo anterior es que, en general, los muros se encontraron en buenas condiciones. Se exceptúa el lado poniente del muro Sur que presenta todavía las grietas producidas por el terremoto y que no fueron reparadas.

Debido a que el tranque se encontraba seco no fue posible determinar la existencia de filtraciones.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 645 m; ancho de coronamiento variable entre 3.5 y 4 m; inclinación talud aguas arriba variable entre 20 y 30°; altura hasta el nivel de agua 3 m (embalse seco); inclinación talud aguas abajo variable entre 20° y 30°; altura máxima talud aguas abajo 2 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del

CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

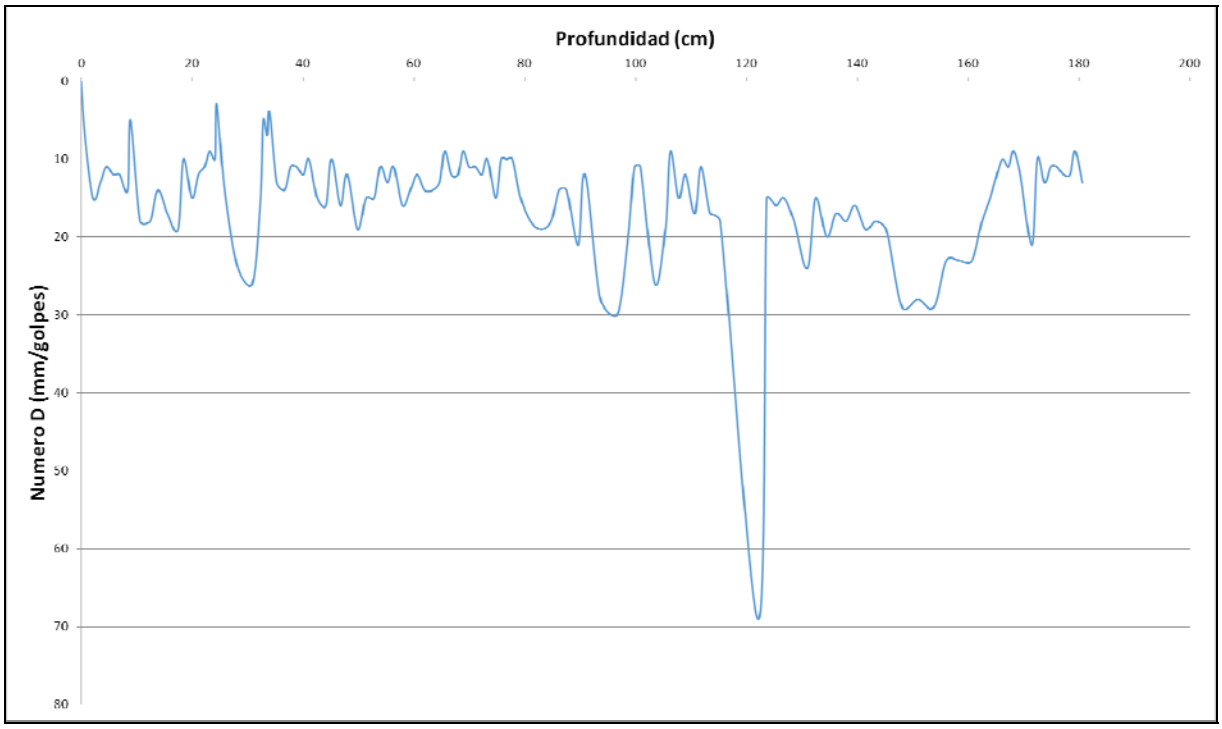
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Moratelli

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	0,7	114	121	7	34,3	41	52,9	646	661	15	13,1	81	110,7	177	194	17	11,2
2	2,2	122	137	15	13,1	42	54,0	661	672	11	19,4	82	111,8	194	205	11	19,4
3	3,5	137	150	13	15,7	43	55,3	672	685	13	15,7	83	113,5	205	222	17	11,2
4	4,6	150	161	11	19,4	44	56,4	685	696	11	19,4	84	115,3	222	240	18	10,4
5	5,8	161	173	12	17,4	45	58,0	696	712	16	12,1	85	122,2	240	309	69	1,9
6	7,0	173	185	12	17,4	46	59,4	712	726	14	14,3	86	123,7	309	324	15	13,1
7	8,4	185	199	14	14,3	47	60,6	726	738	12	17,4	87	125,3	324	340	16	12,1
8	8,9	199	204	5	52,4	48	62,0	738	752	14	14,3	88	126,8	340	355	15	13,1
9	10,7	204	222	18	10,4	49	63,4	752	766	14	14,3	89	128,6	355	373	18	10,4
10	12,5	222	240	18	10,4	50	64,7	766	779	13	15,7	90	131,0	373	397	24	7,3
11	13,9	240	254	14	14,3	51	65,6	779	788	9	25,0	91	132,5	397	412	15	13,1
12	15,6	254	271	17	11,2	52	66,8	788	800	12	17,4	92	134,5	412	432	20	9,1
13	17,5	271	290	19	9,7	53	68,0	800	812	12	17,4	93	136,2	432	449	17	11,2
14	18,5	290	300	10	21,9	54	68,9	812	821	9	25,0	94	138,0	449	467	18	10,4
15	20,0	300	315	15	13,1	55	70,0	821	832	11	19,4	95	139,6	467	483	16	12,1
16	21,2	315	327	12	17,4	56	71,1	832	843	11	19,4	96	141,5	483	502	19	9,7
17	22,3	327	338	11	19,4	57	72,3	843	855	12	17,4	97	143,3	502	520	18	10,4
18	23,2	338	347	9	25,0	58	73,3	855	865	10	21,9	98	145,2	520	539	19	9,7
19	24,2	347	357	10	21,9	59	74,8	865	880	15	13,1	99	148,1	539	568	29	5,7
20	24,5	362	365	3	99,7	60	75,8	880	890	10	21,9	100	150,9	568	596	28	6,0
21	25,9	377	391	14	14,3	61	76,8	73	83	10	21,9	101	153,8	596	625	29	5,7
22	28,3	391	415	24	7,3	62	77,8	83	93	10	21,9	102	156,1	625	648	23	7,7
23	30,9	415	441	26	6,6	63	79,3	93	108	15	13,1	103	158,4	648	671	23	7,7
24	32,4	441	456	15	13,1	64	81,1	108	126	18	10,4	104	160,7	671	694	23	7,7
25	32,9	456	461	5	52,4	65	83,0	126	145	19	9,7	105	162,5	694	712	18	10,4
26	33,6	461	468	7	34,3	66	84,8	145	163	18	10,4	106	164,0	712	727	15	13,1
27	34,0	468	472	4	69,4	67	86,2	163	177	14	14,3	107	165,2	727	739	12	17,4
28	35,3	472	485	13	15,7	68	87,6	177	191	14	14,3	108	166,2	739	749	10	21,9
29	36,7	485	499	14	14,3	69	89,7	191	212	21	8,6	109	167,3	749	760	11	19,4
30	37,8	499	510	11	19,4	70	90,9	0	12	12	17,4	110	168,2	760	769	9	25,0
31	38,9	510	521	11	19,4	71	93,7	12	40	28	6,0	111	169,4	769	781	12	17,4
32	40,1	521	533	12	17,4	72	96,7	40	70	30	5,5	112	171,5	781	802	21	8,6
33	41,1	533	543	10	21,9	73	98,7	70	90	20	9,1	113	172,5	802	812	10	21,9
34	42,6	543	558	15	13,1	74	99,8	90	101	11	19,4	114	173,8	812	825	13	15,7
35	44,2	558	574	16	12,1	75	100,9	101	112	11	19,4	115	174,9	825	836	11	19,4
36	45,2	574	584	10	21,9	76	103,5	112	138	26	6,6	116	176,0	836	847	11	19,4
37	46,8	584	600	16	12,1	77	105,4	122	141	19	9,7	117	177,2	847	859	12	17,4
38	48,0	600	612	12	17,4	78	106,3	141	150	9	25,0	118	178,4	859	871	12	17,4
39	49,9	612	631	19	9,7	79	107,8	150	165	15	13,1	119	179,3	871	880	9	25,0
40	51,4	631	646	15	13,1	80	109,0	165	177	12	17,4	120	180,6	880	893	13	15,7

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta la mayor cantidad de valores entre 10 y 20 mm/golpe. Esto se puede relacionar a suelos finos de consistencia media. Entre las profundidades 80 cm y 160 cm se encontró un estrato de suelo menos consistente, con valores de D mayores a 20 mm/golpe. Sin embargo, bajo la profundidad 160 cm, se vuelve a valores menores a 20 mm/golpe.

35.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

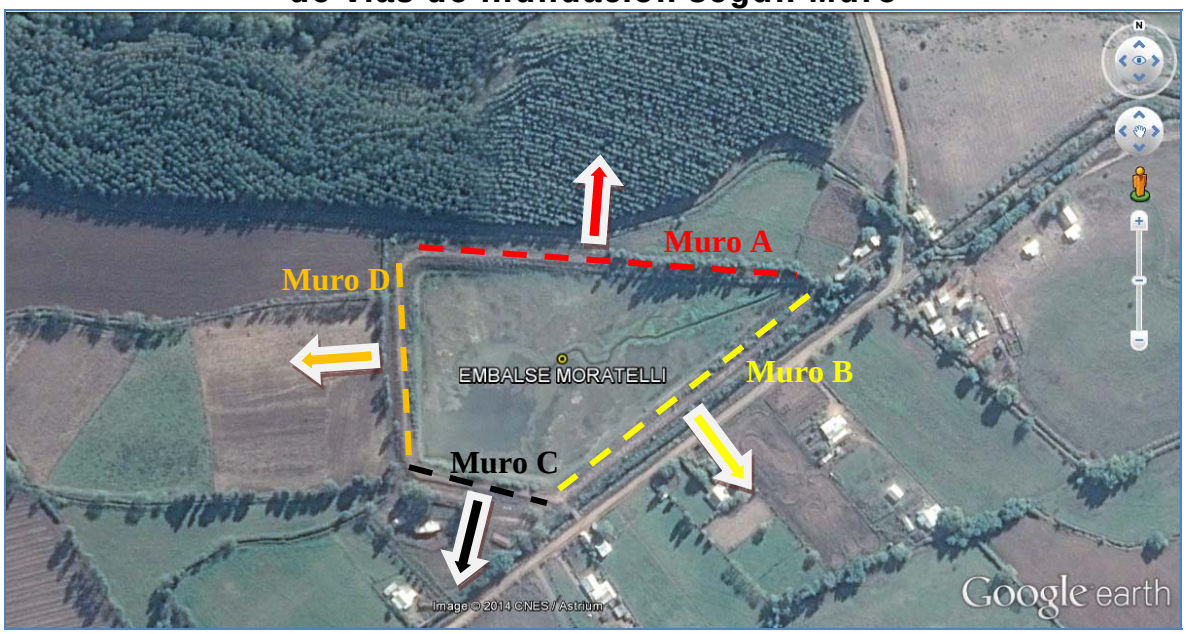
El embalse de riego Moratelli se ubica en la comuna de San Rafael, provincia de Talca, Región del Maule.

Se llega a él desde la ruta 5, saliendo de ella por la ruta K-31 (Camarico) hacia el oriente. Al llegar al cruce con la ruta K-15, tomar ésta en dirección al norte; al cabo de unos kilómetros, se llega al cruce con la ruta K-409, la que se debe tomar en dirección sur. Al mantenerse

en ella se llega a las afueras del embalse Moratelli, ubicado hacia el lado poniente de la ruta.

Dada su geometría, este embalse posee cuatro muros, todos ellos con fallas apreciables post-terremoto 2010, según lo establece la referencia [3]. La siguiente figura muestra la configuración en planta del embalse en estudio y la direccionalidad del curso de inundación, según correspondiera al muro en colapso (se supone falla independiente en uno de los cuatro muros).

Configuración en planta del embalse Moratelli y direccionalidad de vías de inundación según Muro



Al inspeccionar la pendiente de la superficie adyacente a cada muro, en el sentido de las aguas, se puede ver lo siguiente:

- **Superficie adyacente al Muro A:** en la zona inmediatamente adyacente a este muro, el terreno presenta una clara pendiente a favor del escurrimiento. Esta pendiente mantiene su tendencia hasta unos 200m aguas abajo, hasta que el terreno se transforma en una depresión, punto en que se encuentra una canalización. Luego de la depresión se genera en el terreno una contrapendiente.

  El área en análisis se aprecia boscosa (alta densidad), con claros cultivados en la depresión señalada.

- **Superficie adyacente al Muro B:** análogamente a lo que sucede en el caso del Muro A, en la zona inmediatamente adyacente al muro, el terreno presenta una clara pendiente a favor del escurrimiento. Esta pendiente mantiene su tendencia hasta unos 105m aguas abajo, hasta que el terreno se transforma en una depresión, con contrapendiente unos metros más adelante.

  En esta zona se aprecian zonas habitadas (baja densidad) y áreas de cultivo.

- **Superficie adyacente al Muro C:** inmediatamente aguas abajo del muro, el terreno presenta una muy baja pendiente a favor de las aguas; sin embargo, a los 245m, esta pendiente aumenta considerablemente hasta encontrarse con un curso de agua.

  En esta zona se aprecian zonas habitadas (baja densidad) y áreas de cultivo.

- **Superficie adyacente al Muro D:** el terreno inmediatamente adyacente posee pendiente nula (terreno muy plano), lo que se mantiene por unos 215m, después de los cuales se genera una alta contrapendiente.

  En este sector aledaño al muro en cuestión se aprecian áreas de cultivo y terreno boscoso de alta densidad.

Dado que, aguas abajo del **Muro C**, el terreno posee una mayor pendiente que el resto de las superficies aledañas, y que además esta zona presenta áreas habitadas, lo que sigue del análisis se centrará en lo que sucede aguas abajo de dicho muro.

En consecuencia con lo anterior, al unir los puntos bajos de lo que se estima sería la vía de inundación preferente en caso de colapso en el Muro C, se obtiene un eje de 647m con una pendiente media de 2,5%.

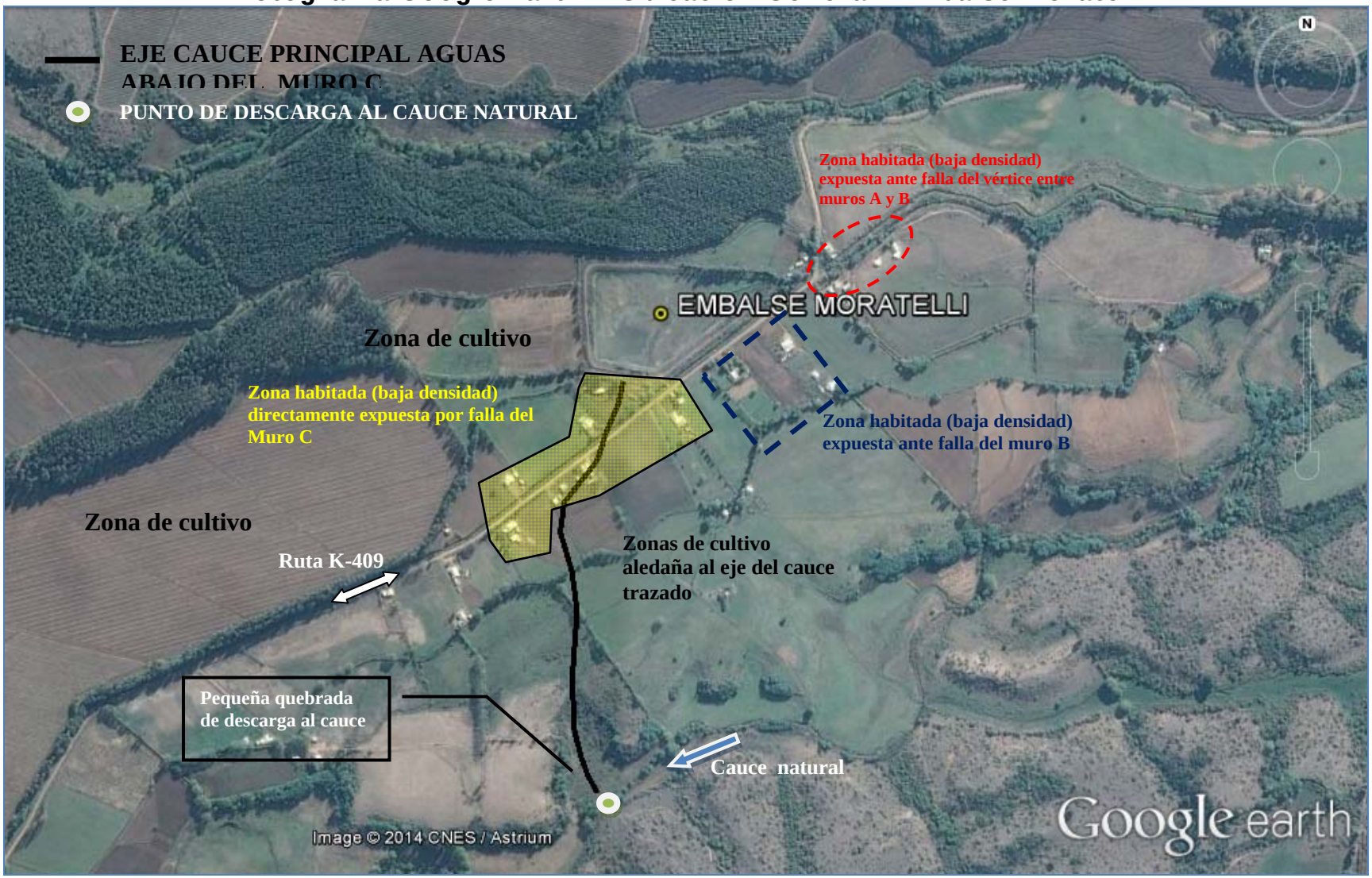
Prácticamente a los pies del embalse, se observan tanto viviendas y áreas de cultivo, como el paso de la ruta K-409, a escasos 90m del Muro C.

El eje del cauce trazado, aguas debajo de la ruta K-409 vuelve a cruzar algunas viviendas y terrenos agrícolas para luego descargar a un cauce natural.

En cuanto a otro tipo de infraestructura importante, no se aprecia la presencia de ninguna otra de esa categoría.

En el siguiente fotograma Google Earth se aprecia el contexto del embalse respecto a su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Moratelli



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Moratelli:

CUADRO 35-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE MORATELLI(*)

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Moratelli	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle agrícola habitado	---
	Tipo de Terreno	Agrícola de baja densidad arbórea y/o arbustiva	---
	Pendiente Media	No hay cauce	m/m
	Ancho medio	No hay cauce	---
DISTANCIAS A	Centros Poblados medidos por el Cauce	A los pies del Muro	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,09	km
	Zonas Agrícolas	Adyacentes	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

(*) Todos los datos están referidos al estudio aguas abajo del denominado Muro C.

35.4. Caudales Máximos Instantáneos

No tiene cuenca aportante.

35.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Moratelli fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Moratelli	Arena limosa con gravas	28	0,15	1,85	3	30	30	3,5 a 4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.24
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.82
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	2.20

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	3.89
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	3.09

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

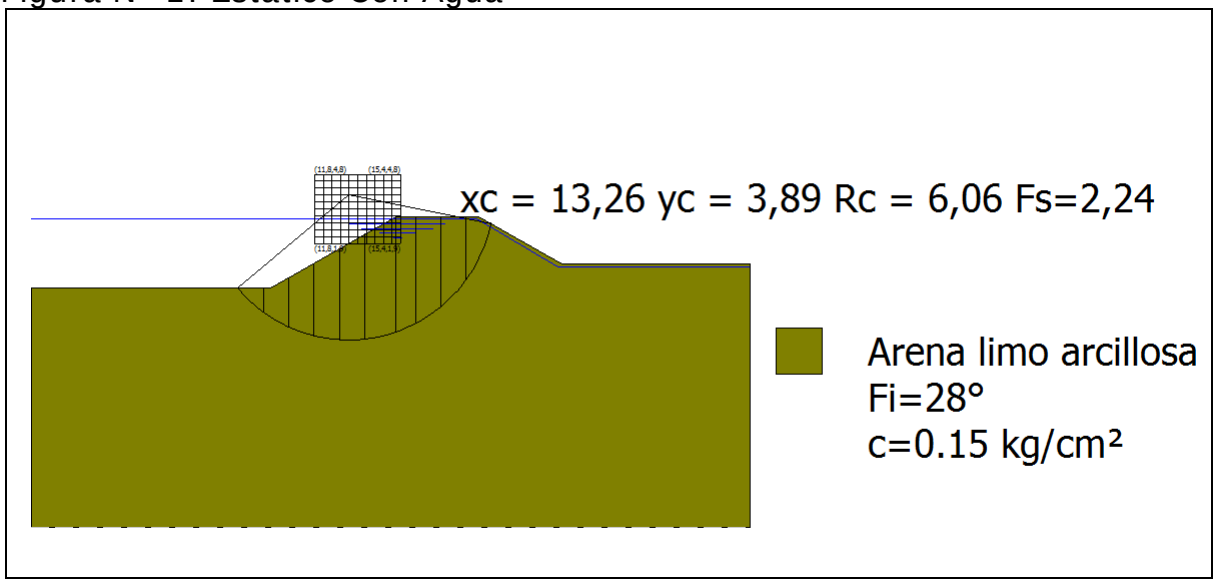


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

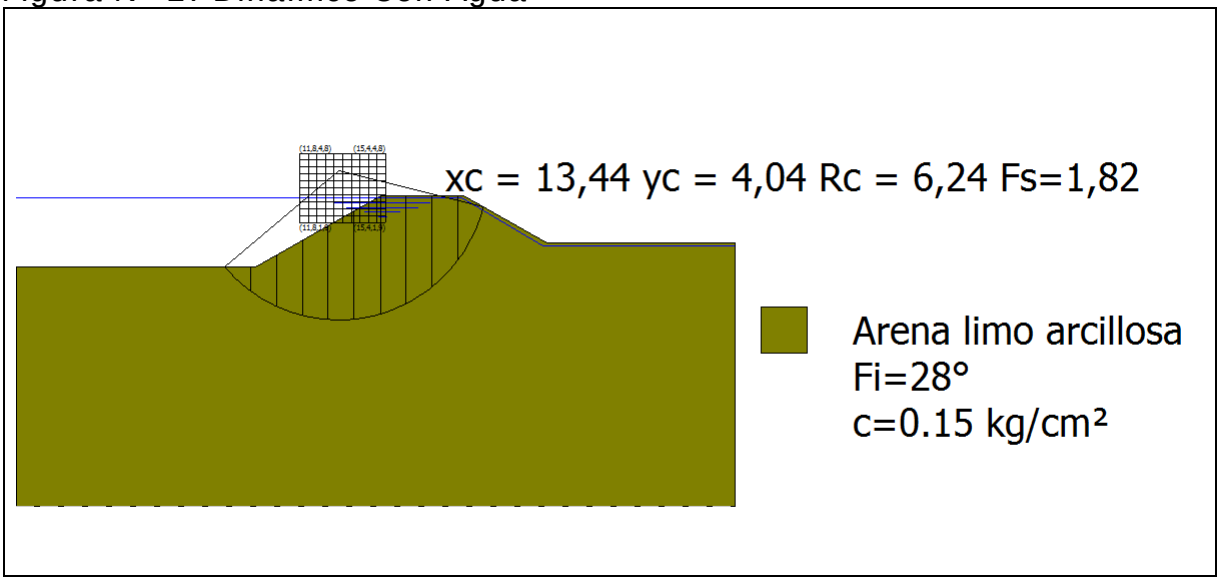
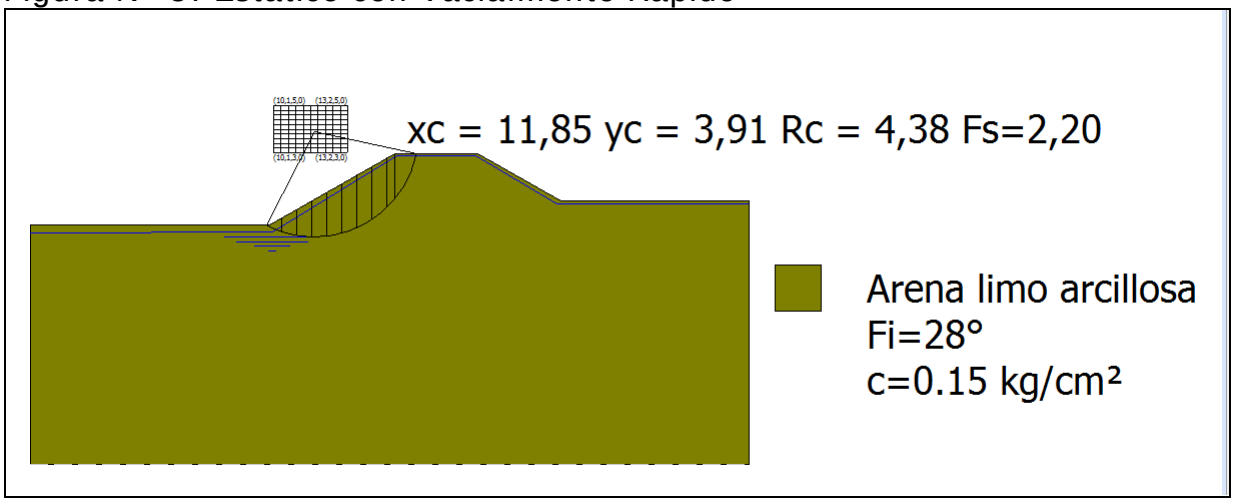


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

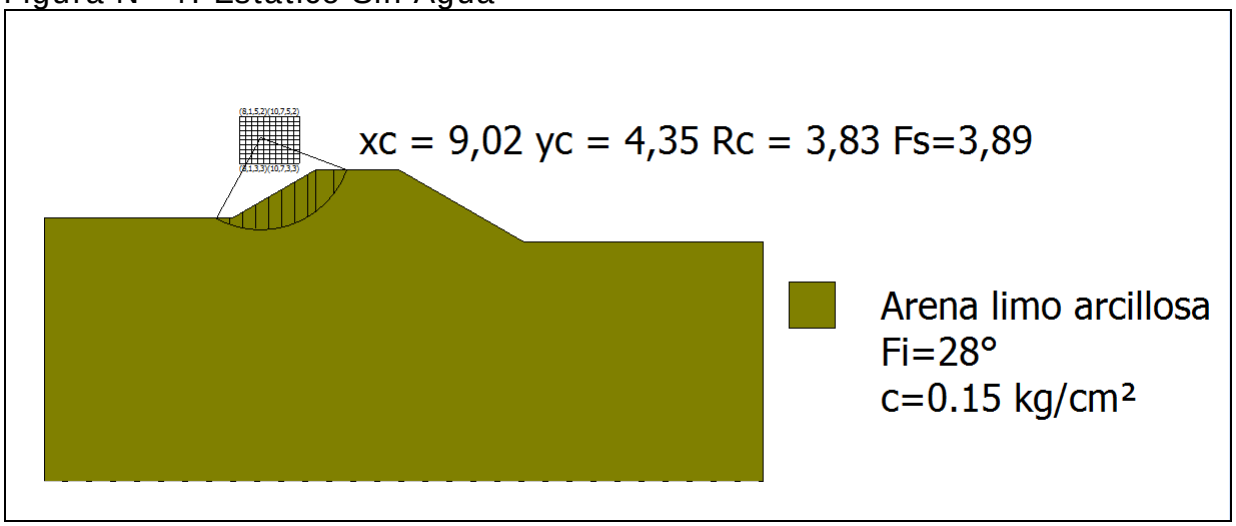
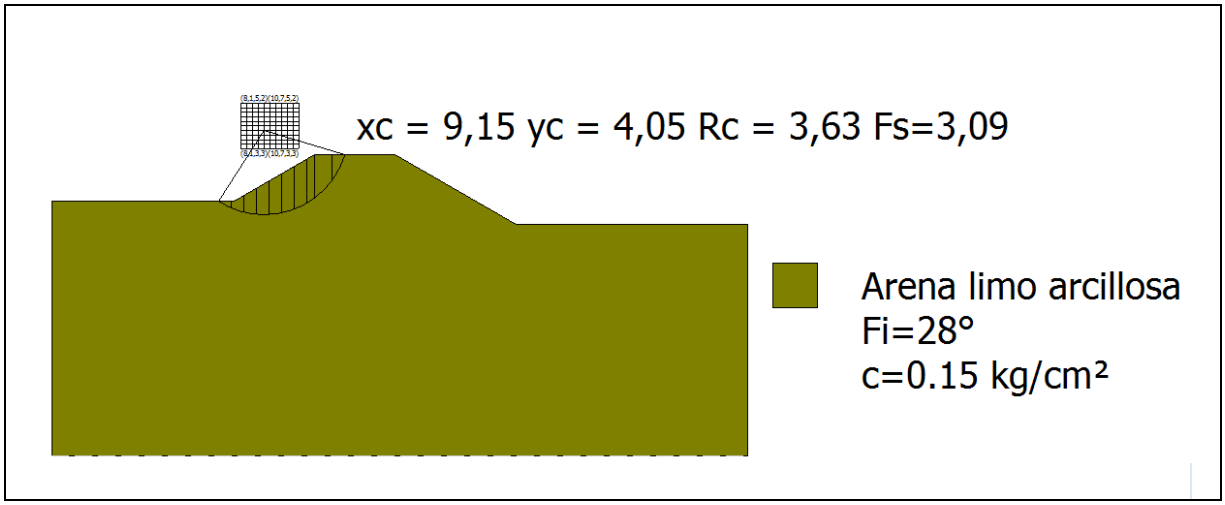


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Moratelli sufrió daños muy severos debido al terremoto del año 2010. Los daños fueron especialmente graves en el muro este y el muro Sur.

ii) En el transcurso de la visita y de lo conversado con un vecino del sector, se pudo concluir que los muros este y sur (parcialmente) se rehicieron completamente. Los muros Norte y Oeste, por su parte, no fueron reparados ya que tenían pocos daños.

iii) Debido a lo indicado en el punto anterior es que, en general, los muros se encontraron en buenas condiciones. Se exceptúa el lado poniente del muro Sur que presenta todavía las grietas producidas por el terremoto y que no fueron reparadas.

iv) Debido a que el tranque se encontraba seco no fue posible determinar la existencia de filtraciones.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, los valores obtenidos superan los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Aún cuando el embalse Moratelli se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente y aprobado por la DGA.

35.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 35-2
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Emb. Moratelli	Arenas Limosas	13,8	0	4,6	6	2,0	12,0	Si

35.7. Caudal Máximo en Vertedero

No tiene cuenca aportante.

35.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E
Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Moratelli, VII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,41 **b=** 0,99

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	2,9512	0,3
6,5	0,9441	1,1
7	0,3020	3,3
7,5	0,0966	10,4
8	0,0309	32,4
8,5	0,0099	101,2
9	0,0032	316,2

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g**
es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **23,4** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02
cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 23,4 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 23,4 años, o 0,043.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: No dispone de vertedero.

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	-	
0,002 (T= 500 años)	-	
0,001 (T= 1.000 años)	-	

Nota: No tiene cuenca aportante.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	0,5
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

Nota: No tiene cuenca aportante.

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	0,5

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,043
Probabilidad de Falla por Escorrentía= No posee (No tiene cuenca aportante)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que es el único que tiene una probabilidad asociada.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,043
Vulnerabilidad Frente a la Sismo = 0,05
Potencialidad de Falla= 0,5

Riesgo Total= 0,043 x 0,05 x 0,5=0,11 %

36. EMBALSE AGUAS VERDES

36.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Aguas Verdes.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	El Sauzal	Nº de ficha	6
Propietario	Narciso Moukarzel Villarroel	Fecha (dd/mm/año)	29/8/2014; 11:40 hrs.
	Calle Almirante Juanne Nº 7, Edificio		
	Costa Real, Dpto. 36 B, Viña del Mar		
Año de construcción	se desconoce	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Cost. Entre Aconcagua y Maipo/055		
Subcuenca / Código DGA	Lago Peñuelas/0551		
Fuente del recurso	Cuanca aportante		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	V Región de Valparaíso	
Provincia	Valparaíso	
Comuna	Valparaíso	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 6.333.566	E = 255.326
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	279	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	53 m
Ancho del coronamiento (m)	3 a 4 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	> 30 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	No apreciable
Paramentos verticales	NO
Ángulo talud de aguas abajo	35°
Ángulo talud de aguas arriba	32°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	35
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	No medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	16.000
Ancho máximo de la poza (m)	120
Largo de la poza (m)	235
Volumen declarado o proyectado (m3)	200.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Muro de ancho constante y taludes uniformes
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Taludes uniformes, estables sin daños
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	20 cm de asentamiento en el centro
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se puede observar
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se puede observar
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se puede observar
Tipo de revestimiento del muro	No tiene

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	NO TIENE VERTEDERO
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	1 Compuerta empotrada en una estructura de hormigón, que entrega por tubo bajo el muro a 40 m del pie del muro
Mediciones estructurales	ver monografía
Funcionamiento actual	operativa

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Valle agrícola, cultivos y baja presencia arbórea y arbustiva, i= 0,008
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1,93 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,05 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media
Distancia hacia zonas agrícolas	Aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,93 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Gran socavón en el muro Norte, donde se ubica la compuerta de entrega para riego;

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

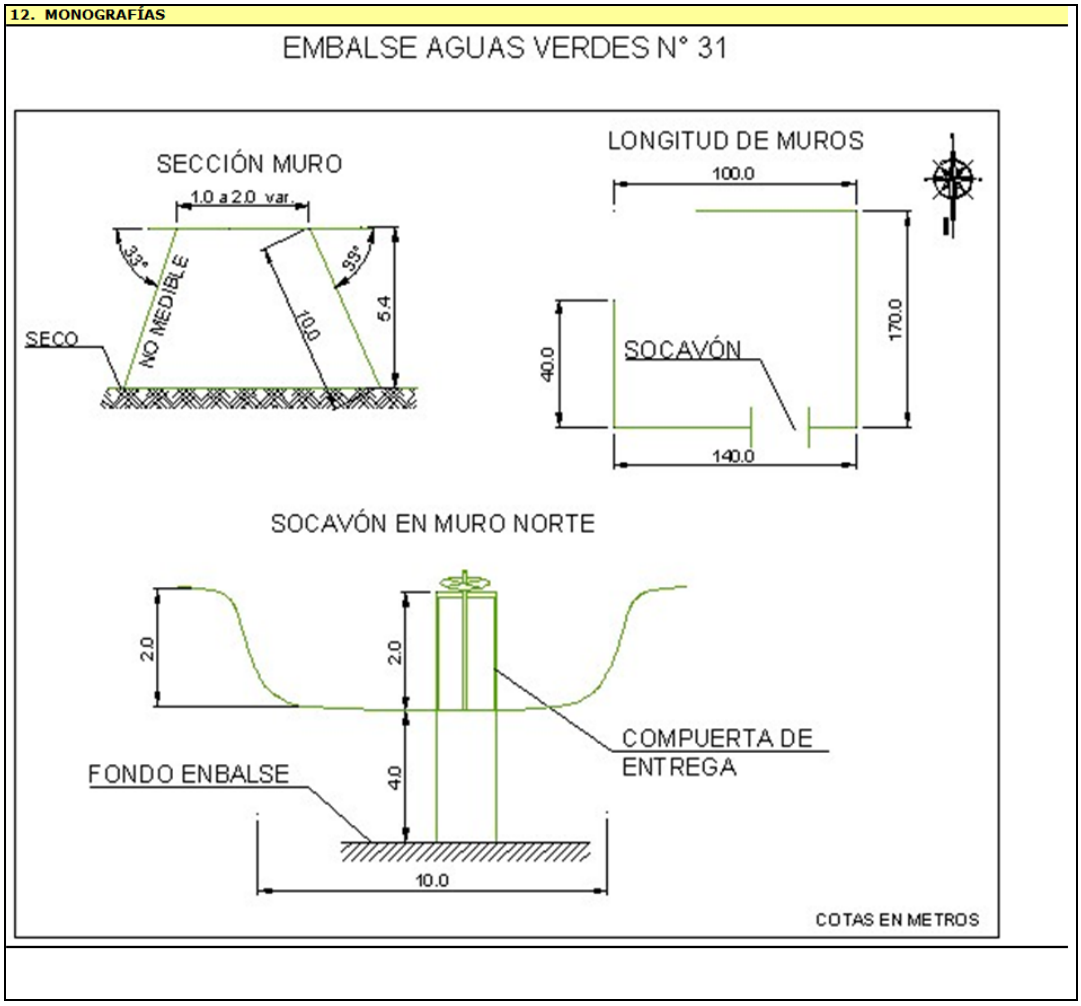
Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	6
Profundidad máxima de agua en sector del muro	seco
Área estimada o calculada de la poza (m2)	78.740
Ancho máximo de la poza (m)	290
Largo de la poza (m)	340
Volumen declarado o proyectado (m3)	250.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Irregular
Compacidad del material estructural	Media a Alta
Uniformidad de los taludes	no uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	si, 0,4 m en muro Sur
Grietas visibles y su ubicación	no se observaron
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Al pie del talud del muro Norte y Oeste
Tipo de revestimiento del muro	no

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE AGUAS VERDES (31)

TALUD POR AGUAS ARRIBA

TALUD POR AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

OBRA DE ENTREGA PARA RIEGO

OBRA DE ENTREGA PARA RIEGO VISTA DESDE OTRO ÁNGULO

LLEGADA DEL AGUA PARA RIEGO A CANAL

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

36.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Aguas Verdes, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta en estado natural.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los del sector, es decir limos arenosos de color café. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a baja, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

De lo observado en la visita efectuada es posible concluir, que el embalse Aguas Verdes, está formado por cuatro muros, siendo los principales los muros oeste y norte, mientras que los muros sur y este, fuera de ser más bajos, son parciales, esto es que tienen tan solo una decena de metros quedando el sector sureste del embalse sin muros.
Si bien la existencia de una vegetación muy tupida impidió ver con detalle los muros, en los lugares donde la observación fue posible, no se detectaron grietas ni deformaciones en estos, lo que es concordante con

los antecedentes recopilados en cuanto a que los muros no sufrieron daños importantes debido al terremoto del año 2010.

También se pudo constatar, por las señales aún visibles que en la esquina noroeste del embalse, donde se ubica un desagüe de fondo, producto del vertimiento de agua sobre el muro, se provocó el arrastre de unos 12 m de éste. A la fecha de la visita el embalse se encontraba vacío, sin embargo se desconoce si esto corresponde a una decisión permanente de los usuarios debido a la falta de un vertedero de crecidas o más bien a una situación puntual.

Aun cuando la tupida vegetación impide efectuar mediciones confiables de la geometría de los muros, se entregan las siguientes medidas aproximadas: longitud total de los muros 450 m; ancho de coronamiento variable de 1 a 2 m; inclinación talud aguas arriba 33°; altura hasta el nivel suelo (embalse vacío) 4.5 m; inclinación talud aguas abajo 33°; altura máxima talud aguas abajo 5.4 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

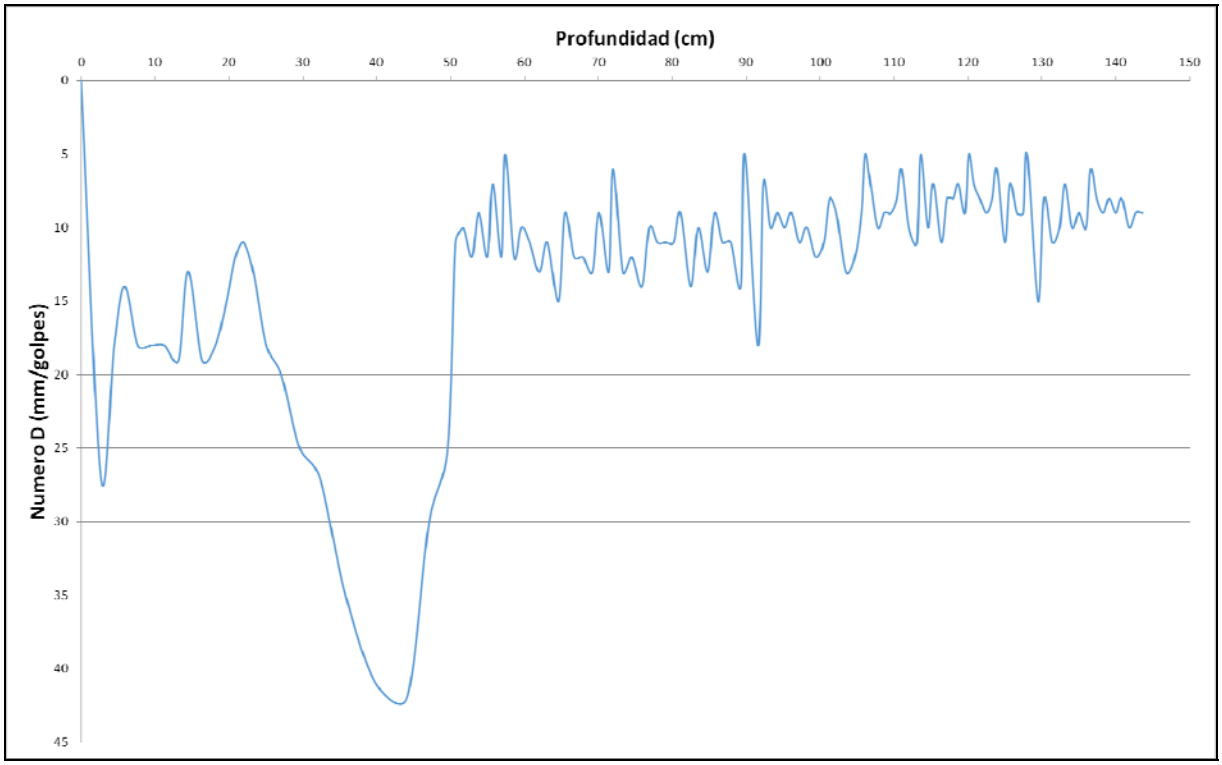
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Aguas Verdes

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	2.7	128	155	27	6.3	41	69.2	807	820	13	15.7	81	110.4	210	218	8	29.0
2	4.5	155	173	18	10.4	42	70.1	820	829	9	25.0	82	111.0	218	224	6	41.6
3	5.9	173	187	14	14.3	43	71.4	829	842	13	15.7	83	112.0	224	234	10	21.9
4	7.7	187	205	18	10.4	44	72.0	28	34	6	41.6	84	113.1	234	245	11	19.4
5	9.5	205	223	18	10.4	45	73.3	34	47	13	15.7	85	113.6	245	250	5	52.4
6	11.3	223	241	18	10.4	46	74.5	47	59	12	17.4	86	114.6	250	260	10	21.9
7	13.2	241	260	19	9.7	47	75.9	59	73	14	14.3	87	115.3	260	267	7	34.3
8	14.5	260	273	13	15.7	48	76.9	73	83	10	21.9	88	116.4	267	278	11	19.4
9	16.4	273	292	19	9.7	49	78.0	83	94	11	19.4	89	117.2	278	286	8	29.0
10	18.2	292	310	18	10.4	50	79.1	94	105	11	19.4	90	118.0	286	294	8	29.0
11	19.7	310	325	15	13.1	51	80.2	105	116	11	19.4	91	118.7	294	301	7	34.3
12	20.9	325	337	12	17.4	52	81.1	116	125	9	25.0	92	119.6	301	310	9	25.0
13	22.0	337	348	11	19.4	53	82.5	125	139	14	14.3	93	120.1	310	315	5	52.4
14	23.3	348	361	13	15.7	54	83.5	139	149	10	21.9	94	120.8	315	322	7	34.3
15	25.1	361	379	18	10.4	55	84.8	149	162	13	15.7	95	121.6	322	330	8	29.0
16	27.1	379	399	20	9.1	56	85.7	162	171	9	25.0	96	122.5	330	339	9	25.0
17	29.6	399	424	25	6.9	57	86.8	171	182	11	19.4	97	123.3	339	347	8	29.0
18	32.3	424	451	27	6.3	58	87.9	182	193	11	19.4	98	123.9	347	353	6	41.6
19	35.8	451	486	35	4.5	59	89.3	193	207	14	14.3	99	125.0	353	364	11	19.4
20	39.9	486	527	41	3.7	60	89.8	7	12	5	52.4	100	125.7	364	371	7	34.3
21	44.1	527	569	42	3.6	61	91.6	12	30	18	10.4	101	126.6	371	380	9	25.0
22	47.1	569	599	30	5.5	62	92.3	30	37	7	34.3	102	127.5	380	389	9	25.0
23	49.6	599	624	25	6.9	63	93.3	37	47	10	21.9	103	128.0	389	394	5	52.4
24	50.7	624	635	11	19.4	64	94.2	47	56	9	25.0	104	129.5	394	409	15	13.1
25	51.7	635	645	10	21.9	65	95.2	56	66	10	21.9	105	130.3	409	417	8	29.0
26	52.9	645	657	12	17.4	66	96.1	66	75	9	25.0	106	131.4	417	428	11	19.4
27	53.8	657	666	9	25.0	67	97.2	75	86	11	19.4	107	132.4	428	438	10	21.9
28	55.0	666	678	12	17.4	68	98.2	86	96	10	21.9	108	133.1	438	445	7	34.3
29	55.7	678	685	7	34.3	69	99.4	96	108	12	17.4	109	134.1	445	455	10	21.9
30	56.9	685	697	12	17.4	70	100.5	108	119	11	19.4	110	135.0	455	464	9	25.0
31	57.4	697	702	5	52.4	71	101.3	119	127	8	29.0	111	136.0	464	474	10	21.9
32	58.6	702	714	12	17.4	72	102.2	127	136	9	25.0	112	136.6	474	480	6	41.6
33	59.6	714	724	10	21.9	73	103.5	136	149	13	15.7	113	137.4	480	488	8	29.0
34	60.7	724	735	11	19.4	74	104.7	149	161	12	17.4	114	138.3	488	497	9	25.0
35	62.0	735	748	13	15.7	75	105.6	161	170	9	25.0	115	139.1	497	505	8	29.0
36	63.1	748	759	11	19.4	76	106.1	170	175	5	52.4	116	140.0	505	514	9	25.0
37	64.6	759	774	15	13.1	77	106.8	175	182	7	34.3	117	140.8	514	522	8	29.0
38	65.5	774	783	9	25.0	78	107.8	182	192	10	21.9	118	141.8	522	532	10	21.9
39	66.7	783	795	12	17.4	79	108.7	192	201	9	25.0	119	142.7	532	541	9	25.0
40	67.9	795	807	12	17.4	80	109.6	201	210	9	25.0	120	143.6	541	550	9	25.0

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta, en general, valores entre 5 y 15 mm/golpe, en los primeros metros del ensayo. Esto se puede relacionar a suelos finos de consistencia media. Entre las profundidades 5 cm y 50 cm se encontró un estrato de suelo con consistencia media a baja, con valores de D entre 15 y 42 mm/golpe.

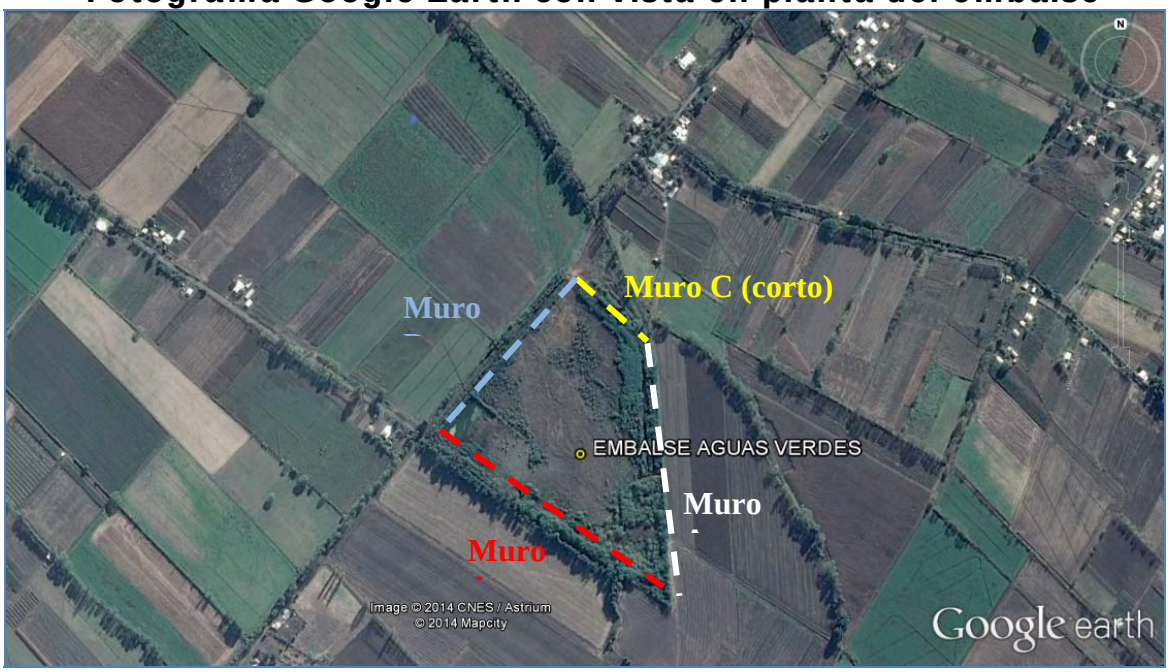
36.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Aguas Verdes (también conocido como San Jorge) se ubica en la comuna de San Carlos, provincia de Ñuble, Región del Biobío.

Para llegar a él, a la altura de San Carlos, se debe salir de la ruta 5 por la ruta N-269 en dirección oriente y mantenerse en ella hasta el cruce con la ruta N-265, la que se debe tomar en dirección al norte. Al llegar al cruce con la ruta N-275, se toma ésta en dirección hacia la cordillera, la que luego de 2km deja a las afueras del embalse.

Estando configurado por 4 muros (uno de ellos muy corto en relación a los demás), el embalse Aguas Verdes se encuentra emplazado en un valle agrícola extenso y de alta regularidad en su relieve.

Fotograma Google Earth con vista en planta del embalse



Cabe mencionar que la referencia [4] señala que las fallas se concentran en el Muro C (corto); por esto, se centralizará el análisis, buscando el eje de la vía preferente de inundación aguas abajo de este muro, buscando siempre la superficie con mayor pendiente.

De este modo, para el cauce de aguas abajo del Muro C, se obtuvo un eje de 1,93km de longitud, medida entre el pie de dicho muro y las proximidades de la ruta N-265. La pendiente de la vía preferente se estima de un 7,8 ‰ .

El terreno que cruzaría la inundación en caso de falla, es de tipo eminentemente agrícola con viviendas distribuidas de forma espaciada en torno al cauce definido, con baja densidad poblacional estimada.

En términos perpendiculares al cauce, la vivienda más cercana se encuentra a 50m de distancia. Por su parte, midiendo por el eje del cauce, la primera vivienda se encuentra a 1,94km aguas abajo del Muro C, aproximadamente.

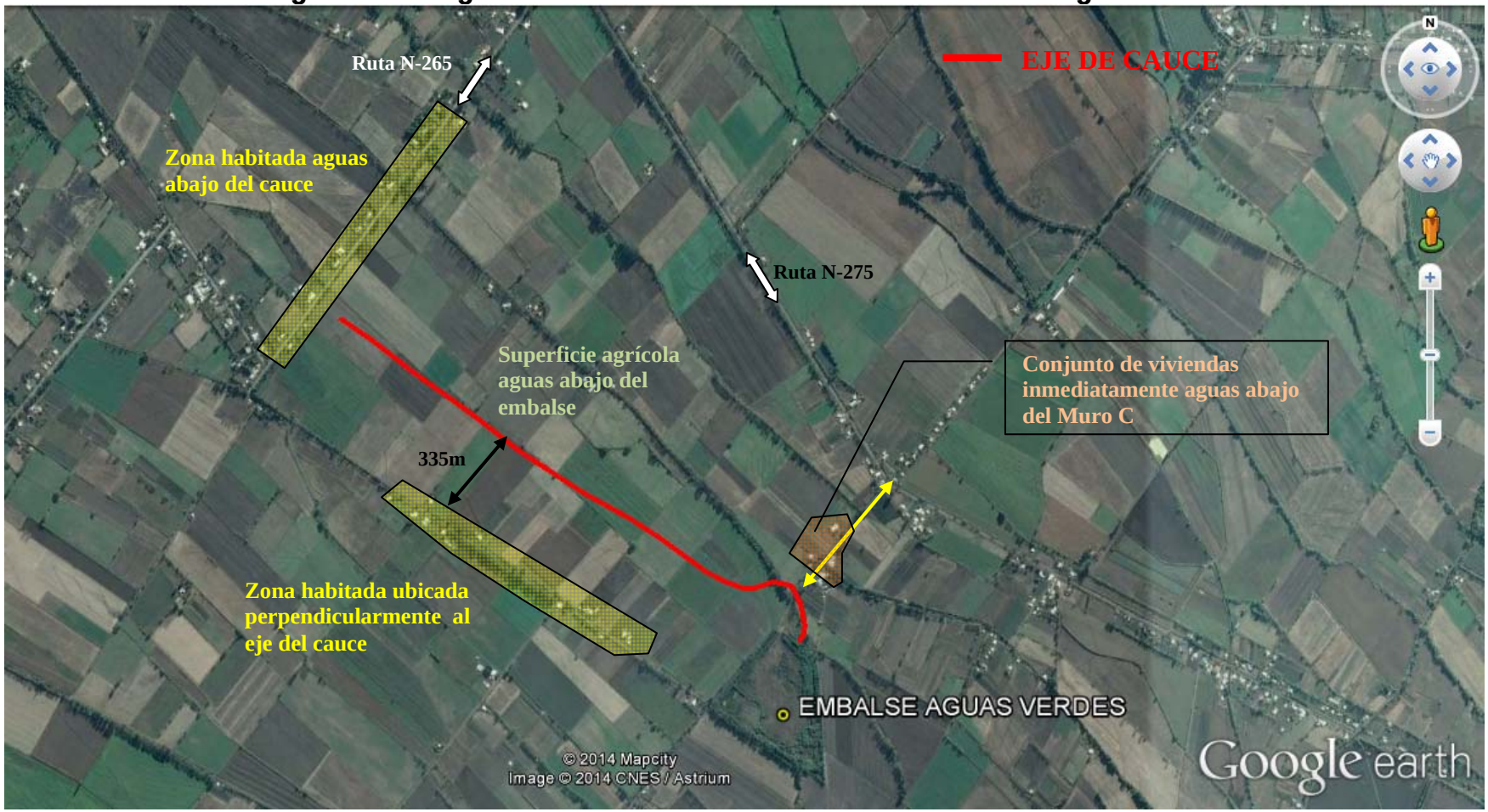
En cuanto a rutas enroladas cercanas al área de aguas abajo estudiada, se aprecian las siguientes:

- Ruta N-275: se sitúa a una distancia mínima perpendicular al cauce de 450m.
- Ruta N-265: se sitúa a una distancia medida por el cauce de 1,93km.

No se aprecia otro tipo de infraestructura de importancia en las cercanías de la zona aguas abajo del Muro C.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse en relación a su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Aguas Verdes



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Aguas Verdes:

CUADRO 36-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE AGUAS VERDES

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Aguas Verdes	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle agrícola	---
	Tipo de Terreno	Cultivos y baja presencia de especies arbóreas y/o arbustivas	---
	Pendiente Media	0,0078	m/m
	Ancho medio	Relativo al tamaño de la falla	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	1,93	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,05	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	1,93	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Media	---

36.4. Caudales Máximos Instantáneos

No tiene cuenca aportante.

36.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Aguas Verdes fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Aguas Verdes	Limo arenoso	28	0,10	1,80	5,4	33	33	1 a 2

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.84
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.45
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.72

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.76
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.38

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

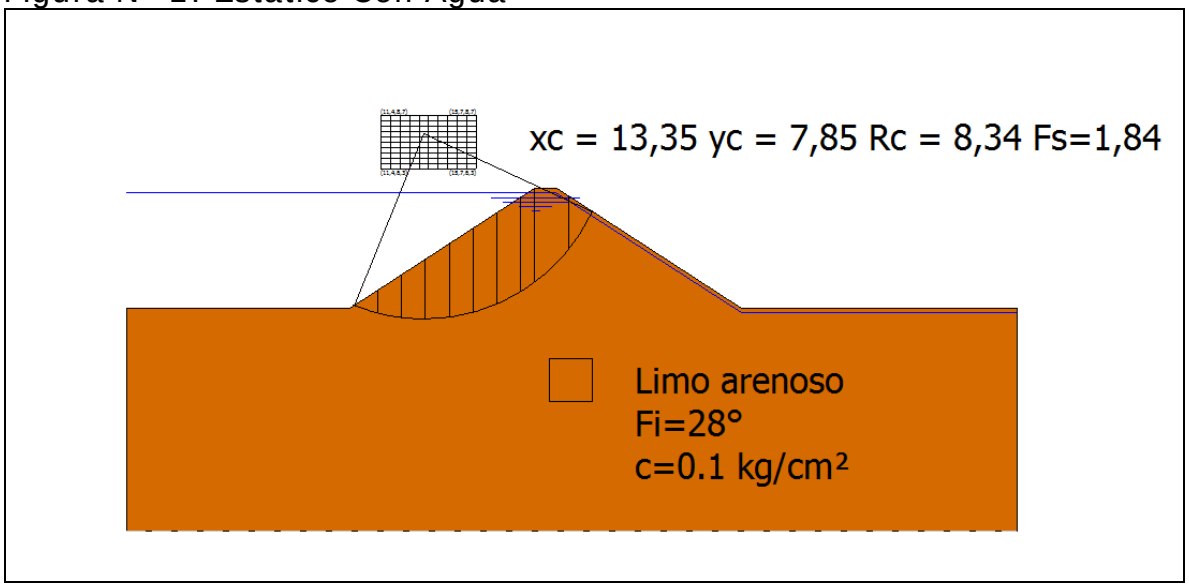


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

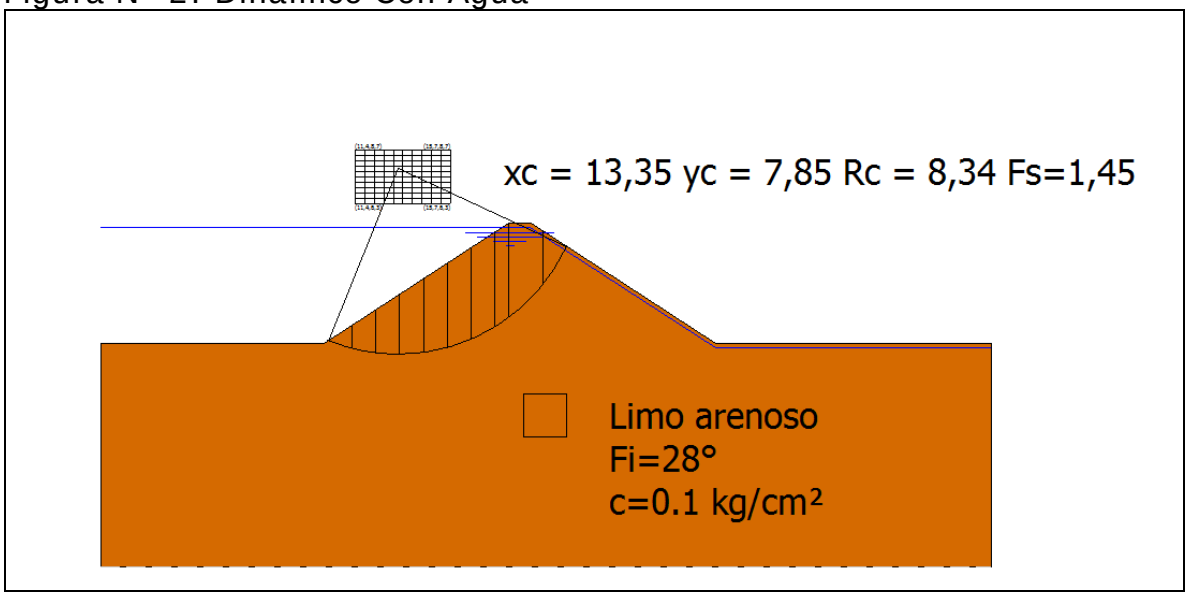
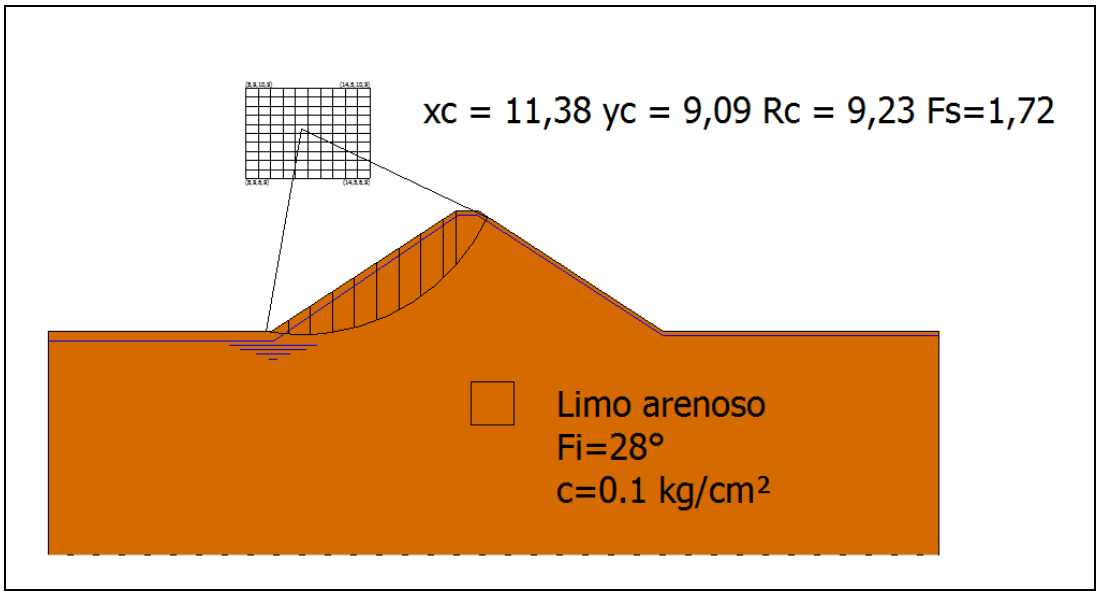


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

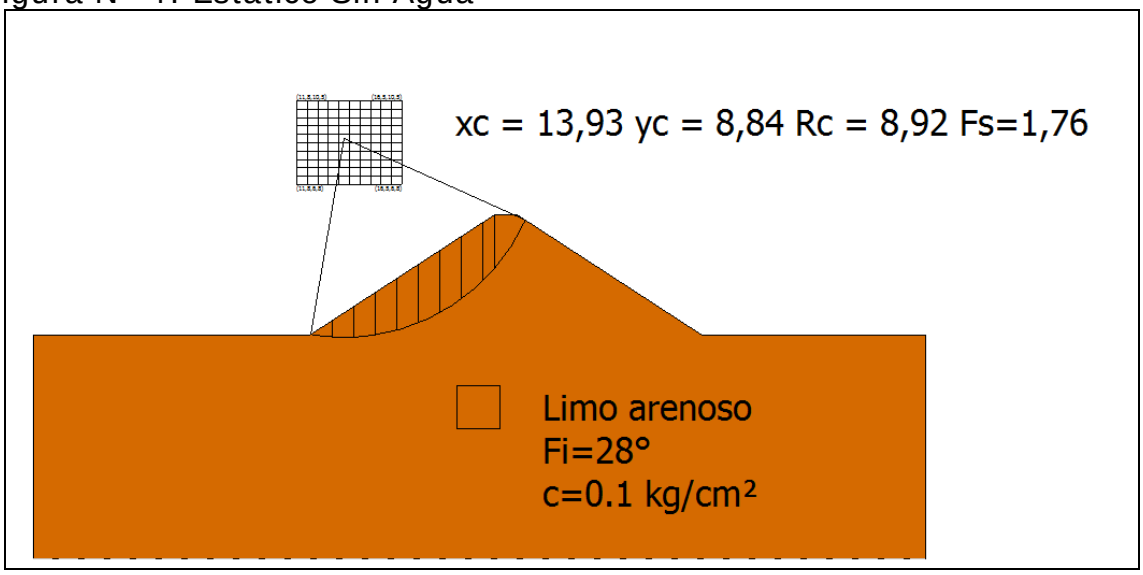
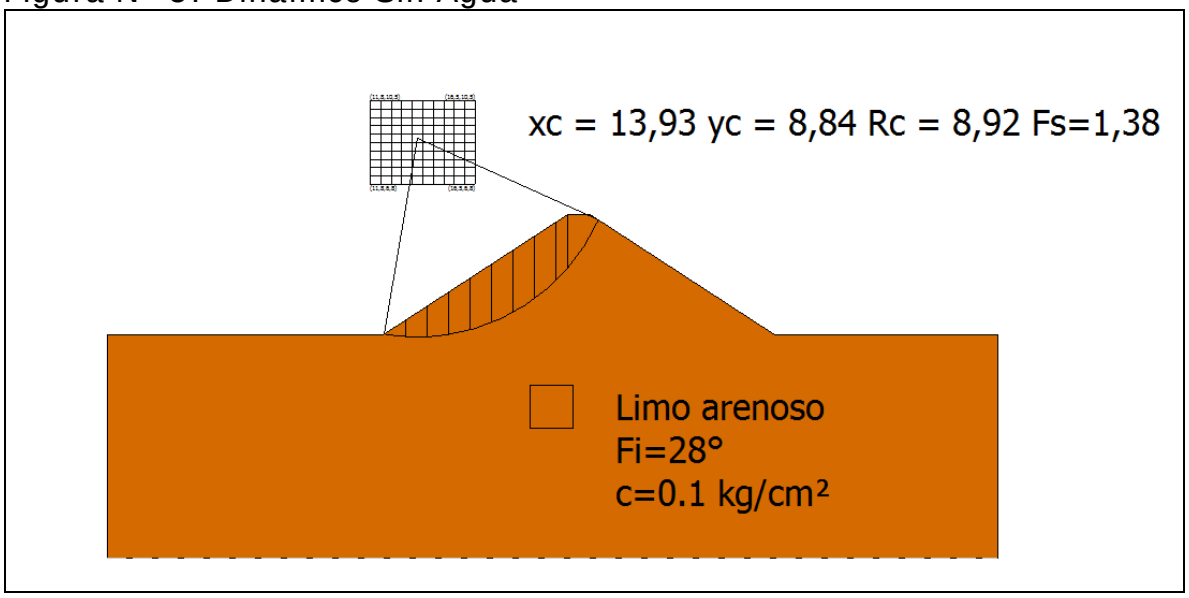


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El embalse Aguas Verdes está formado por cuatro muros, siendo los principales los muros oeste y norte, mientras que los muros sur y este, fuera de ser más bajos, son parciales, esto es que tienen tan solo una decena de metros quedando el sector sureste del embalse sin muros.

ii) El tranque Aguas Verdes, aparentemente, no sufrió daños con el terremoto del año 2013. Sin embargo, en el año 2013, debido a una mala operación y a la falta de un vertedero de crecidas, el nivel de aguas en el embalse supero la altura del coronamiento y se llevó el sector donde se ubicaba la obra de descarga (sector noroeste del muro).

iii) Si bien la existencia de una vegetación muy tupida impidió ver con detalle los muros, en los lugares donde esto fue posible no se detectaron grietas ni deformaciones en estos, lo que es concordante con los antecedentes recopilados en cuanto a que los muros no sufrieron daños importantes debido al terremoto del año 2010.

iv) También se pudo constatar (por las señales aún visibles) que en la esquina noroeste del embalse (donde se ubica un desagüe de fondo) se produjo el vertimiento de agua sobre el muro, lo que produjo el arrastre de unos 12 metros de este.

v) A la fecha de la visita el embalse se encontraba vacío, sin embargo, se desconoce si esto corresponde a una decisión permanente de los usuarios debido a la falta de un vertedero de crecidas o más bien a una situación puntual.

vi) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vii) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

viii) Dado que la situación del embalse Aguas Verdes es incierta y que la seguridad que entregan sus muros a la estabilidad no es adecuada se considera pertinente solicitar a sus propietarios un estudio de reparaciones para los diferentes muros. El estudio deberá ser efectuado por un ingeniero civil competente y posteriormente aprobado por la DGA.

ix) Una vez que se cuente con la aprobación de la DGA se podrán efectuar las reparaciones indicadas por el estudio.

x) En el intertanto se recomienda no autorizar la acumulación de agua en el embalse.

36.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 36-2
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Aguas Verdes (San Jo	Limos Arenosos	18,0	0	6,0	6	5,4	32,4	Si

36.7. Caudal Máximo en Vertedero

No tiene cuenca aportante

36.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Aguas Verdes, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 37,3 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 37,3 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor adoptado**

Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: No dispone de vertedero.

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s (No dispone de vertedero)

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	-	
0,002 (T= 500 años)	-	
0,001 (T= 1.000 años)	-	

Nota: No tiene cuenca aportante.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	0.5
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

Nota: No tiene cuenca aportante.

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	0,5

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,027
Probabilidad de Falla por Escorrentía= No posee (No tiene cuenca aportante)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que es el único que tiene una probabilidad asociada.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,027
Vulnerabilidad Frente a la Sismo= 0,05
Potencialidad de Falla= 0,5

Riesgo Total= 0,027 x 0,05 x 0,5= 0,07 %

37. EMBALSE SAN GERÓNIMO

37.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse San Gerónimo.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	San Gerónimo	Nº de ficha	32
Propietario	Soc. Agrícola y Vitivinícola San Gerónimo	Fecha (dd/mm/año)	30/9/2014; 8:50 hrs.
	Daniel Sbarbaro Casanova		
	Fundo Panguilemu Portezuelo S/N		
	Chillán		
Año de construcción		Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	Sí
Año de reparación	2010	Altura del muro > 5 m	Sí (> 10 m)
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081		
Subcuenca / Código DGA	Itata Bajo/0814		
Fuente del recurso	Cuenca menor		

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Biobío	
Provincia	Ñuble	
Comuna	Portezuelo	
Coordenadas UTM Estribo		
Coordenadas UTM Centro	N = 5.955.776	E = 733.970
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 18	
Altitud	100 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	187 m
Ancho del coronamiento	8 m
Desarrollo del talud aguas abajo	40 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	22 °
Ángulo talud de aguas arriba	24 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	15
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	56.000
Ancho máximo de la poza (m)	260
Largo de la poza (m)	400
Volumen declarado o proyectado (m3)	400.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Coordenadas UTM		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Media - Baja
Uniformidad de los taludes	uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	al pie por estribo izquierdo
Tipo de revestimiento del muro	No

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas
Vertederos de campana		

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***
Vertedero de pared delgada		Rectangulares
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares
		Circulares

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Frontal, ubicado en el centro del muro
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	ver monografías

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Obra de entrega por tuboi por debajo del muro, regulada por una compuerta al pie del muro
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

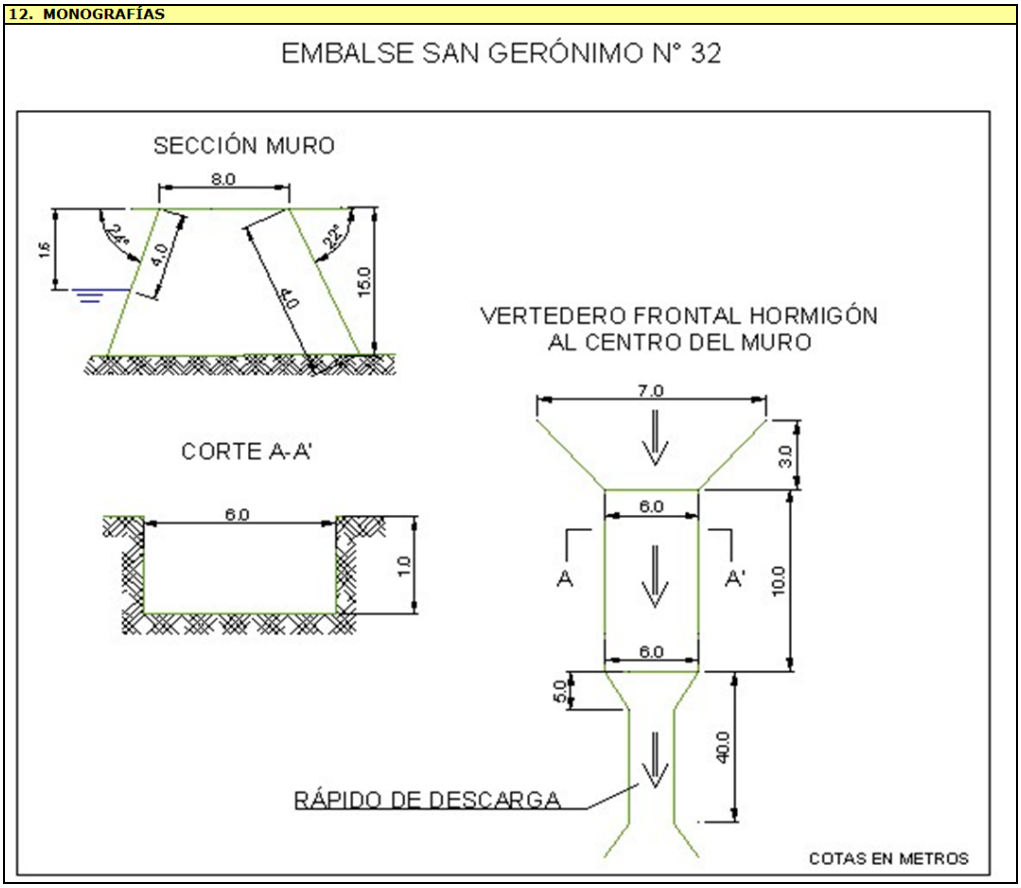
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	faldeo de cerro cultivado hacia aguas abajo, i= 0,04
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	No hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,1 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse reparado, en buenas condiciones

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE SAN GERÓNIMO (32)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

VERTEDERO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

37.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse San Gerónimo, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta en estado natural.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los del sector, es decir limos arenosos de color café. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

De lo observado es posible concluir que, si bien el embalse San Gerónimo sufrió daños debido al terremoto del año 2010, al momento de la visita, el muro se observaba sano, sin signos de grietas, hundimientos o deslizamientos. Según se informó, el tranque fue sometido a reparaciones, las que consistieron en remover los tres metros superiores del muro, para luego colocar un nuevo material compactado en capas. Por otra parte se construyó un vertedero sobre el coronamiento, en el centro del muro. Esta solución no convencional para ubicar el vertedero deberá ser avalada por algún especialista en presas,

ya que en general no es recomendada. Se desconoce la existencia de un proyecto de ingeniería para estos efectos.

A la fecha de la visita el embalse se encontraba casi lleno, no observándose filtraciones en el talud e aguas abajo.

En base a mediciones efectuadas en la visita, se entregan las siguientes medidas para el muro: longitud del muro 163 m; ancho de coronamiento 8 m; inclinación talud aguas arriba 24°; altura hasta el nivel del agua 1.6 m; inclinación talud aguas abajo 22°; altura máxima talud aguas abajo 15 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

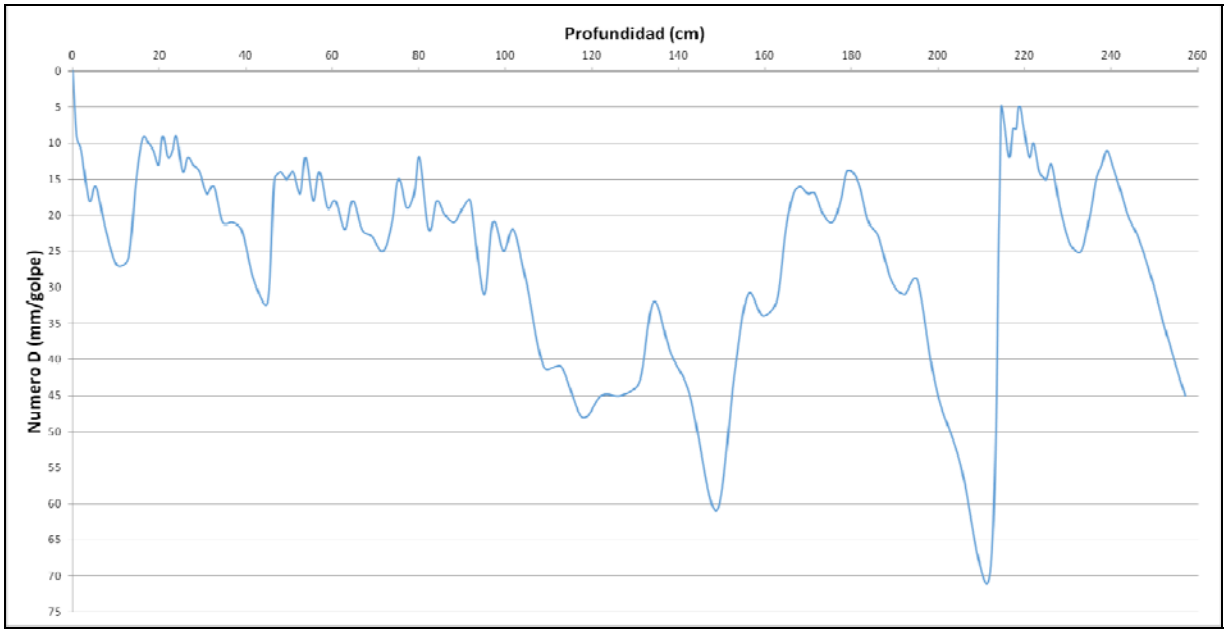
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse San Geronimo

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	0.9	115	124	9	25.0	41	66.9	762	784	22	8.1	81	177.4	850	868	18	10.4
2	2.0	124	135	11	19.4	42	69.2	784	807	23	7.7	82	178.8	54	68	14	14.3
3	3.8	135	153	18	10.4	43	71.7	807	832	25	6.9	83	180.2	68	82	14	14.3
4	5.4	153	169	16	12.1	44	73.8	832	853	21	8.6	84	181.8	82	98	16	12.1
5	7.6	169	191	22	8.1	45	75.3	32	47	15	13.1	85	183.9	98	119	21	8.6
6	10.3	191	218	27	6.3	46	77.2	47	66	19	9.7	86	186.2	119	142	23	7.7
7	12.9	218	244	26	6.6	47	78.9	66	83	17	11.2	87	189.1	142	171	29	5.7
8	14.5	244	260	16	12.1	48	80.1	83	95	12	17.4	88	192.2	171	202	31	5.3
9	15.6	260	271	11	19.4	49	82.3	95	117	22	8.1	89	195.1	2	31	29	5.7
10	16.5	271	280	9	25.0	50	84.1	117	135	18	10.4	90	199.5	31	75	44	3.4
11	17.5	280	290	10	21.9	51	86.1	135	155	20	9.1	91	204.9	75	129	54	2.6
12	18.6	290	301	11	19.4	52	88.2	155	176	21	8.6	92	211.9	129	199	70	1.9
13	19.9	301	314	13	15.7	53	90.1	176	195	19	9.7	93	214.0	199	220	21	8.6
14	20.8	314	323	9	25.0	54	91.9	195	213	18	10.4	94	214.5	220	225	5	52.4
15	22.0	323	335	12	17.4	55	95.0	13	44	31	5.3	95	215.2	225	232	7	34.3
16	23.1	335	346	11	19.4	56	97.1	44	65	21	8.6	96	216.4	232	244	12	17.4
17	24.0	346	355	9	25.0	57	99.6	65	90	25	6.9	97	217.2	244	252	8	29.0
18	25.4	355	369	14	14.3	58	101.8	90	112	22	8.1	98	218.0	252	260	8	29.0
19	26.6	369	381	12	17.4	59	104.7	112	141	29	5.7	99	218.5	260	265	5	52.4
20	27.9	381	394	13	15.7	60	108.8	141	182	41	3.7	100	219.0	265	270	5	52.4
21	29.3	394	408	14	14.3	61	112.9	182	223	41	3.7	101	219.8	270	278	8	29.0
22	31.0	408	425	17	11.2	62	117.7	223	271	48	3.0	102	221.0	278	290	12	17.4
23	32.6	425	441	16	12.1	63	122.2	271	316	45	3.3	103	222.0	290	300	10	21.9
24	34.7	441	462	21	8.6	64	126.7	316	361	45	3.3	104	223.4	300	314	14	14.3
25	36.8	462	483	21	8.6	65	131.0	361	404	43	3.5	105	224.9	314	329	15	13.1
26	39.0	483	505	22	8.1	66	134.2	404	436	32	5.1	106	226.2	329	342	13	15.7
27	41.9	505	534	29	5.7	67	138.1	436	475	39	3.9	107	228.1	342	361	19	9.7
28	45.1	534	566	32	5.1	68	142.6	475	520	45	3.3	108	230.5	361	385	24	7.3
29	46.6	566	581	15	13.1	69	148.7	520	581	61	2.2	109	233.0	385	410	25	6.9
30	48.0	581	595	14	14.3	70	152.9	581	623	42	3.6	110	235.0	410	430	20	9.1
31	49.5	595	610	15	13.1	71	156.0	623	654	31	5.3	111	236.5	430	445	15	13.1
32	50.9	610	624	14	14.3	72	159.4	654	688	34	4.7	112	237.8	445	458	13	15.7
33	52.6	624	641	17	11.2	73	162.6	688	720	32	5.1	113	238.9	458	469	11	19.4
34	53.8	641	653	12	17.4	74	164.8	720	742	22	8.1	114	240.2	469	482	13	15.7
35	55.6	653	671	18	10.4	75	166.5	742	759	17	11.2	115	241.8	482	498	16	12.1
36	57.0	671	685	14	14.3	76	168.1	759	775	16	12.1	116	243.8	498	518	20	9.1
37	58.9	685	704	19	9.7	77	169.8	775	792	17	11.2	117	246.1	518	541	23	7.7
38	60.7	704	722	18	10.4	78	171.5	792	809	17	11.2	118	248.9	541	569	28	6.0
39	62.9	722	744	22	8.1	79	173.5	809	829	20	9.1	119	252.5	569	605	36	4.4
40	64.7	744	762	18	10.4	80	175.6	829	850	21	8.6	120	257.0	605	650	45	3.3

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores entre 10 y 35 mm/golpe, entre 1 cm hasta 100 cm de profundidad. Esto se puede relacionar a suelos finos de consistencia media a baja. Entre las profundidades 100 cm y 160 cm se encontró un estrato de suelo menos consistente, con valores de D mayores a 35 mm/golpe.

Sin embargo, bajo la profundidad 180 cm, se vuelve a valores mayores a 60 mm/golpe, para luego subir a valores cercanos al 5 mm/golpe y nuevamente desciende hasta los 45 mm/golpe. Esta oscilación de valores está relacionada con un muro de consistencia media a baja.

37.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego San Gerónimo se ubica en la comuna de Portezuelo, provincia de Ñuble, Región del Biobío.

Para llegar a él, saliendo de Chillán desde su costado poniente, se debe tomar la ruta N-66-O, la que al poco andar se bifurca, naciendo la ruta N-60-O. Tomando esta última en dirección poniente, se llega de manera

directa a los pies del embalse, unos 4 kilómetros antes de llegar a la localidad de Portezuelo.

El cauce de aguas abajo del muro corresponde a una ladera de cerro cultivada que es interceptada por una canalización al cabo de 385m de su desarrollo, por cuanto se trata de un cauce de poca longitud.

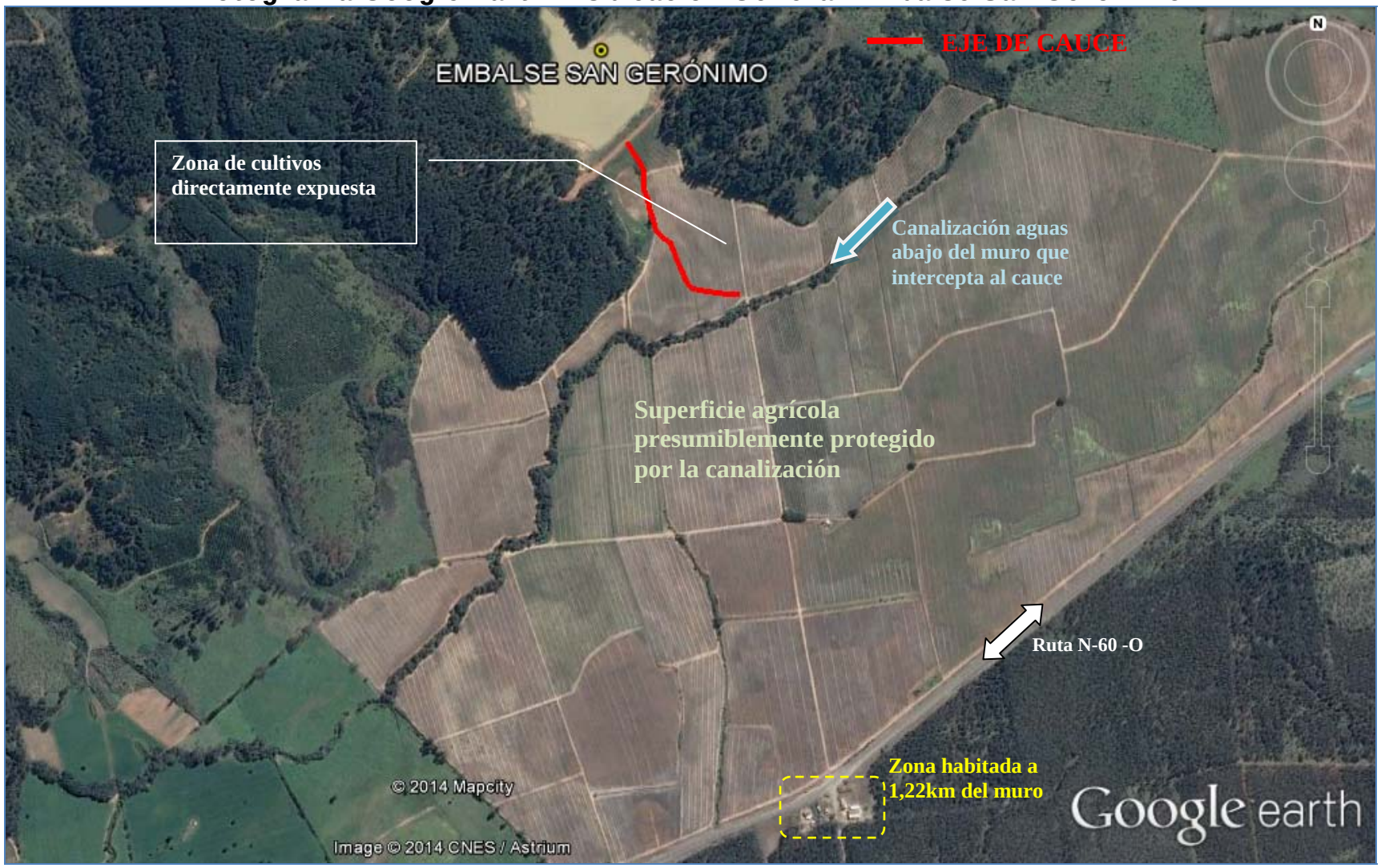
La pendiente del cauce en estudio se estima de 4,16%; en lo que se refiere a la canalización que corta al cauce, se aprecia que ésta posee en sus riberas especies arbóreas y/o arbustivas de baja densidad.

Si bien es difícil estimar la capacidad amortiguadora de la canalización comentada anteriormente, ante una eventual falla del muro, se puede suponer que resulta ser una defensa contenedora no despreciable para los efectos de la integridad de la ruta N-60-O, ubicada a una distancia radial del muro de 1,1km.

En cuanto a zonas pobladas, aceptando lo anteriormente expuesto, no se encuentran viviendas que pudieren verse afectadas por el cauce. Sin perjuicio de esto, se aprecian casas al otro lado de la ruta N-60-O (baja densidad poblacional) a una distancia radial de 1,2km aguas abajo del muro.

El siguiente fotograma Google Earth muestra la relación del cauce de aguas abajo del embalse respecto a su entorno inmediato.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse San Gerónimo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse San Gerónimo:

CUADRO 37-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE SAN GERÓNIMO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		San Gerónimo	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Faldeo de cerro cultivado	---
	Tipo de Terreno	Suelo cultivado interceptado por canalización	---
	Pendiente Media	0,0416	m/m
	Ancho medio	Relativo al tamaño de la falla	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (*)	1,1	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

(*) Distancia radial mínima entre el muro del embalse y la ruta N-66-O.

37.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
San Gerónimo	0,798	0,998	228	113	115

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,153	0,193	0,508	0,330

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 37-2 siguiente.

CUADRO 37-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	RACIONAL (m3/s)	HUS (m3/s)	ADOPTADO (m3/s)	MAX (m3/s)
32 Embalse San Gerónimo	2	0,51	1,01	1,71	1,63	-	1,63	1,71
	5	0,78	1,55	2,45	2,33	-	2,33	2,45
	10	0,95	1,88	2,87	2,87	-	2,87	2,87
	20	1,12	2,20	3,27	3,60	-	3,60	3,60
	25	1,17	2,31	3,40	3,73	-	3,73	3,73
	50	1,34	2,63	3,78	4,45	-	4,45	4,45
	100	1,51	2,98	4,19	5,32	-	5,32	5,32
	250	1,75	3,45	4,80	5,99	-	5,99	5,99
	500	1,92	3,79	5,23	6,64	-	6,64	6,64
	1000	2,10	4,13	5,66	7,29	-	7,29	7,29

37.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse San Gerónimo fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
San Gerónimo	Limo arenoso	28	0,10	1,80	15	24	22	8

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.60
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.20
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.61

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.75
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.28

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

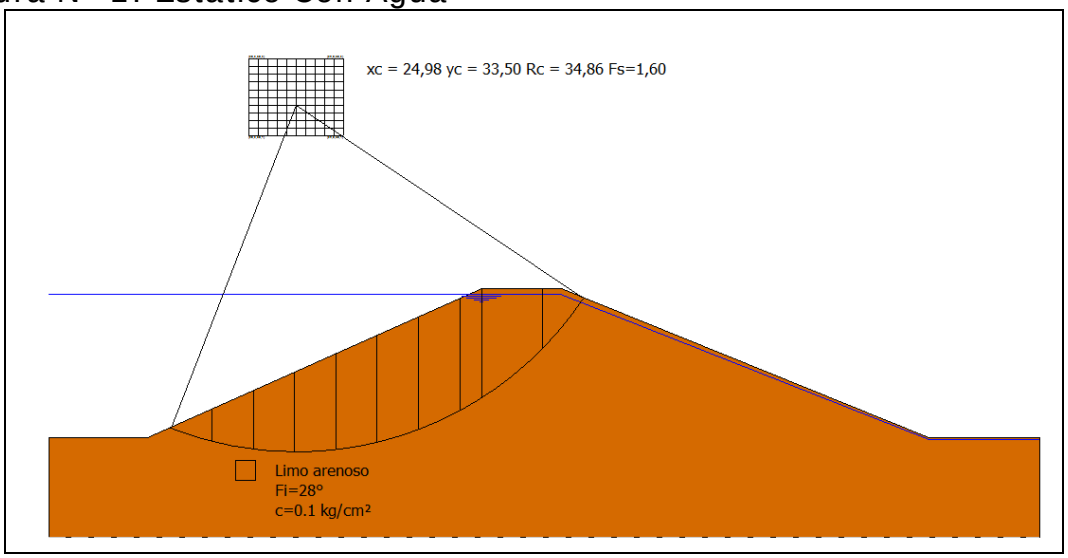


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

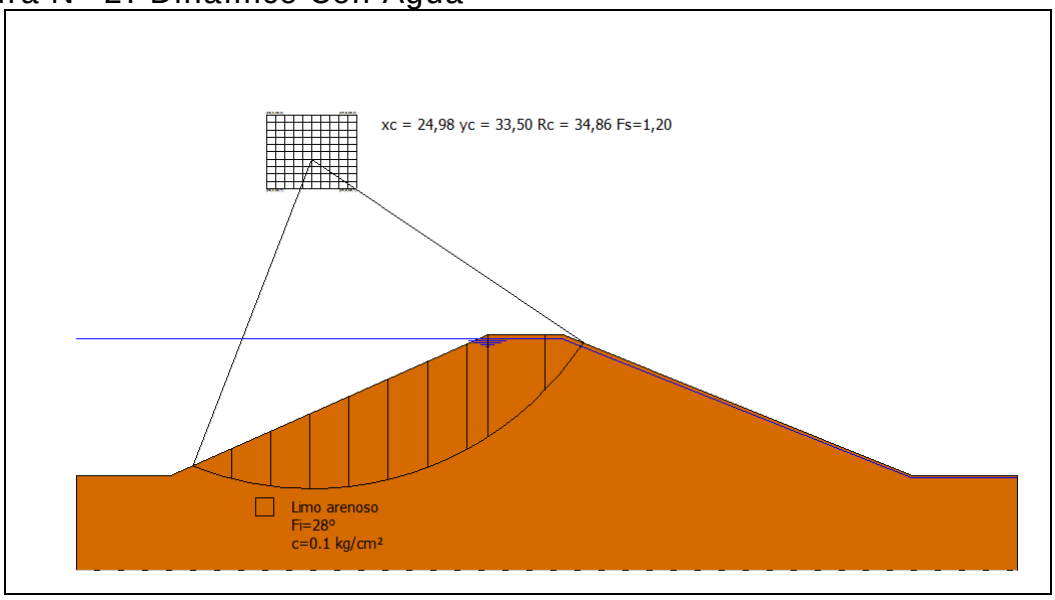
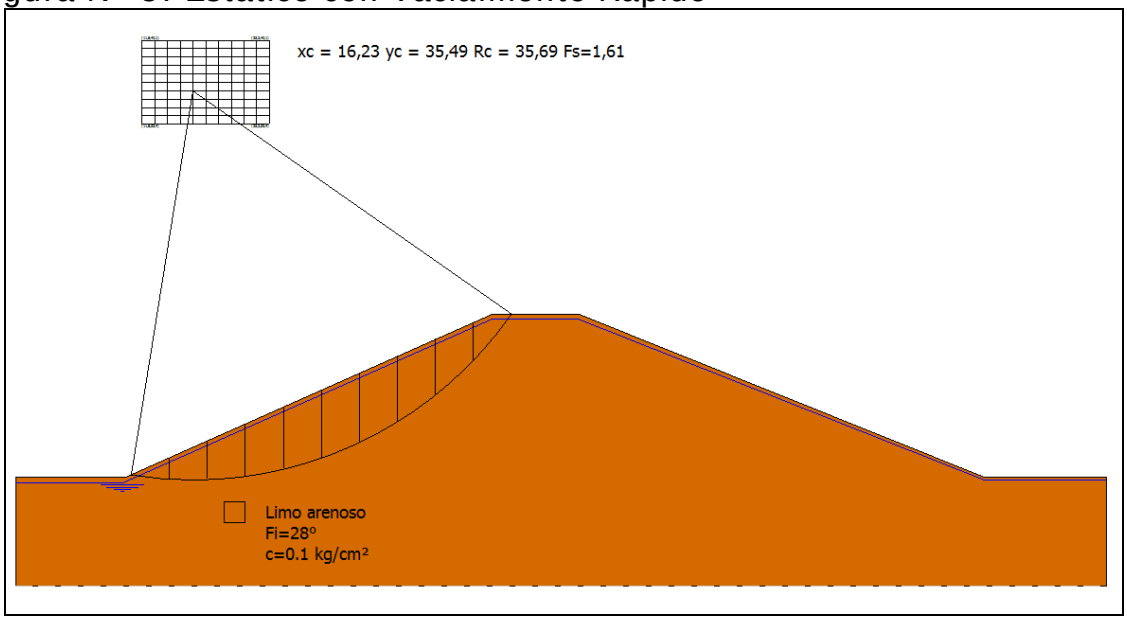


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

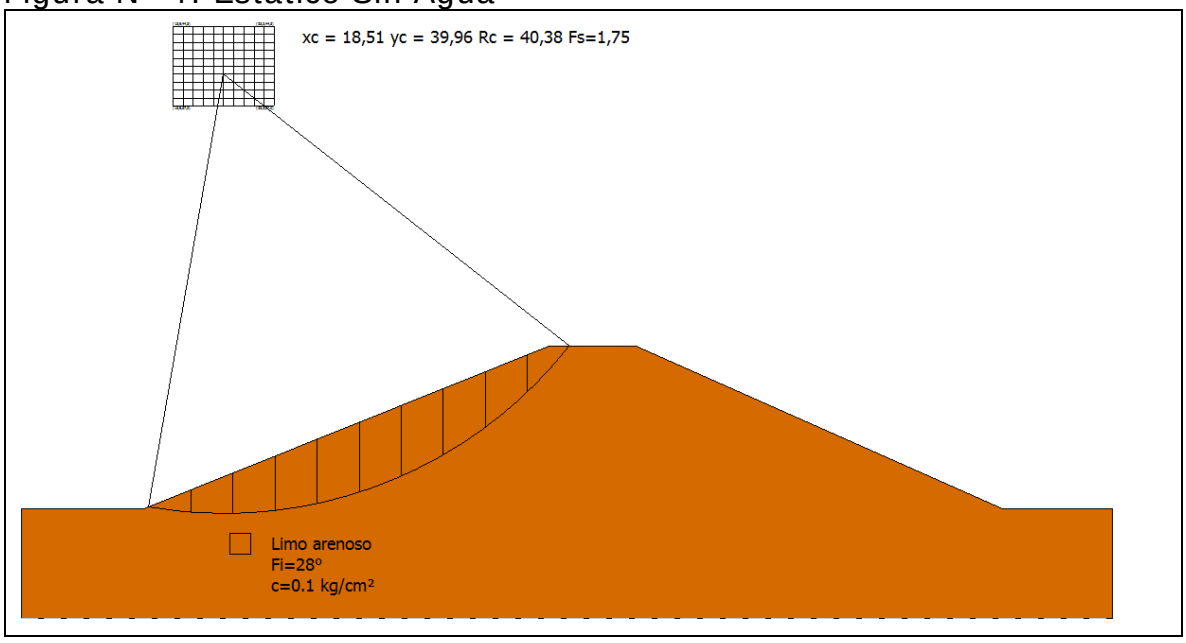
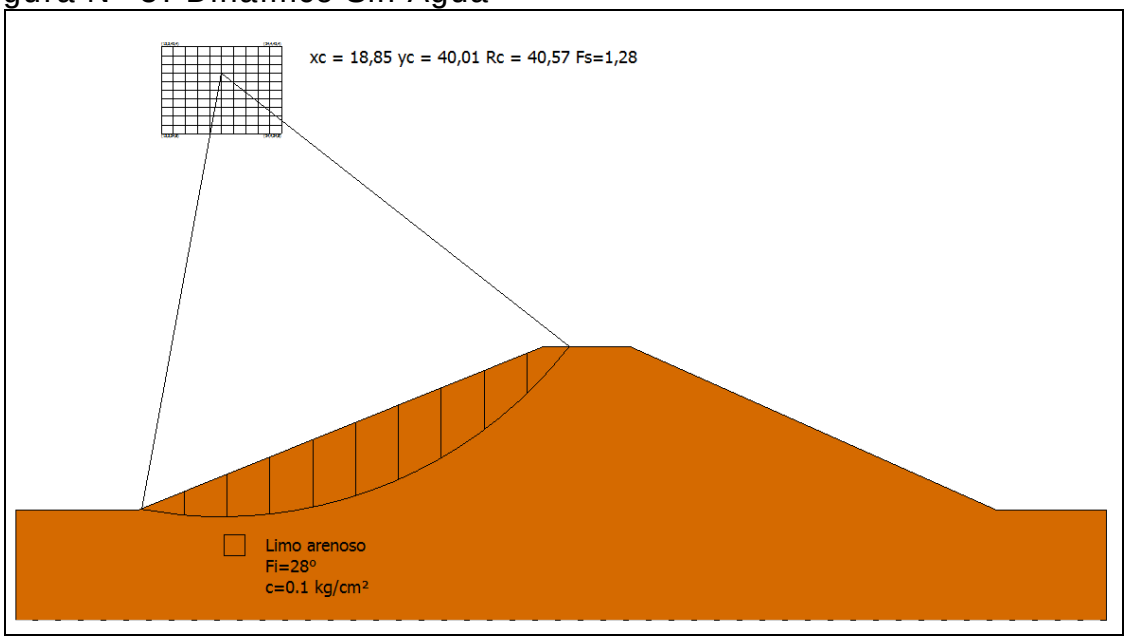


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) Al momento de la visita, el muro del Embalse San Gerónimo se observó sano, sin signos de grietas ni hundimientos o deslizamientos.

ii) Según se informó, el tranque fue sometido a reparaciones, las que consistieron en remover los tres metros superiores del muro, para luego colocar un nuevo material compactado en capas.

iii) Por otra parte se construyó un vertedero sobre el coronamiento, en el centro del muro. Esta solución no convencional para ubicar el vertedero deberá ser avalada por algún especialista en presas, ya que en general no es recomendada. Se desconoce la existencia de un proyecto de ingeniería para estos efectos.

iv) A la fecha de la visita el embalse se encontraba casi lleno, no observándose filtraciones en el talud de aguas abajo.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

vii) El embalse San Gerónimo se aprecia en buenas condiciones, no obstante la baja compacidad de los rellenos del muro hace aconsejable restringir su llenado hasta el 50% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero.

viii) De la revisión del proyecto de reparación efectuado por la empresa RF Consultora Limitada, se puede señalar que de los antecedentes entregados, no se encontró ningún estudio geotécnico, tampoco respecto a los materiales de relleno, a los materiales de la fundación, al estudio de la estabilidad de taludes ni al cálculo de la la determinación de filtraciones.

37.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 37-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
San Gerónimo	Limos Arenosos	78,9	0	26,3	6	15,0	90,0	Si

37.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 37-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
San Gerónimo	Frontal	Cajón de Hormigón con perfil hidrául		1	1	6	0,002	0,016				**13,84**

37.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p \times V \times E$

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: San Gerónimo, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** **g**
es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **8,019**

A= **392,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **37,3** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02
cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 37,3 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 37,3 años, o 0,027.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor**

		adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 13,84 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 9,69 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	5,99	0,05
0,002 (T= 500 años)	6,64	
0,001 (T= 1.000 años)	7,29	

Como la capacidad efectiva es de 9,69 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2.858 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,0003.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,027
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,0003 (T= 2858 años)

Así, se escoge al sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,027
Vulnerabilidad Frente a la Sismo= 0,05
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,027 x 0,05 x 1,0= 0,14 %

38. EMBALSE SOCIEDAD AGRÍCOLA GANADERA Y FORESTAL ROSAURO MARTÍNEZ LABBÉ

38.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Sociedad Agrícola Ganadera Y Forestal Rosauro Martínez Labbé.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	MARTÍNEZ LABBÉ		Nº de ficha	33
Propietario	Soc. Agr. Y Forestal Rosauro		Fecha (dd/mm/año)	17/9/2014; 9:30 hrs.
	Martínez Labbé			
	Fundo El Mañío, comuna El Carmen			
Año de construcción			Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	SI
Año de reparación	2010		Altura del muro > 5 m	SI
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081			
Subcuenca / Código DGA	Itata Medio/0813		Contacto	
Fuente del recurso			Ignacio Martínez	042-661012

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Regíon Bío Bío	
Provincia	Ñuble	
Comuna	El Carmen	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 5.907.819	E= 233.085
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum WGS 84	WGS 84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	265	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento (m)	70 m
Ancho del coronamiento (m)	7 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	14,0
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	35°
Ángulo talud de aguas arriba	37°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	8
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	70.600
Ancho máximo de la poza (m)	264
Largo de la poza (m)	340
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	282.400

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Talud de aguas arriba irregular, el de aguas abajo regular
Compacidad del material estructural	media a alta
Uniformidad de los taludes	aguas arriba no, aguas abajo sí
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	no
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	poca al pie del muro
Tipo de revestimiento del muro	sin revestimiento

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	*Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:*	("x")
Vertederos frontales	SIN VERTEDERO	Vertederos libres, sin control	NO HAY
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		*Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:*	
Vertedero de pared delgada	SIN VERTEDERO	Rectangulares	NO HAY
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	SIN VERTEDERO
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Por problema legal, debe dejar pasar toda el agua hacia aguas abajo, sin poder ser utilizada
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente	Estero natural semi boscoso, i= 0,0167, ancho medio 40 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	no hay cercanos
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,14 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,3 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

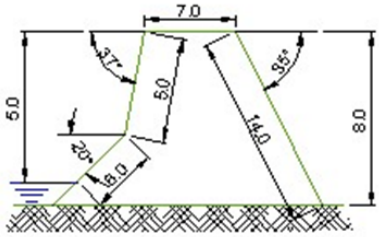
11. OBSERVACIONES

Actualmente, por un problema legal, existe un canalón hasta el fondo del embalse, el cual impide acumular agua; deben dejar pasar toda el agua hacia aguas abajo sin poder acumular ni poder usar el recurso para regadío

12. MONOGRAFÍAS

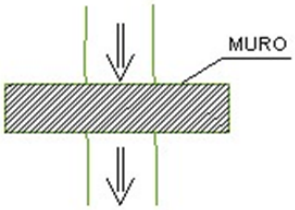
EMBALSE MARTÍNEZ LABBÉ N° 33

SECCIÓN MURO



VERTEDERO EN ESTRIBO IZQUIERDO (DE TIERRA): SE CONSTRUYÓ HASTA EL FONDO DEL EMBALSE PUES LEGALMENTE NO PUEDE CAPTAR AGUA Y DEBE DEJAR PASAR TODA EL AGUA HACIA AGUAS ABAJO.

PLANTA



OBRA DE ENTREGA: TUBO POR EL FONDO DEL EMBALSE, PASA BAJO EL MURO Y SALE POR TUBO CON UNA VÁLVULA PARA LA ENTREGA

ELEVACIÓN

COTAS EN METROS

EMBALSE SOC. AGRÍCOLA Y FORESTAL ROSAURO MARTÍNEZ LABBÉ (33)

TALUD AGUAS ARRIBA

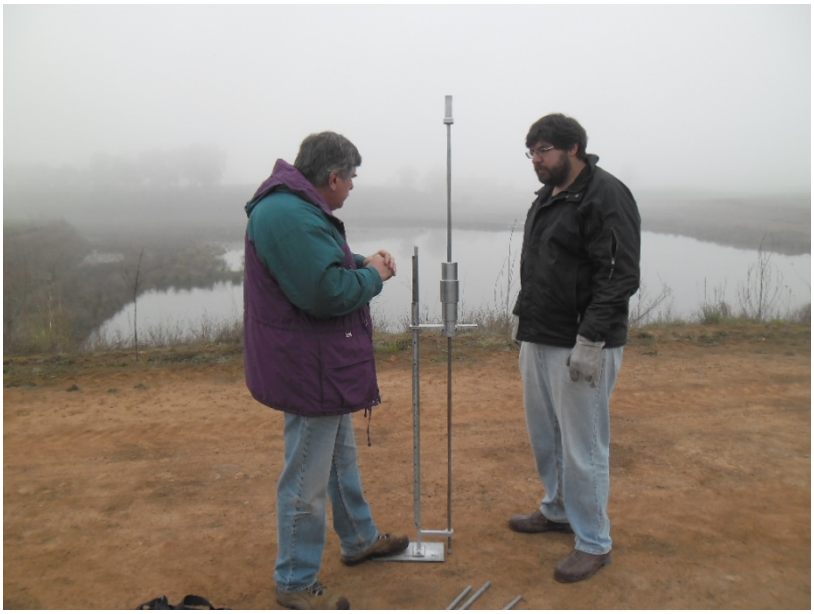
TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

ZANJÓN QUE DEJA PASAR TODA EL AGUAS DEL EMBALSE HACIA AGUAS ABAJO (PROBLEMA LEGAL)

MISMA OBRA ANTERIOR PERO MIRADA HACIA AGUAS ABAJO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO



38.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

sectores cercanos al embalse Soc. Ag. Gan. y For. Rosauro Martinez Labbé, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arcillas limosas, de color café. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arcillas limosas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a alta, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Soc. Ag. Gan. y For. Rosauro Martinez Labbe sufrió daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en grietas longitudinales de unos 40 metros de longitud y 5 cm de espesor ubicadas en el coronamiento del muro. Según informó el propietario del tranque, las grietas se repararon mediante una zanja longitudinal que se excavó sobre las grietas con un ancho de 2.5 metros y 3 metros de profundidad, en la cual se depositó arcilla arenosa compactada en capas.

Durante la visita se inspeccionó el muro, no encontrándose evidencias de grietas ni fallas. Por otra parte, y por razones que se desconocen el vertedero del tranque se ha dispuesto casi al nivel del fondo del tranque por lo que este no puede acumular agua. Sin embargo, al pie del talud de aguas abajo, y para el estado de embalse casi vacío, aparecen algunas filtraciones.

Además de lo anterior hay que señalar que la parte superior del talud de aguas arriba se encuentra muy erosionada por el oleaje del agua, lo que compromete la seguridad de la obra.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 70 m; ancho de coronamiento de 7 m; inclinación talud aguas arriba 37°; Altura hasta el nivel de agua 5 m; inclinación talud aguas abajo 35°; altura máxima talud aguas abajo 8 m.

CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con

penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

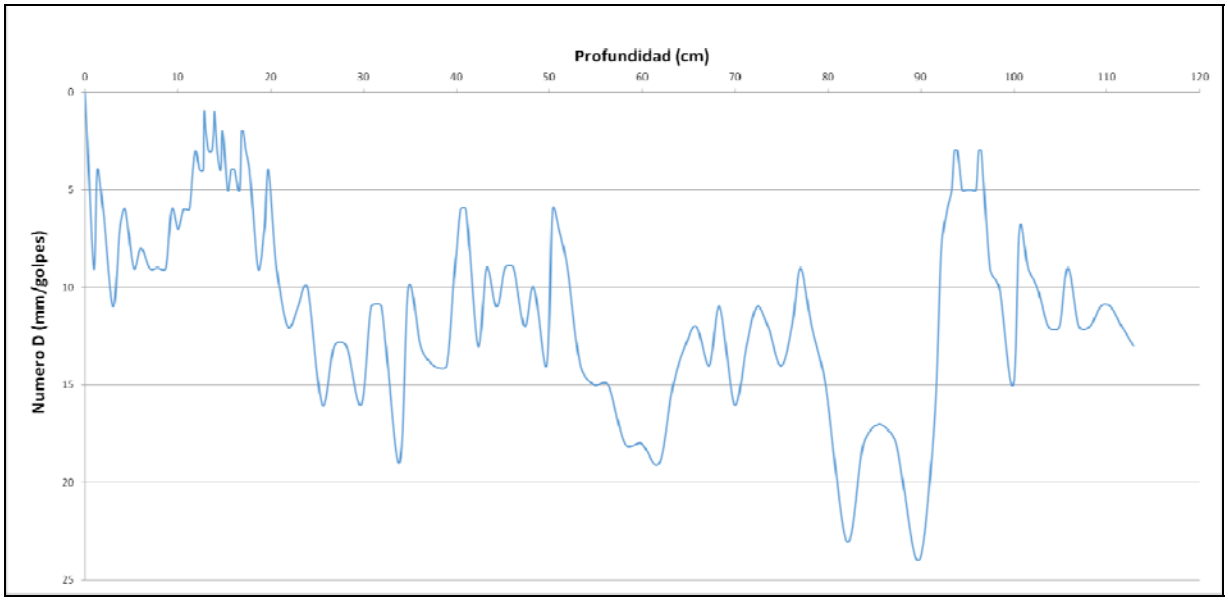
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Soc. Ag. Y For. Rosauro Martinez Labbe

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	0,9	102	111	9	25,0	41	21,8	308	320	12	17,4	81	71,2	801	814	13	15,7
2	1,3	111	115	4	69,4	42	22,9	320	331	11	19,4	82	72,3	814	825	11	19,4
3	1,9	115	121	6	41,6	43	23,9	331	341	10	21,9	83	73,5	825	837	12	17,4
4	3,0	121	132	11	19,4	44	25,5	341	357	16	12,1	84	74,9	837	851	14	14,3
5	3,7	132	139	7	34,3	45	26,8	357	370	13	15,7	85	76,1	851	863	12	17,4
6	4,3	139	145	6	41,6	46	28,1	370	383	13	15,7	86	77,0	55	64	9	25,0
7	5,2	145	154	9	25,0	47	29,7	383	399	16	12,1	87	78,2	64	76	12	17,4
8	6,0	154	162	8	29,0	48	30,8	399	410	11	19,4	88	79,7	76	91	15	13,1
9	6,9	162	171	9	25,0	49	31,9	410	421	11	19,4	89	82,0	91	114	23	7,7
10	7,8	171	180	9	25,0	50	33,8	421	440	19	9,7	90	83,8	114	132	18	10,4
11	8,7	180	189	9	25,0	51	34,8	440	450	10	21,9	91	85,5	132	149	17	11,2
12	9,3	189	195	6	41,6	52	36,1	450	463	13	15,7	92	87,3	149	167	18	10,4
13	10,0	195	202	7	34,3	53	37,5	463	477	14	14,3	93	89,7	167	191	24	7,3
14	10,6	202	208	6	41,6	54	38,9	477	491	14	14,3	94	91,4	191	208	17	11,2
15	11,2	208	214	6	41,6	55	39,8	491	500	9	25,0	95	92,2	0	8	8	29,0
16	11,6	214	218	4	69,4	56	40,4	500	506	6	41,6	96	92,8	8	14	6	41,6
17	11,9	218	221	3	99,7	57	41,0	506	512	6	41,6	97	93,3	14	19	5	52,4
18	12,3	221	225	4	69,4	58	42,3	512	525	13	15,7	98	93,6	19	22	3	99,7
19	12,7	225	229	4	69,4	59	43,2	525	534	9	25,0	99	93,9	22	25	3	99,7
20	12,8	229	230	1	398,1	60	44,3	534	545	11	19,4	100	94,4	25	30	5	52,4
21	13,0	230	232	2	166,2	61	45,2	545	554	9	25,0	101	94,9	30	35	5	52,4
22	13,3	232	235	3	99,7	62	46,1	554	563	9	25,0	102	95,4	35	40	5	52,4
23	13,6	235	238	3	99,7	63	47,3	563	575	12	17,4	103	95,9	40	45	5	52,4
24	13,8	238	240	2	166,2	64	48,3	575	585	10	21,9	104	96,2	45	48	3	99,7
25	13,9	240	241	1	398,1	65	49,7	585	599	14	14,3	105	96,5	48	51	3	99,7
26	14,2	241	244	3	99,7	66	50,3	599	605	6	41,6	106	97,4	51	60	9	25,0
27	14,6	244	248	4	69,4	67	51,0	605	612	7	34,3	107	98,4	60	70	10	21,9
28	14,8	248	250	2	166,2	68	51,9	612	621	9	25,0	108	99,9	70	85	15	13,1
29	15,3	250	255	5	52,4	69	53,3	621	635	14	14,3	109	100,6	85	92	7	34,3
30	15,7	255	259	4	69,4	70	54,8	635	650	15	13,1	110	101,5	92	101	9	25,0
31	16,1	259	263	4	69,4	71	56,3	650	665	15	13,1	111	102,5	101	111	10	21,9
32	16,6	263	268	5	52,4	72	58,1	665	683	18	10,4	112	103,7	111	123	12	17,4
33	16,8	268	270	2	166,2	73	59,9	683	701	18	10,4	113	104,9	123	135	12	17,4
34	17,0	270	272	2	166,2	74	61,8	701	720	19	9,7	114	105,8	135	144	9	25,0
35	17,3	272	275	3	99,7	75	63,3	720	735	15	13,1	115	107,0	144	156	12	17,4
36	17,7	275	279	4	69,4	76	64,6	735	748	13	15,7	116	108,2	156	168	12	17,4
37	18,6	279	288	9	25,0	77	65,8	748	760	12	17,4	117	109,3	168	179	11	19,4
38	19,3	288	295	7	34,3	78	67,2	760	774	14	14,3	118	110,4	179	190	11	19,4
39	19,7	295	299	4	69,4	79	68,3	774	785	11	19,4	119	111,6	190	202	12	17,4
40	20,6	299	308	9	25,0	80	69,9	785	801	16	12,1	120	112,9	202	215	13	15,7

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Número D) presenta valores entre 2 y 24 mm/golpe. Los valores son bastantes oscilantes no pudiendo atribuirse la diferencia a cambios entre capas de suelo. Estos valores del número D se relacionan con suelos de compacidad media a alta.

38.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Embalse de riego ubicado en la comuna de El Carmen, provincia de Ñuble, Región del Biobío.

De acuerdo a la referencia [4], para llegar al tranque desde dicha comuna, se debe tomar la ruta N-805 en dirección al sur, hasta llegar al fundo Los Mañíos (a los 3,7km de iniciado el recorrido, aproximadamente). Ingresando a éste, recorrer 0,8km al oriente, para luego doblar a la derecha y continuar 0,5km más, al cabo de los cuales se encuentran las oficinas del fundo.

Al inspeccionar el relieve del terreno inmediatamente aguas abajo del muro a través de Google Earth, se puede observar un cauce de aproximadamente 0,96km de largo y una pendiente de 1,67%, el cual

descarga a una depresión conectada con una canalización artificial (ver fotograma adjunto).

En cuanto al terreno en que se desarrolla este cauce, todo indica pertenecer a un tramo de un estero, aunque con acondicionamientos; la vegetación se aprecia de tipo semi-boscosa, con especies arbóreas y/o arbustivas sobre todo en el tramo directamente adyacente al muro.

En el entorno inmediato del embalse aguas abajo del muro, se aprecian zonas con algunas dependencias que, según se estima, podrían corresponder a lugares destinados a trabajo (es decir, no se trataría de viviendas); la densidad poblacional, por ende, se puede suponer baja.

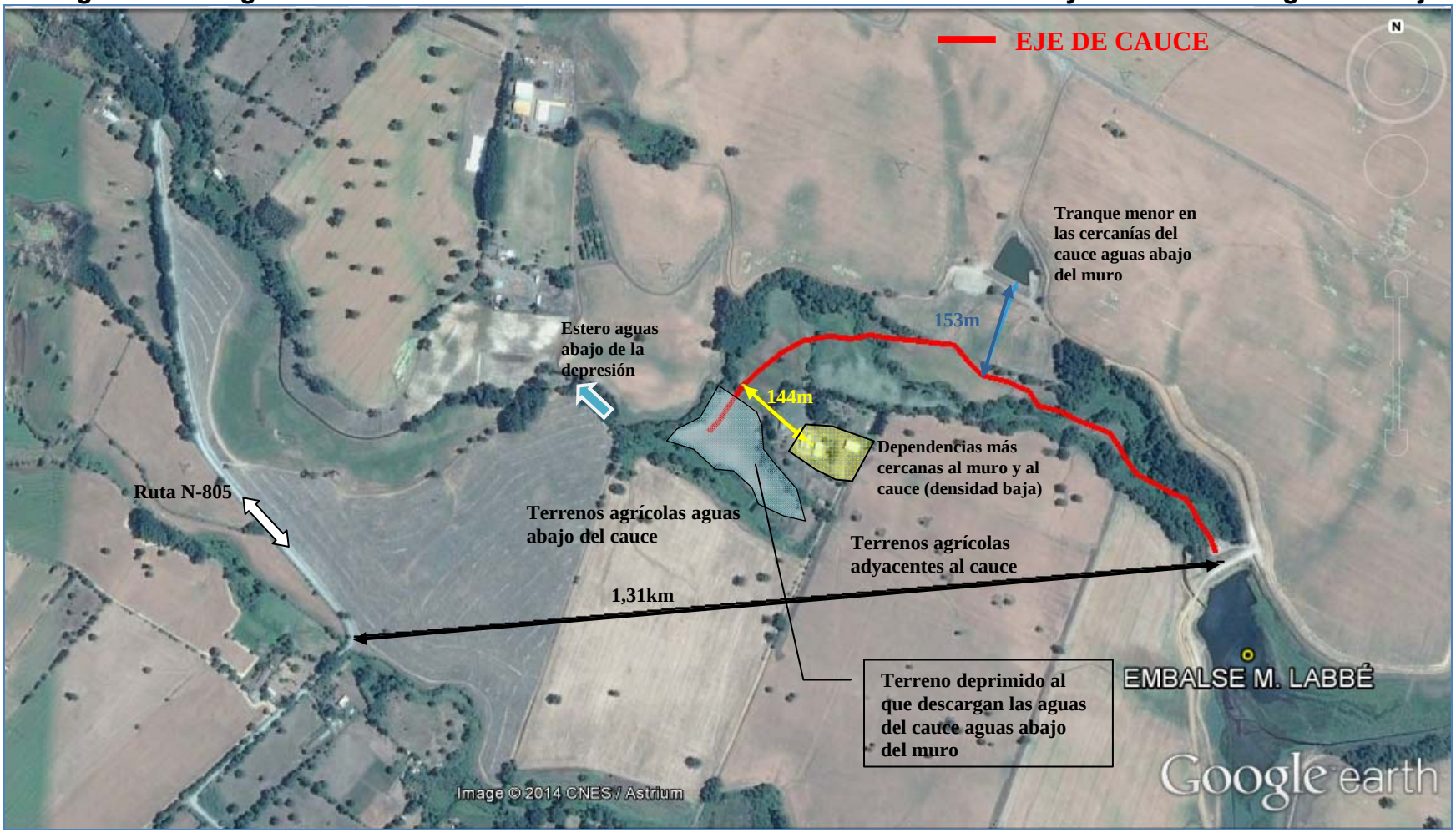
Además de lo anterior, y de manera predominante, se observa la presencia de áreas destinadas a cultivos en torno al cauce en estudio.

Respecto a infraestructura vial cercana o de otra índole que pudiera verse afectada ante un eventual colapso del muro, se establece lo siguiente:

- Ruta N-805: no siendo interceptado por el cauce, se encuentra a una distancia radial mínima del muro de 1,31km.
- Tranque menor: se encuentra a una distancia perpendicular al cauce de 0,15km.

En el siguiente fotograma se indica el embalse y su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Martínez Labbé y entorno de aguas abajo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Martínez Labbé:

CUADRO 38-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE MARTÍNEZ LABBÉ

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Soc. Agr. Gan. y Forestal Rosauro Martínez Labbé	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Estero natural con acondicionamientos de terreno	---
	Tipo de Terreno	Semi-boscoso	---
	Pendiente Media	0,0167	m/m
	Ancho medio	40	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,144	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (*)	1,31	km
	Zonas Agrícolas	Adyacentes	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

(*) Distancia radial mínima al muro del embalse.

38.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Soc. Martínez Labbé	19,111	14,087	482	280	202

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
2,612	2,726	5,129	3,871

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 38-2 siguiente.

CUADRO 38-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	RACIONAL (m3/s)	HUS (m3/s)	ADOPTADO (m3/s)	MAX (m3/s)
33 Embalse Soc. Ag. Gan. Y For. Rosauro Martínez Labbé	**2**	9,04	14,10	12,24	11,05	13,85	13,98	14,10
	5	13,72	20,67	16,93	15,79	18,44	19,55	20,67
	10	16,74	24,46	19,44	19,44	21,38	22,92	24,46
	20	19,75	28,15	21,81	24,46	24,11	26,13	28,15
	25	20,58	29,23	22,52	25,27	24,73	26,98	29,23
	50	23,60	32,84	24,74	30,18	27,49	30,17	32,84
	100	26,44	36,69	27,11	36,03	30,11	33,40	36,69
	250	30,72	42,18	30,89	40,63	34,18	38,18	42,18
	500	33,78	46,09	33,46	45,01	37,02	41,55	46,09
	1000	36,83	50,01	36,02	49,39	39,86	44,93	50,01

38.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Sociedad Agrícola y Ganadera Martínez Labbé:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	**Material**	**Fricción (°)**	**Cohesión (Kg/cm^2)**	**Densidad Húmeda (t/m^3)**	**Altura (m)**	**Talud Aguas Arriba (°)**	**Talud Aguas Abajo (°)**	**Ancho Coronamiento (m)**
Soc. Ag. Gan. Y For. Rosaurio M. L.	Arcilla limosa	15	0,25	1,75	8	37	35	7

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.53
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.23
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.56

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.66
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.36

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

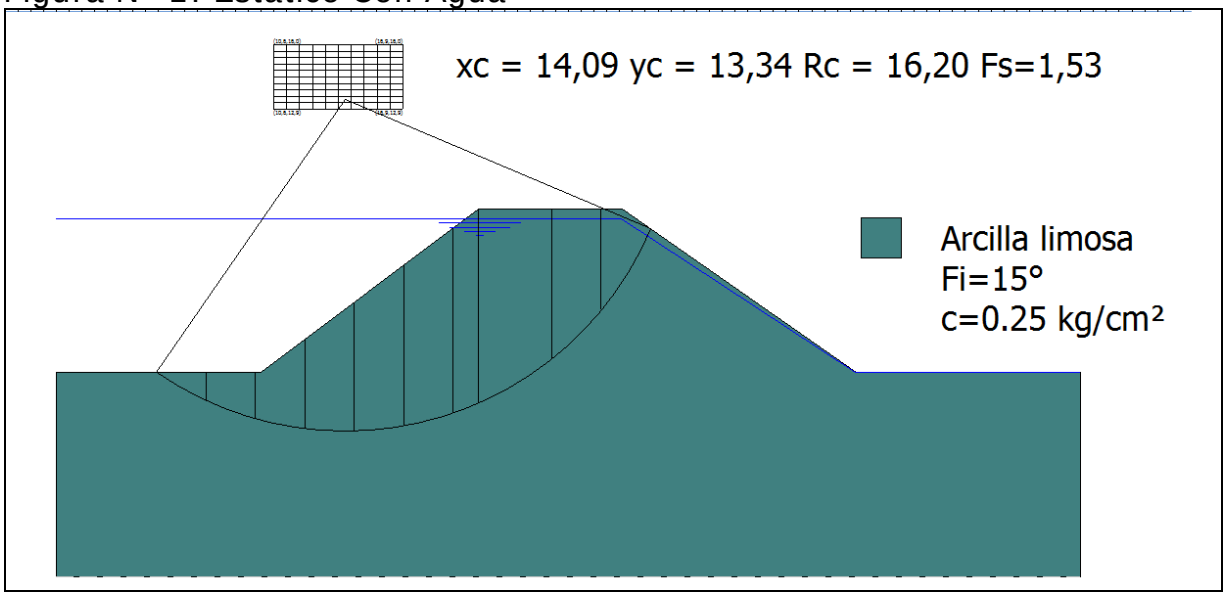


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

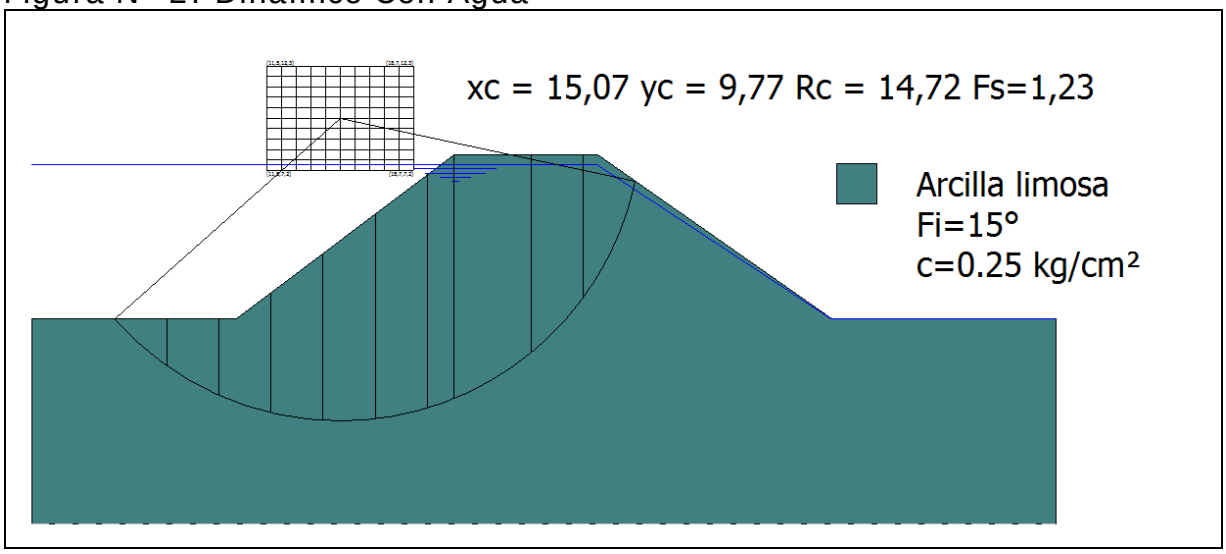
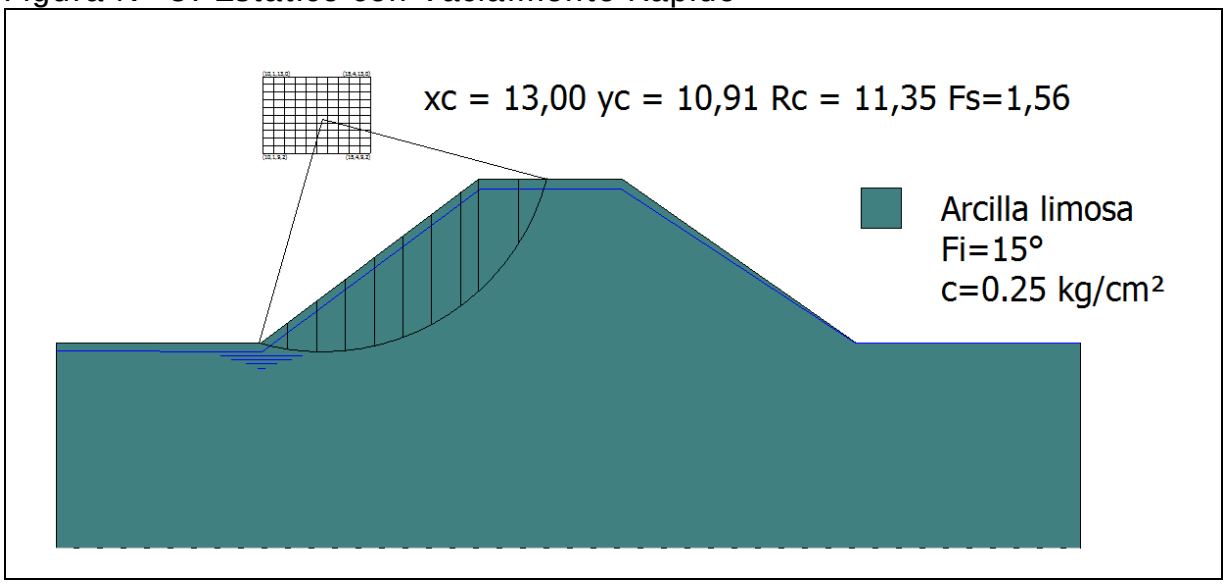


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

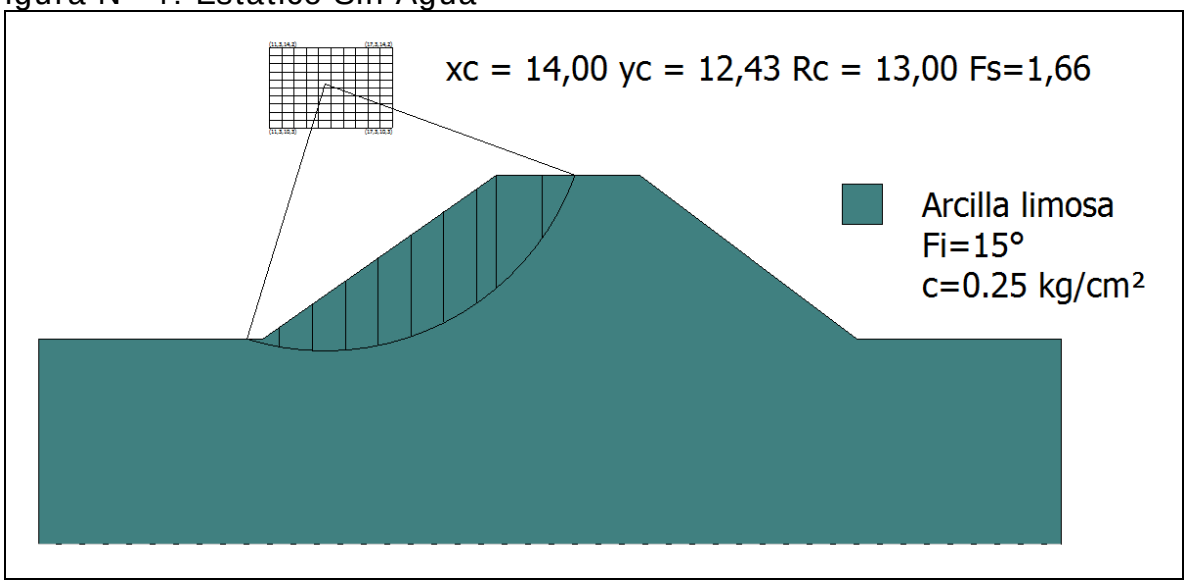
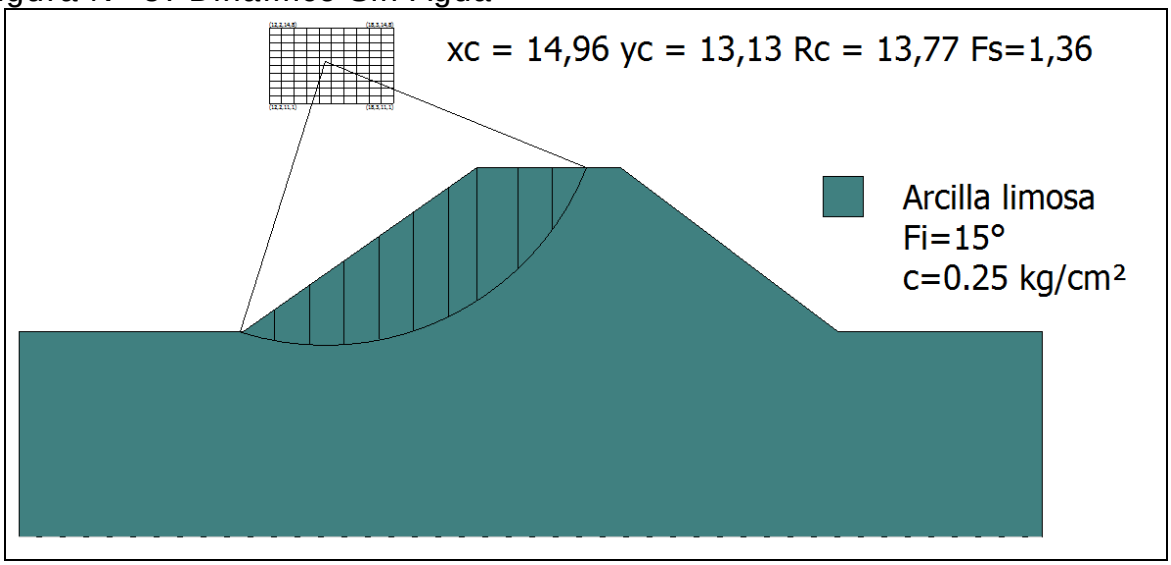


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Soc. Ag. Gan. y For. Rosauro Martinez Labbe sufrió daños debido al terremoto del año 2010. Los daños consistieron en grietas longitudinales de unos 40 metros de longitud y 5 cm de espesor ubicadas en el coronamiento del muro. Según informó el propietario del tranque, las grietas se repararon mediante una zanja longitudinal que se excavó sobre las grietas con un ancho de 2.5 metros y 3 metros de profundidad, en la cual se depositó arcilla arenosa compactada en capas.

ii) Durante la visita no se observaron grietas ni fallas en el muro del tranque Soc. Ag. Gan. y For. Rosauro Martinez Labbe.

iii) Por otra parte, y por razones que se desconocen el vertedero del tranque se ha dispuesto casi al nivel del fondo del tranque por lo que este no puede acumular agua. Sin embargo, al pie del talud de aguas abajo, y para el estado de embalse casi vacío, aparecen algunas filtraciones.

iv) Además de lo anterior hay que señalar que la parte superior del talud de aguas arriba se encuentra muy erosionada por el oleaje del agua, lo que compromete la seguridad de la obra.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se puede señalar lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: Los valores obtenidos para los casos analizados superan los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Aún cuando el tranque se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente y aprobado por la DGA.

38.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 38-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Soc. Ag. Gan. Y For. R	Arcillas Limosas	34,2	0	11,4	2	8,0	16,0	Si

38.7. Caudal Máximo en Vertedero

Embalse que se encuentra en litigio, dejando pasar el agua.

38.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E
Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Soc. Ag. Gan. Y For. Rosaurio Martínez Labbé, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g** es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**

(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **26,0** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 26,0 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 26 años, o 0,038.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: No dispone de vertedero.

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s (No dispone de vertedero)

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	38,18	0,95
0,002 (T= 500 años)	41,55	
0,001 (T= 1.000 años)	44,93	

Nota: Embalse Tipo A (T= 250 años).

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	E1	Valor adoptado
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,038
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,004 (T= 250 años)

Así, se escoge al sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,038
Vulnerabilidad Frente al Sismo = 0,05
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,038 x 0,05 x 1,0= 0,19 %

39. EMBALSE TECNOFRÍO

39.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Tecnofrío.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Tecnofrío		Nº de ficha	34
Propietario	Tecno Frío Cautín S.A.		Fecha (dd/mm/año)	30/9/2014; 10:45 hrs.
	Camino Parque Lantaño 0100, Chillán			
	Encargado Mauricio Díaz, 74767719			
Año de construcción			Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO			
Año de reparación	2010			
Cuenca / Código DGA	Costeras entre limite Region y R. Itata/080		Capacidad > 50.000 m3	si
Subcuenca / Código DGA	Costeras entre Limite Region y R.Taucu(Incl.)/0800		Altura del muro > 5 m	si
Fuente del recurso				

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VIII
Provincia	ÑUBLE
Comuna	COBQUECURA
Coordenadas UTM Der	
Coordenadas UTM Centro	Norte: 5.997.881 Este: 702.806
Coordenadas UTM Izq	
Datum	WGS84 Huso 18
Altitud	323 msnm

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	57 m
Ancho del coronamiento	3,5 m
Desarrollo del talud aguas abajo	35 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas	no apreciable
Paramentos verticales	No
Ángulo talud de aguas abajo	28 °
Ángulo talud de aguas arriba	28 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	16
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	10.000
Ancho máximo de la poza (m)	70
Largo de la poza (m)	200
Volumen declarado o proyectado (m)	110.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Media - Alta
Uniformidad de los taludes	uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No
Grietas visibles y su ubicación	No
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al coronamiento	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No
Tipo de revestimiento del muro	No

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa	X	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	FRONTAL; CANAL RECTANGULAR
Material constructivo	HORMIGÓN ARMADO
Estado de conservación y operatividad	BUENO
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	ver monografía

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Caseta de bombeo desde el embalse; 4 bombas
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

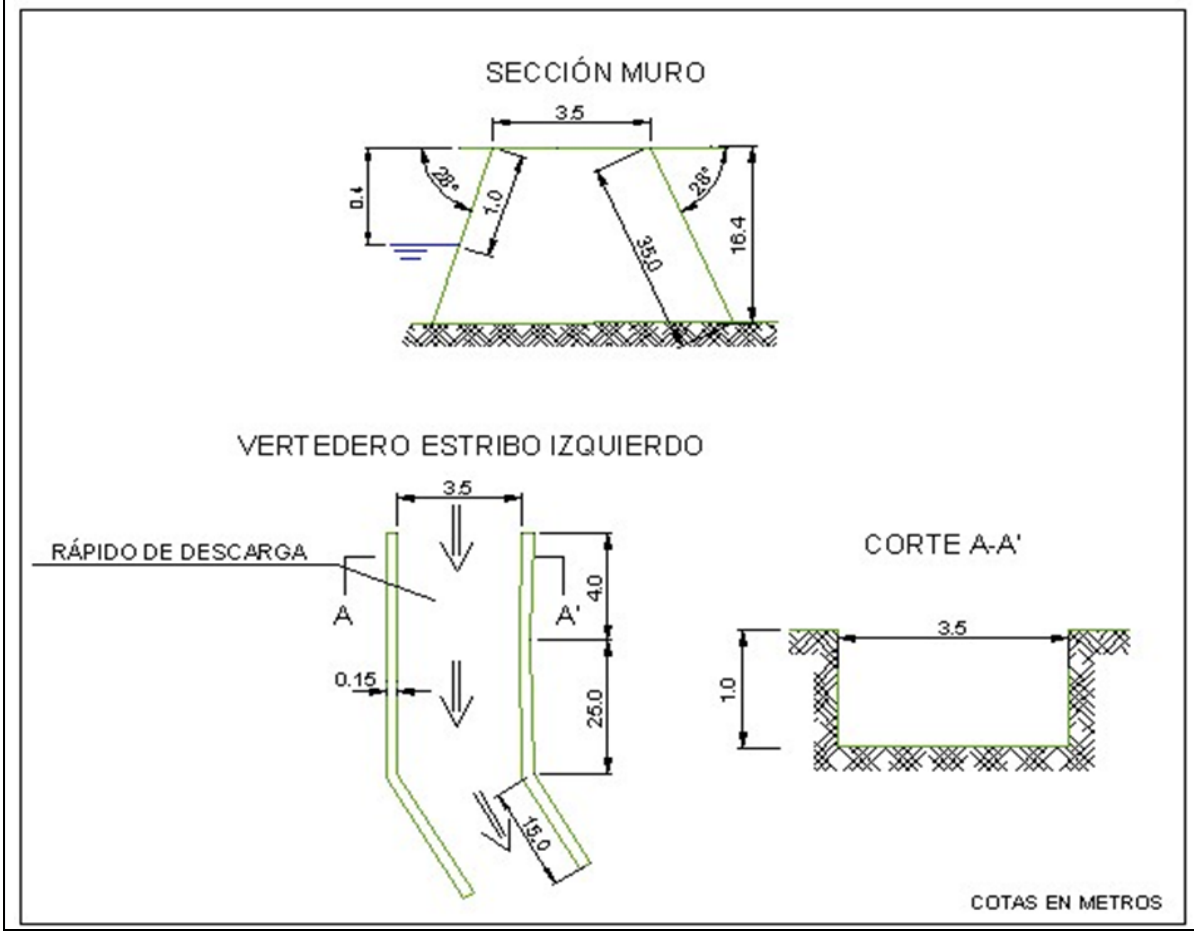
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	quebrada natural, boscosa, i= 0,07, ancho medio 15 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	No hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	Nula
Distancia hacia zonas agrícolas	0,07 km
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,08 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse reparado después del terremoto del 2010, en buenas condiciones

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE TECNOFRÍO N° 34



EMBALSE TECNOFRIO (34)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

VERTEDERO

CASETA DE BOMBEO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

39.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Tecnofrío, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arcillas limo arenosas, de color café. Son suelos de plasticidad media, permeabilidad media y compacidad media a alta.
En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arcillas limo arenosas, de color café. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es media.

El tranque Tecnofrío sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos daños consistieron en grietas longitudinales en el coronamiento y deslizamientos en los taludes.

Según informó el administrador del predio, se efectuaron reparaciones sacando los 6 metros superiores del muro, material que se recolocó en capas. Sobre el coronamiento se dispuso una capa de gravilla para evitar la erosión y para fines de tránsito.

En el trascurso de la visita no se observaron grietas, deslizamientos ni deformaciones. Sin embargo existen algunas cárcavas por erosión, debido a aguas lluvias en el talud de aguas abajo.

Para el nivel del agua al momento de la visita (embalse lleno) se observaron algunas filtraciones menores al pie del talud de aguas abajo.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 57 m; ancho de coronamiento de 3.5 m; inclinación talud aguas arriba 28°; Altura hasta el nivel de agua 1 m; inclinación talud aguas abajo 28°; altura máxima talud aguas abajo 35 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

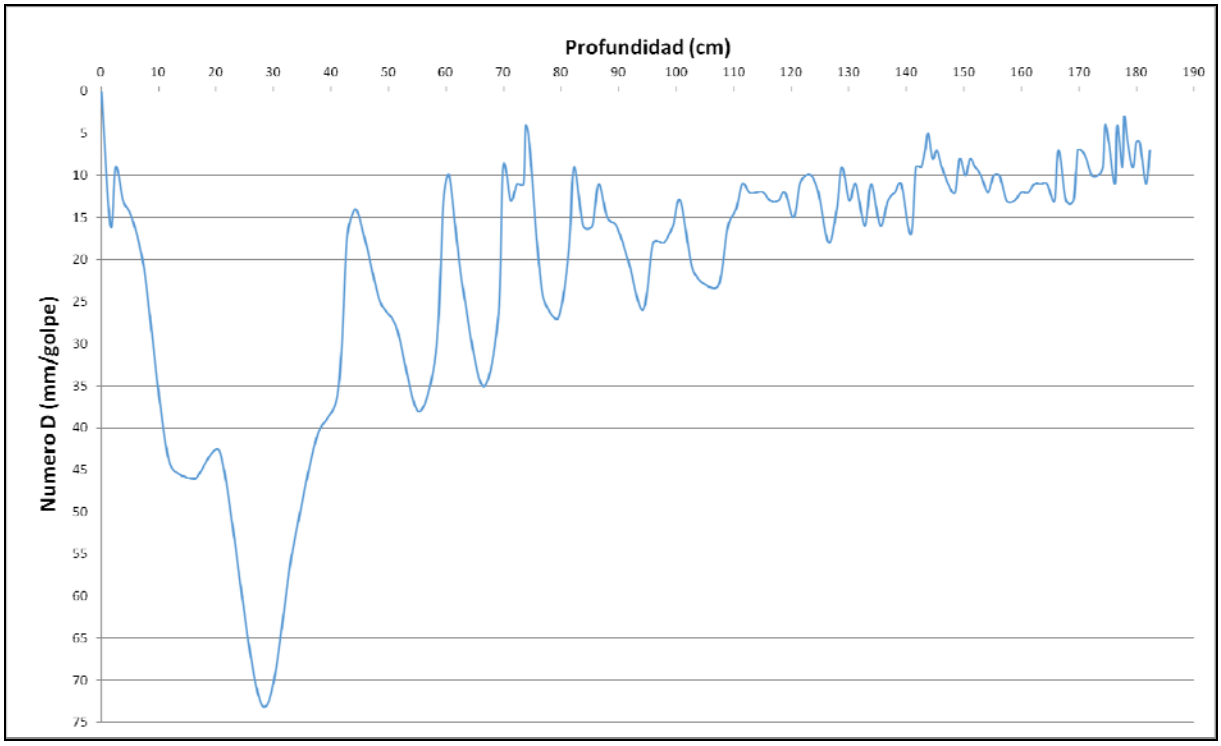
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Tecnofrio

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Ind de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Ind de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Ind de Penetra	CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	1,6	115	131	16	12,1	41	94,2	30	56	26	6,6	81	146,2	570	579	9	25,0
2	2,5	131	140	9	25,0	42	96,0	56	74	18	10,4	82	147,3	579	590	11	19,4
3	3,8	140	153	13	15,7	43	97,8	74	92	18	10,4	83	148,5	590	602	12	17,4
4	5,3	153	168	15	13,1	44	99,4	92	108	16	12,1	84	149,3	602	610	8	29,0
5	7,4	168	189	21	8,6	45	100,7	108	121	13	15,7	85	150,3	610	620	10	21,9
6	11,8	189	233	44	3,4	46	102,8	121	142	21	8,6	86	151,1	620	628	8	29,0
7	16,4	233	279	46	3,2	47	105,1	142	165	23	7,7	87	152,0	628	637	9	25,0
8	20,7	279	322	43	3,5	48	107,4	165	188	23	7,7	88	153,0	637	647	10	21,9
9	28,0	322	395	73	1,8	49	109,0	188	204	16	12,1	89	154,2	647	659	12	17,4
10	33,4	395	449	54	2,6	50	110,4	204	218	14	14,3	90	155,2	659	669	10	21,9
11	37,5	449	490	41	0,0	51	111,5	218	229	11	19,4	91	156,2	669	679	10	21,9
12	41,1	490	526	36	4,4	52	112,7	229	241	12	17,4	92	157,5	679	692	13	15,7
13	42,8	526	543	17	11,2	53	113,9	241	253	12	17,4	93	158,8	692	705	13	15,7
14	44,2	543	557	14	14,3	54	115,1	253	265	12	17,4	94	160,0	705	717	12	17,4
15	46,0	557	575	18	10,4	55	116,4	265	278	13	15,7	95	161,2	717	729	12	17,4
16	48,5	575	600	25	6,9	56	117,7	278	291	13	15,7	96	162,3	729	740	11	19,4
17	51,3	600	628	28	6,0	57	118,9	291	303	12	17,4	97	163,4	740	751	11	19,4
18	55,1	628	666	38	4,1	58	120,4	303	318	15	13,1	98	164,5	751	762	11	19,4
19	58,2	666	697	31	5,3	59	121,5	318	329	11	19,4	99	165,8	762	775	13	15,7
20	59,5	697	710	13	15,7	60	122,5	329	339	10	21,9	100	166,5	775	782	7	34,3
21	60,5	710	720	10	21,9	61	123,5	339	349	10	21,9	101	167,8	782	795	13	15,7
22	62,8	720	743	23	7,7	62	124,7	349	361	12	17,4	102	169,1	795	808	13	15,7
23	66,3	743	778	35	4,5	63	126,5	361	379	18	10,4	103	169,8	808	815	7	34,3
24	69,0	778	805	27	6,3	64	127,9	379	393	14	14,3	104	170,5	815	822	7	34,3
25	69,9	805	814	9	25,0	65	128,8	393	402	9	25,0	105	171,3	822	830	8	29,0
26	71,2	814	827	13	15,7	66	130,1	405	418	13	15,7	106	172,3	830	840	10	21,9
27	72,3	827	838	11	19,4	67	131,2	418	429	11	19,4	107	173,3	840	850	10	21,9
28	73,4	838	849	11	19,4	68	132,8	429	445	16	12,1	108	174,2	850	859	9	25,0
29	73,8	849	853	4	69,4	69	133,9	445	456	11	19,4	109	174,6	44	48	4	69,4
30	74,3	52	57	5	52,4	70	135,5	456	472	16	12,1	110	175,2	48	54	6	41,6
31	76,7	57	81	24	7,3	71	136,8	472	485	13	15,7	111	176,3	54	65	11	19,4
32	79,4	81	108	27	6,3	72	138,0	485	497	12	17,4	112	176,7	65	69	4	69,4
33	81,3	108	127	19	9,7	73	139,1	497	508	11	19,4	113	177,6	69	78	9	25,0
34	82,2	127	136	9	25,0	74	140,8	508	525	17	11,2	114	177,9	78	81	3	99,7
35	83,8	136	152	16	12,1	75	141,7	525	534	9	25,0	115	178,5	81	87	6	41,6
36	85,4	152	168	16	12,1	76	142,6	534	543	9	25,0	116	179,4	87	96	9	25,0
37	86,5	168	179	11	19,4	77	143,3	543	550	7	34,3	117	180,0	96	102	6	41,6
38	88,0	179	194	15	13,1	78	143,8	550	555	5	52,4	118	180,6	102	108	6	41,6
39	89,6	194	210	16	12,1	79	144,6	555	563	8	29,0	119	181,7	108	119	11	19,4
40	91,6	10	30	20	9,1	80	145,3	563	570	7	34,3	120	182,4	119	126	7	34,3

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta de valores sobre 20 mm/golpe, desde 7 cm hasta los 40 cm, es decir, la capa superficial. Sin embargo, en la medida que se profundiza el ensayo, esto es entre 40 cm y 182 cm, el número D decrece consistentemente, hasta llegar a valores entre 5 y 10 mm/golpe.

Lo anterior implica que, si bien los primeros centímetros del muro tienen compacidad baja, al ir bajando en el muro, la densidad del suelo sube, hasta llegar a una compacidad alta.

39.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Tecnofrío se encuentra en la comuna de Cobquecura, provincia de Ñuble, región del Biobío.

Partiendo desde la localidad de Quirihue, se llega a este embalse tomando la ruta que lleva a Cobquecura (camino no enrolado, según referencia [7]) en dirección norponiente, 5,2km antes de la cual se encuentra el embalse en estudio.

Al inspeccionar el terreno aguas abajo del muro a través del programa Google Earth, se observa que el cauce principal comienza en el punto en que descarga el vertedero evacuador de crecidas, punto a partir del cual el eje del cauce se desarrolla por una extensa quebrada natural muy boscosa.

El eje de esta quebrada se trazó desde la descarga del vertedero hasta que se perdió la resolución de su recorrido real. Con esto, se pudieron establecer los siguientes parámetros de caracterización:

- Longitud: 1,67km
- Pendiente media: 7,13%

Cabe destacar que el recorrido de las aguas es más extenso que lo medido, pero para los fines prácticos del presente estudio, se estima suficiente como caracterización. Sin embargo, cabe comentar que la quebrada se aprecia, además de extensa, bien encajonada y de vegetación densa hasta el final de su recorrido.

En lo referente a zonas habitadas, áreas agrícolas e infraestructura vial (o de otro tipo) importante, se observa lo siguiente:

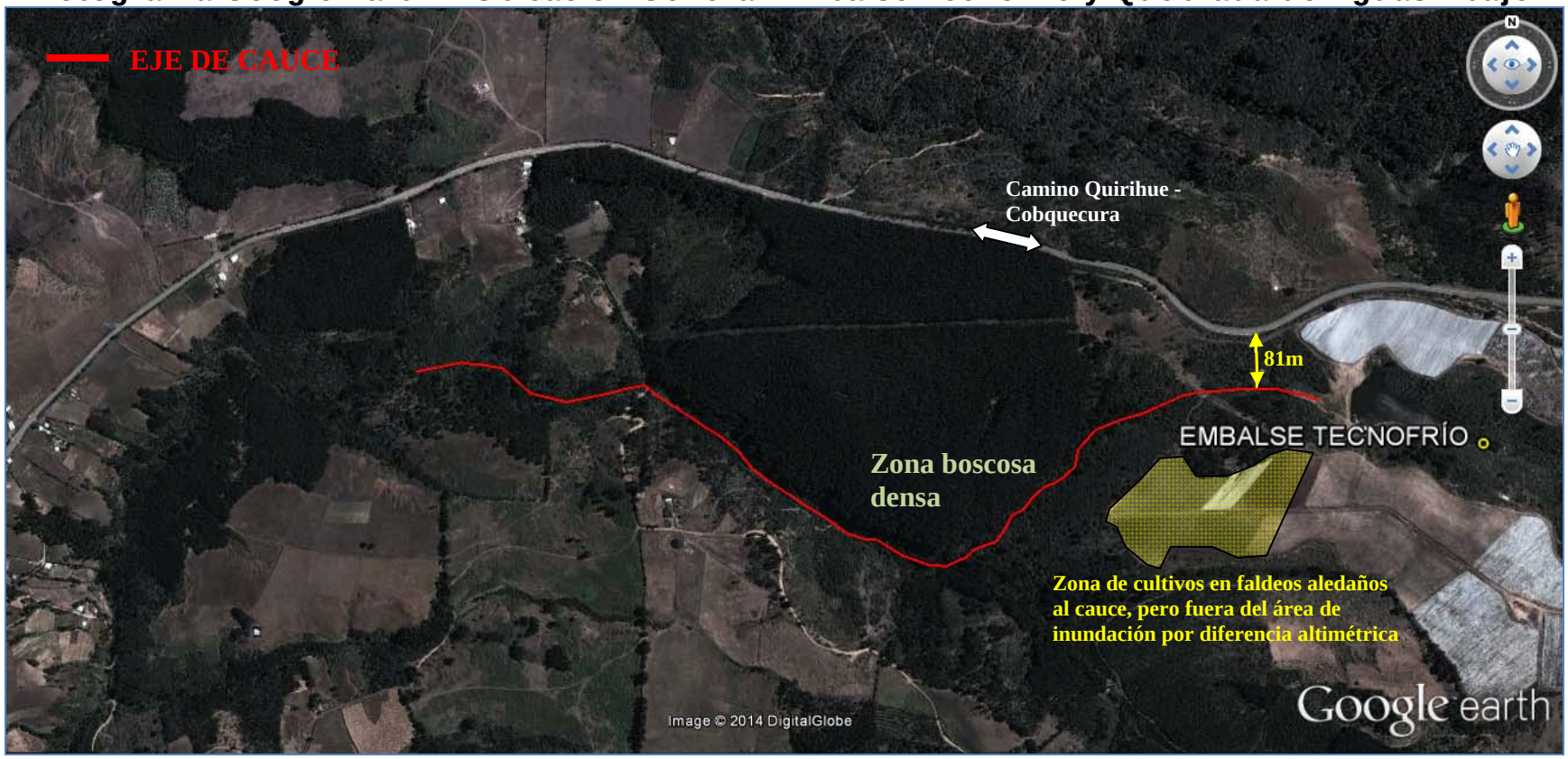
- Zonas habitadas: en el trazado del eje del cauce aguas abajo del muro, no se aprecian zonas habitadas que pudieran estar expuestas ante una eventual falla del muro.

- Áreas agrícolas: si bien existen zonas agrícolas en faldeos adyacentes a la quebrada, dada la morfología del relieve, se estima que no se encuentran expuestas ante una eventual falla del muro.

- Infraestructura: sólo la ruta Quirihue-Cobquecura se encuentra en las cercanías del muro aguas abajo de éste, a una distancia perpendicular del cauce de 80m. No obstante lo anterior, se estima que, por cotas, el riesgo al que estaría expuesta esta ruta no radica en su inundación, sino más bien en una eventual socavación en el pie del talud interior del terraplén de la pista, producto de una evacuación rápida a través de la falla.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse respecto de su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Tecnofrío y Quebrada de Aguas Abajo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Tecnofrío:

CUADRO 39-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE TECNOFRÍO

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Tecnofrío	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada natural	---
	Tipo de Terreno	Boscoso de alta densidad	---
	Pendiente Media	0,071	m/m
	Ancho medio	15	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (*)	0,081	km
	Zonas Agrícolas	0,07	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Nula	---

(*) Distancia perpendicular mínima al eje del cauce.

39.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Tecnofrío	0,287	0,754	379	331	48

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,154	0,162	0,419	0,287

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 39-2 siguiente.

CUADRO 39-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	RACIONAL (m3/s)	HUS (m3/s)	ADOPTADO (m3/s)	MAX (m3/s)
34 Embalse Tecnofrío	2	0,14	0,28	0,71	0,78	-	0,78	0,78
	5	0,21	0,45	1,05	1,09	-	1,09	1,09
	10	0,26	0,55	1,25	1,32	-	1,32	1,32
	20	0,30	0,66	1,45	1,63	-	1,63	1,63
	25	0,31	0,69	1,51	1,69	-	1,69	1,69
	50	0,36	0,80	1,70	2,00	-	2,00	2,00
	100	0,40	0,92	1,90	2,38	-	2,38	2,38
	250	0,47	1,06	2,19	2,67	-	2,67	2,67
	500	0,52	1,18	2,40	2,95	-	2,95	2,95
	1000	0,56	1,29	2,60	3,24	-	3,24	3,24

39.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Tecnofrío fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Tecnofrío	Arcilla limo arenosa	18	0,20	1,80	35	28	28	3,5

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.07
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	0.82
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	0.96

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.03
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	0.74

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

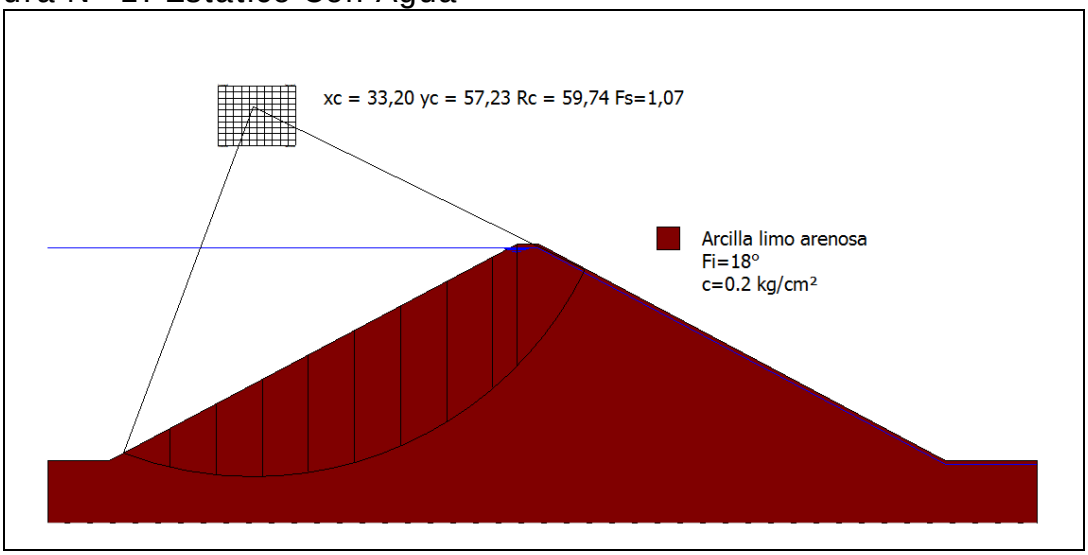


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

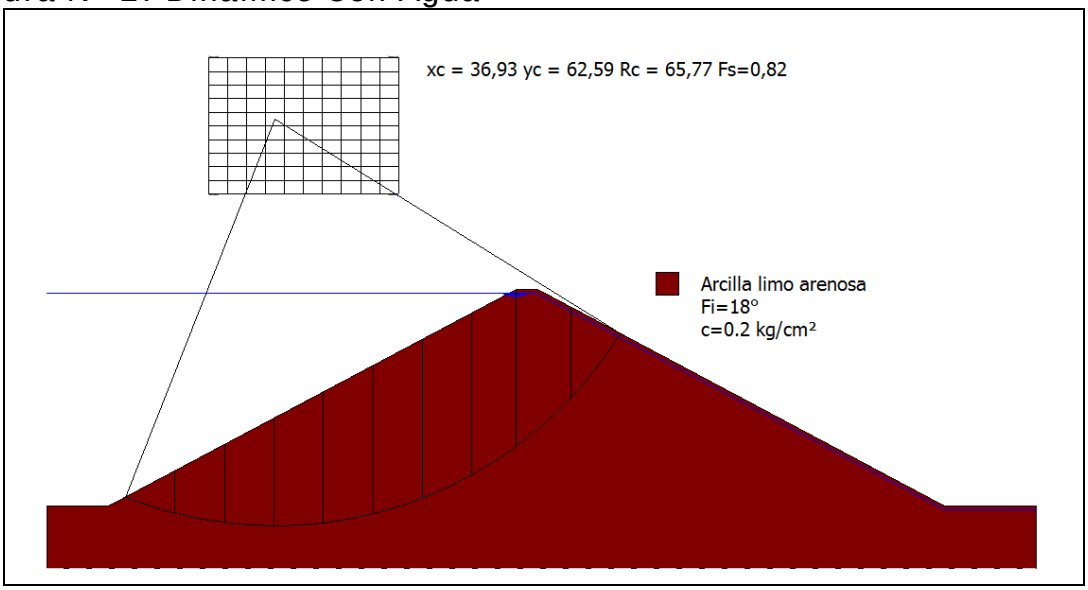
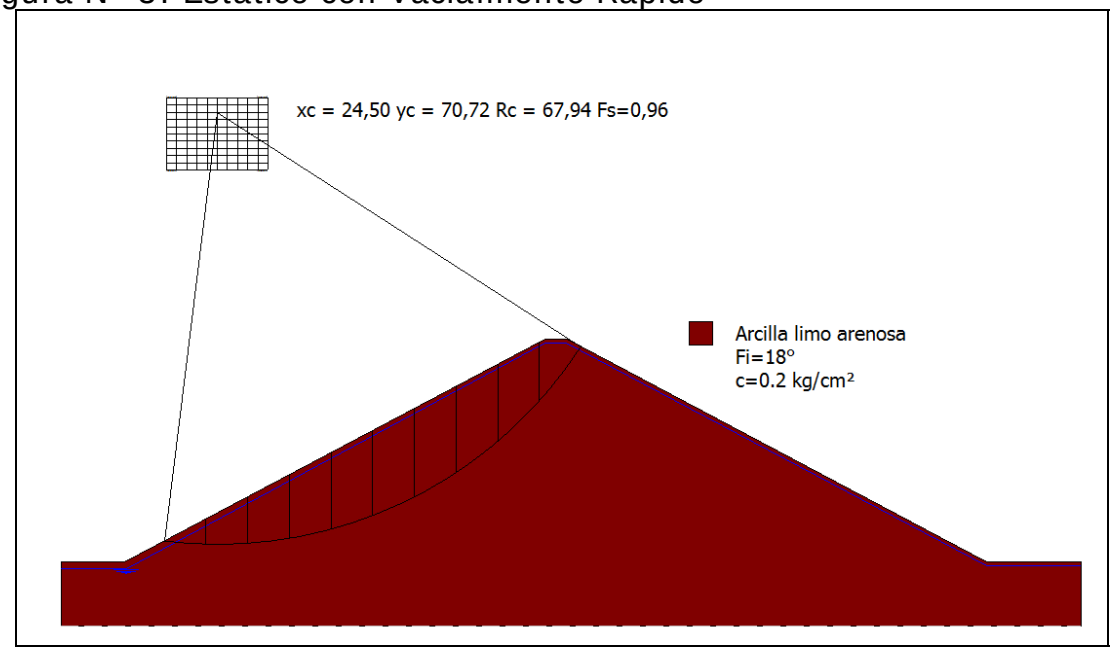


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

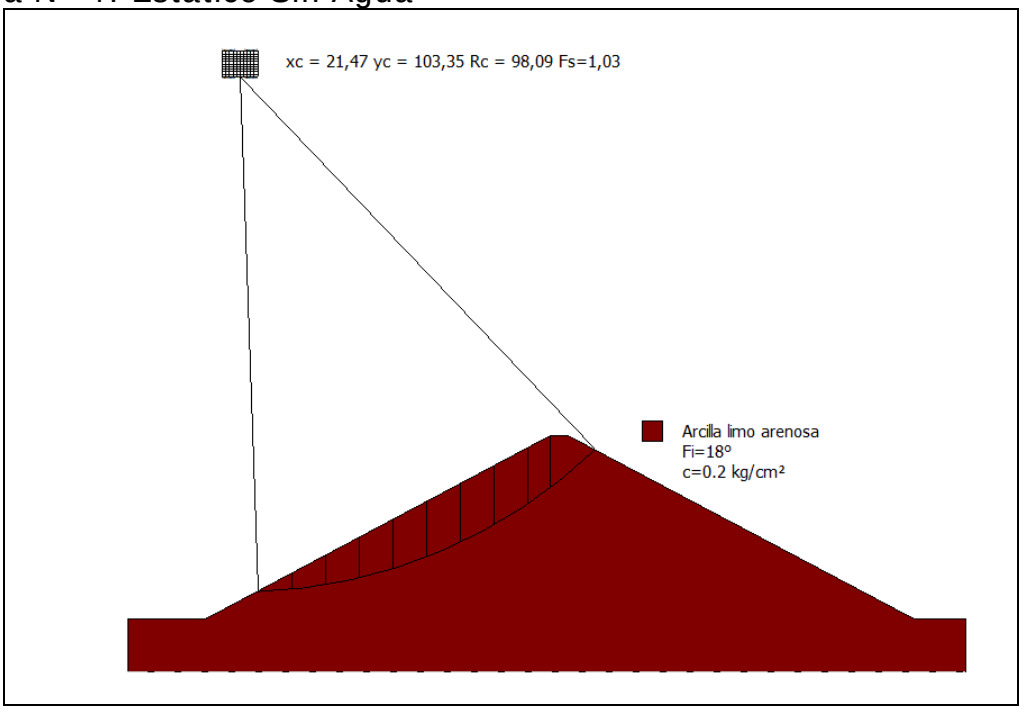
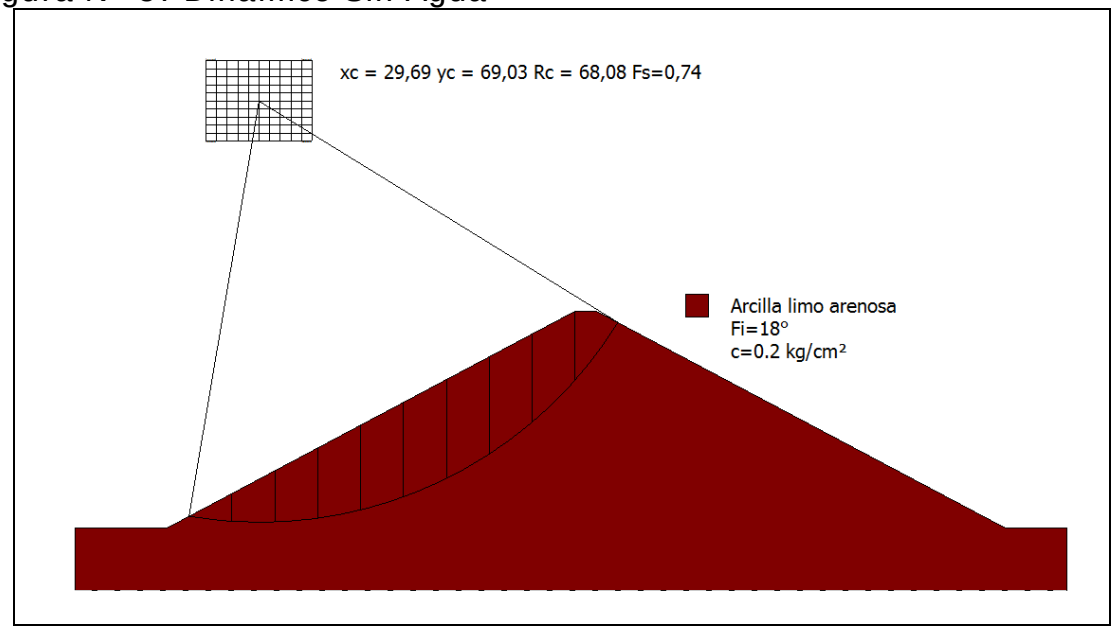


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Tecnofrío sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos daños consistieron en grietas longitudinales en el coronamiento y deslizamientos en los taludes.

ii) Según informó el administrador del predio, se efectuaron reparaciones sacando los 6 metros superiores del muro, material que se recolocó en capas. Sobre el coronamiento se dispuso una capa de gravilla para evitar la erosión y para fines de tránsito.

iii) En el trascurso de la visita no se observaron grietas, deslizamientos ni deformaciones. Sin embargo existen algunas cárcavas por erosión, debido a aguas lluvias en el talud de aguas abajo.

iv) Para el nivel del agua al momento de la visita (embalse lleno) se observaron algunas filtraciones menores al pie del talud de aguas abajo.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son menores a los

mínimos habitualmente aceptados.

vii) Aún cuando el embalse Tecnofrío se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 80% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente y aprobado por la DGA.

39.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 39-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Tecnofrío	Arcillas Limo Arenosas	65,1	0	21,7	2	16,4	32,8	Si

39.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 39-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Tecnofrío	Frontal	Vertedero pared gruesa	3,5	1	1							**11,00**

39.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E
Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Tecnofrío, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 37,3 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 37,3 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 37,3 años, o 0,027.
Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	0,95

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor adoptado**
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 11,0 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 7,7 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	2,67	0,05
0,002 (T= 500 años)	2,95	
0,001 (T= 1.000 años)	3,24	

Como la capacidad efectiva es de 7,7 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 8.960 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,0001.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,027
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,0001 (T= 8.960 años)

Así, se escoge al sismo como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,027
Vulnerabilidad Frente al Sismo = 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,027 x 0,95 x 1,0= 2,56 %

40. EMBALSE EL TUCAPEL

40.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Tucapel.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Tucapel		Nº de ficha	35
Propietario	Dirección de Obras Hidráulicas		Fecha (dd/mm/año)	16/9/2014; 13:20 hrs.
	Morandé 59, Piso 5, Santiago			
Año de construcción	1957		Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación	2010		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081			
Subcuenca / Código DGA	Río Itata Alto hasta Río Duguillín/0812			
Fuente del recurso	Quebrada Los Troncos			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VIII Región del Biobío	
Provincia	Biobío	
Comuna	Tucapel	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 5.866.916	E = 239.857
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	353	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	250 m
Ancho del coronamiento	4
Desarrollo del talud aguas abajo	27
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	27°
Ángulo talud de aguas arriba	25°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	12
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	732.000
Ancho máximo de la poza (m)	230
Largo de la poza (m)	310
Volumen declarado o proyectado (m3)	410.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		
Identificación del punto de toma de muestra		
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		
Coordenadas UTM		
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		
Ensayo con Penetrómetro Móvil		X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	En general se observa geometría aproximadamente regular
Compacidad del material estructural	media a alta
Uniformidad de los taludes	levemente deformados
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	no
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	no
Tipo de revestimiento del muro	Talud interno parcialmente revestido con bolones de piedras, muchos de los cuales se deslizaron.

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***
Vertederos frontales	X	Vertederos libres, sin control
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas
Vertederos de campana		

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***
Vertedero de pared delgada		Rectangulares
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares
		Circulares

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Frontal
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	Buen estado, factible de peraltar artificialmente el vertedero por medio de un tablón
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	6 m de longitud, 1 m de alto y 1 m de carga máxima

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Cámara con rejilla seguida por tubería de acero y válvula de 300 mm de diámetro ubicada al pie del talud
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	Bueno

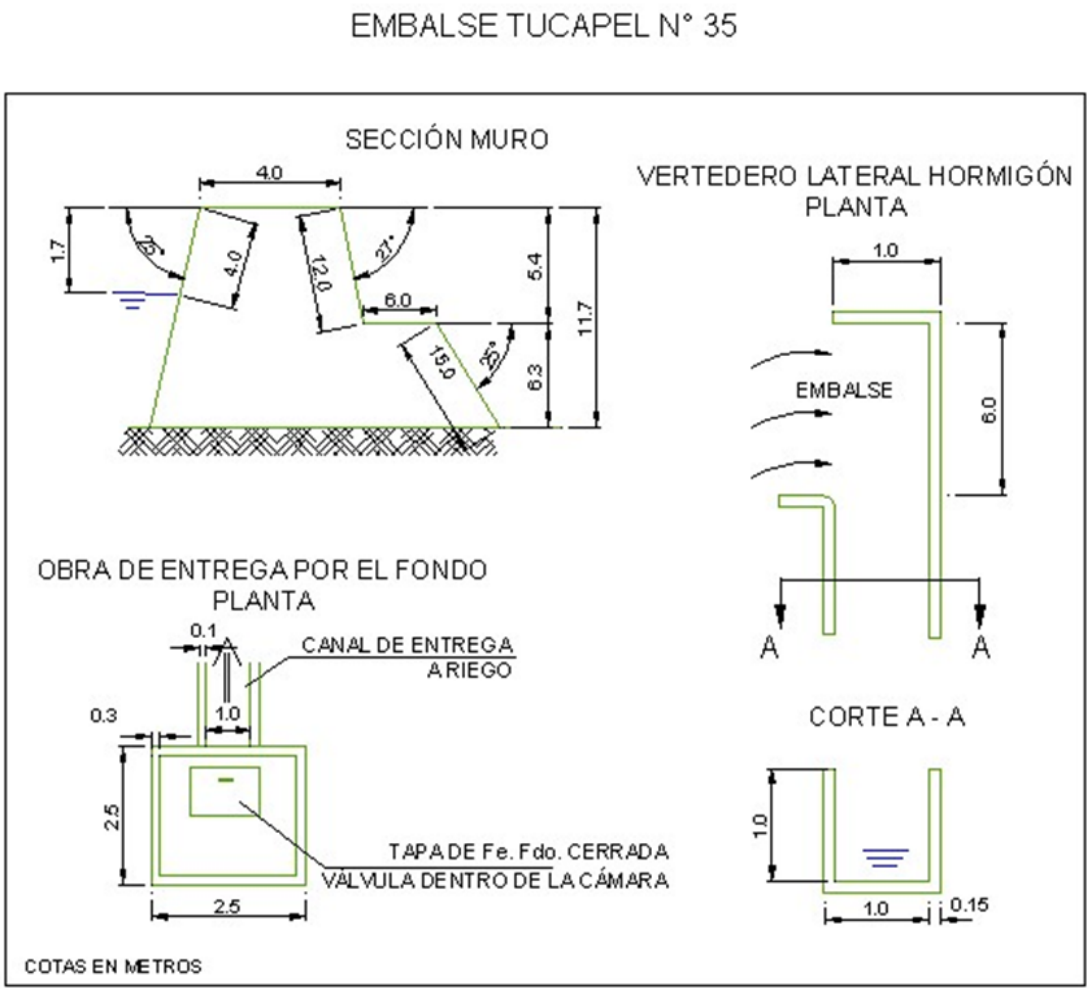
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO AGUAS ABAJO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Quebrada con especies arbóreas, i= 0,32, ancho medio 33 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,35 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	no hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	alta
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,17 km
Area de riego servida por el tranque analizado	100 ha

11. OBSERVACIONES

Embalse en buen estado, aparentemente

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE TUCAPEL (35)
CORONAMIENTO Y TALUD AGUAS ARRIBA

CORONAMIENTO

OBRA DE ENTREGA

VERTEDERO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

40.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Tucapel, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arenas limosas (tipo trumao), de color café claro. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arenas limosas. De igual forma, el terraplén de apoyo construido como apoyo al talud de aguas abajo, está constituido por los mismos materiales. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro y terraplén es media, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

Según la información disponible el muro del embalse Tucapel sufrió bastantes daños debido al terremoto del año 2010. Los principales correspondieron a grietas longitudinales en el coronamiento del muro y en el talud de aguas arriba. Según lo informado por vecinos del sector, meses después del terremoto, se efectuaron reparaciones en el muro. La naturaleza de las reparaciones es desconocida.

Al momento de la visita el muro del embalse se encontraba en buenas condiciones, sin señales de grietas o fallas en ningún sector.

Por otra parte, para el nivel de aguas en el momento de la visita (embalse lleno), el muro presentaba pequeñas filtraciones al pie en el sector central.

Las mediciones geométricas efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 237 m; ancho de coronamiento 4 m; inclinación talud aguas arriba 25°; altura hasta el nivel de agua 1.7 m; inclinación talud aguas abajo 27° hasta terraplén construido al pie; altura desde el coronamiento hasta el terraplén 5.4 m; ancho del terraplén 6 m, talud del terraplén hacia aguas abajo 25°; altura del terraplén 6.3 m; altura máxima total talud aguas abajo 11.7 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

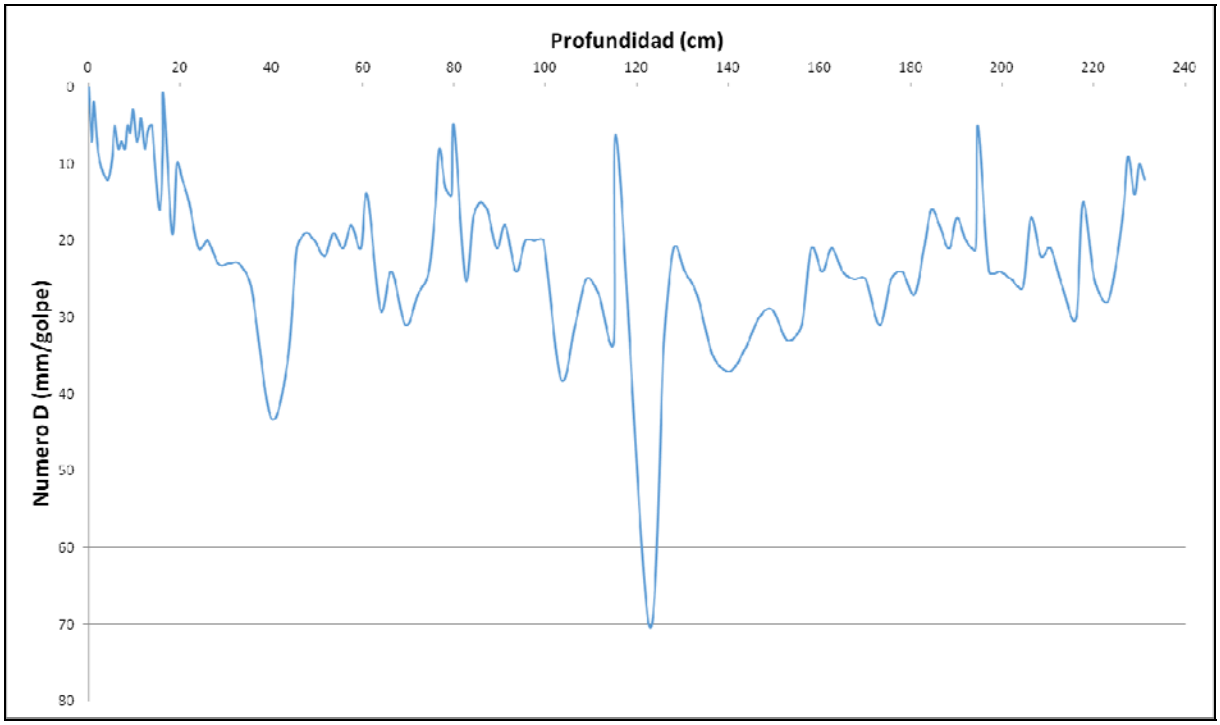
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Tucapel

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Vel de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Vel de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Vel de Penetra	CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	0,7	95	102	7	34,3	41	51,7	590	612	22	8,1	81	146,8	502	532	30	5,5
2	1,0	102	105	3	99,7	42	53,6	612	631	19	9,7	82	149,7	532	561	29	5,7
3	1,2	105	107	2	166,2	43	55,7	631	652	21	8,6	83	153,0	561	594	33	4,9
4	2,0	107	115	8	29,0	44	57,5	652	670	18	10,4	84	156,1	594	625	31	5,3
5	3,1	115	126	11	19,4	45	59,6	670	691	21	8,6	85	158,2	625	646	21	8,6
6	4,3	126	138	12	17,4	46	61,0	691	705	14	14,3	86	160,6	646	670	24	7,3
7	5,2	138	147	9	25,0	47	63,9	705	734	29	5,7	87	162,7	670	691	21	8,6
8	5,7	147	152	5	52,4	48	66,3	734	758	24	7,3	88	165,1	691	715	24	7,3
9	6,5	152	160	8	29,0	49	69,4	758	789	31	5,3	89	167,6	715	740	25	6,9
10	7,2	160	167	7	34,3	50	72,1	789	816	27	6,3	90	170,1	740	765	25	6,9
11	8,0	167	175	8	29,0	51	74,5	816	840	24	7,3	91	173,2	765	796	31	5,3
12	8,5	175	180	5	52,4	52	76,0	840	855	15	13,1	92	175,7	796	821	25	6,9
13	9,1	180	186	6	41,6	53	76,8	44	52	8	29,0	93	178,1	821	845	24	7,3
14	9,5	186	190	4	69,4	54	78,1	52	65	13	15,7	94	180,8	845	872	27	6,3
15	9,8	190	193	3	99,7	55	79,5	65	79	14	14,3	95	182,9	54	75	21	8,6
16	10,5	193	200	7	34,3	56	80,0	79	84	5	52,4	96	184,5	92	108	16	12,1
17	11,1	200	206	6	41,6	57	82,5	84	109	25	6,9	97	186,3	108	126	18	10,4
18	11,5	206	210	4	69,4	58	84,2	109	126	17	11,2	98	188,4	126	147	21	8,6
19	12,3	210	218	8	29,0	59	85,7	126	141	15	13,1	99	190,1	147	164	17	11,2
20	12,9	218	224	6	41,6	60	87,3	141	157	16	12,1	100	192,1	164	184	20	9,1
21	13,4	224	229	5	52,4	61	89,4	157	178	21	8,6	101	194,2	184	205	21	8,6
22	13,9	229	234	5	52,4	62	91,2	178	196	18	10,4	102	194,7	0	5	5	52,4
23	15,5	234	250	16	12,1	63	93,6	196	220	24	7,3	103	197,1	5	29	24	7,3
24	16,3	250	258	8	29,0	64	95,6	0	20	20	9,1	104	199,5	29	53	24	7,3
25	16,4	258	259	1	398,1	65	97,6	20	40	20	9,1	105	202,0	53	78	25	6,9
26	18,3	259	278	19	9,7	66	99,6	40	60	20	9,1	106	204,6	78	104	26	6,6
27	19,3	278	288	10	21,9	67	103,4	60	98	38	4,1	107	206,3	104	121	17	11,2
28	20,5	288	300	12	17,4	68	106,5	98	129	31	5,3	108	208,5	121	143	22	8,1
29	22,0	300	315	15	13,1	69	109,0	129	154	25	6,9	109	210,6	143	164	21	8,6
30	24,1	315	336	21	8,6	70	111,7	154	181	27	6,3	110	213,2	164	190	26	6,6
31	26,1	336	356	20	9,1	71	115,0	181	214	33	4,9	111	216,2	190	220	30	5,5
32	28,4	356	379	23	7,7	72	115,7	214	221	7	34,3	112	217,7	220	235	15	13,1
33	30,7	379	402	23	7,7	73	122,7	221	291	70	1,9	113	220,2	235	260	25	6,9
34	33,0	402	425	23	7,7	74	126,0	291	324	33	4,9	114	223,0	260	288	28	6,0
35	35,6	425	451	26	6,6	75	128,1	324	345	21	8,6	115	225,2	288	310	22	8,1
36	39,9	451	494	43	3,5	76	130,5	345	369	24	7,3	116	226,7	310	325	15	13,1
37	43,5	494	530	36	4,4	77	133,2	369	396	27	6,3	117	227,6	325	334	9	25,0
38	45,6	530	551	21	8,6	78	136,7	396	431	35	4,5	118	229,0	334	348	14	14,3
39	47,5	551	570	19	9,7	79	140,4	431	468	37	4,2	119	230,0	348	358	10	21,9
40	49,5	570	590	20	9,1	80	143,8	468	502	34	4,7	120	231,2	358	370	12	17,4

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores oscilantes, pero con un promedio de aproximadamente 20 mm/golpe. El número D comienza con valores menores a 10 mm/golpe, esto probablemente se deba al tráfico sobre el muro. Bajo los 30 cm los valores del número D son mayores, oscilando entre los 20 y 40 mm/golpe, lo que se asocia a rellenos de compacidad media a baja.

40.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Tucapel se encuentra en la comuna de Tucapel, en la provincia y región del Biobío.

Partiendo desde la comuna de Tucapel, se puede llegar al embalse tomando la ruta N-983 en dirección sur. Al llegar a la primera bifurcación del camino, se debe tomar la ruta que se encuentra a mano izquierda; manteniéndose en ella, el embalse se encuentra luego de recorrer unos 1,8km.

En cuanto al cauce de aguas abajo, al efectuar una inspección tanto visual como de diferencias altimétricas, se puede establecer que a los pies del muro se ubica una quebrada de corta longitud, en cuya trayectoria se aprecian canalizaciones de riego y lugares habitados.

De esta manera, el cauce no superaría los 200m de largo, con una pendiente media estimada del 3,21%. Los suelos de este terreno poseen una cubierta vegetal baja, con algunas especies arbóreas y/o arbustivas en los bordes de la quebrada.

Adyacentes al cauce en estudio, se aprecian superficies agrícolas.

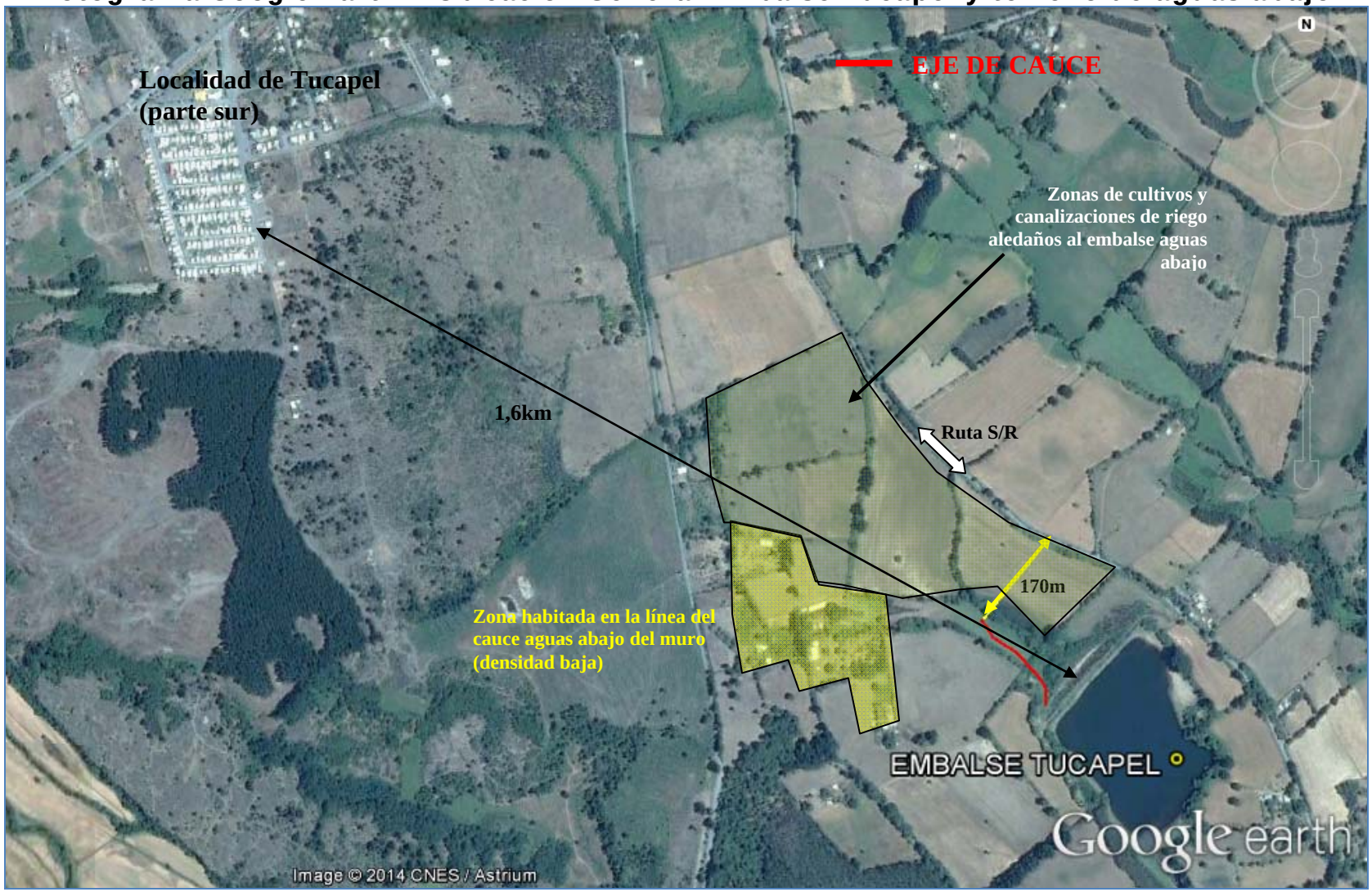
En lo referido a la presencia de zonas habitadas aguas abajo del embalse, las más expuestas se encuentran dentro de lo que se puede identificar como parte de la quebrada, a una distancia radial del muro de 450m.

Si bien las zonas habitadas directamente expuestas son de una densidad poblacional baja, a una distancia radial aproximada de 1,6km desde el muro, se encuentra la parte sur de la localidad de Tucapel, con una densidad habitacional alta.

Respecto a rutas e infraestructura en las cercanías aguas abajo del muro, se distinguen dos caminos, ninguno de ellos enrolado, siendo, el que lleva al embalse, el más próximo: 170m perpendiculares al eje del cauce de aguas abajo.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse respecto del terreno aguas abajo de él.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Tucapel y terreno de aguas abajo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Tucapel:

CUADRO 40-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE TUCAPEL

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Tucapel	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada de poca longitud	---
	Tipo de Terreno	Natural con especies arbóreas y/o arbustivas de baja densidad / áreas ágricolas y habitadas aledañas al muro y al cauce	---
	Pendiente Media	0,0321	m/m
	Ancho medio	33	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,35	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,17	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse (*)	Alta	---

(*) Está referida a la densidad poblacional de la localidad de Tucapel, que se encuentra a una distancia radial del muro del embalse de 1,6km.

40.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Tucapel	1,145	1,930	443	362	81

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,305	0,340	0,755	0,530

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 40-2 siguiente.

CUADRO 40-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	RACIONAL (m3/s)	HUS (m3/s)	ADOPTADO (m3/s)	MAX (m3/s)
35 Embalse Tucapel	2	0,67	1,32	1,35	1,52	-	1,52	1,52
	5	0,94	1,93	1,87	2,01	-	2,01	2,01
	10	1,12	2,29	2,14	2,44	-	2,44	2,44
	20	1,29	2,63	2,40	2,92	-	2,92	2,92
	25	1,35	2,73	2,48	2,98	-	2,98	2,98
	50	1,52	3,07	2,73	3,54	-	3,54	3,54
	100	1,69	3,43	2,99	4,06	-	4,06	4,06
	250	1,93	3,95	3,40	4,57	-	4,57	4,57
	500	2,11	4,31	3,69	5,03	-	5,03	5,03
	1000	2,29	4,68	3,97	5,48	-	5,48	5,48

40.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Tucapel fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Tucapel	Arena limosa	28	0,10	1,85	11,7	25	27	4

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.32
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.07
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.00

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.04
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.56

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

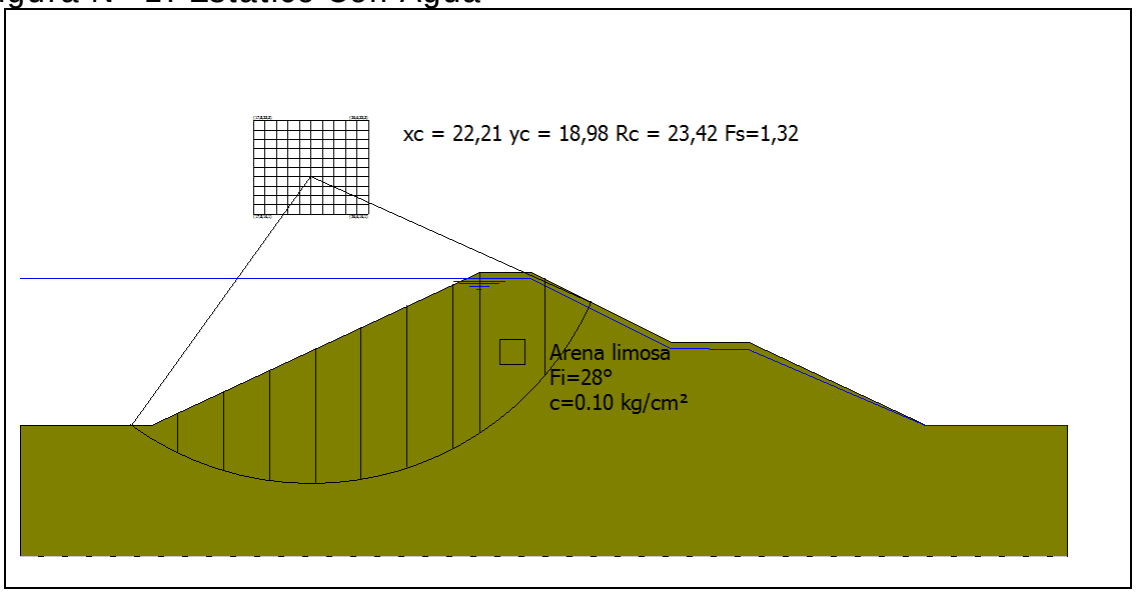


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

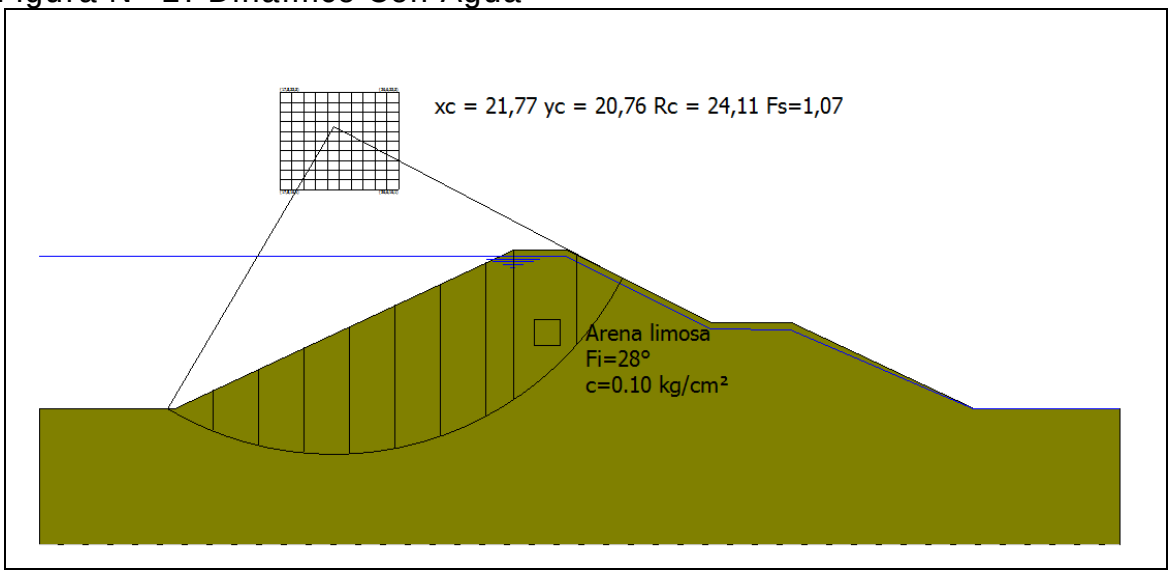
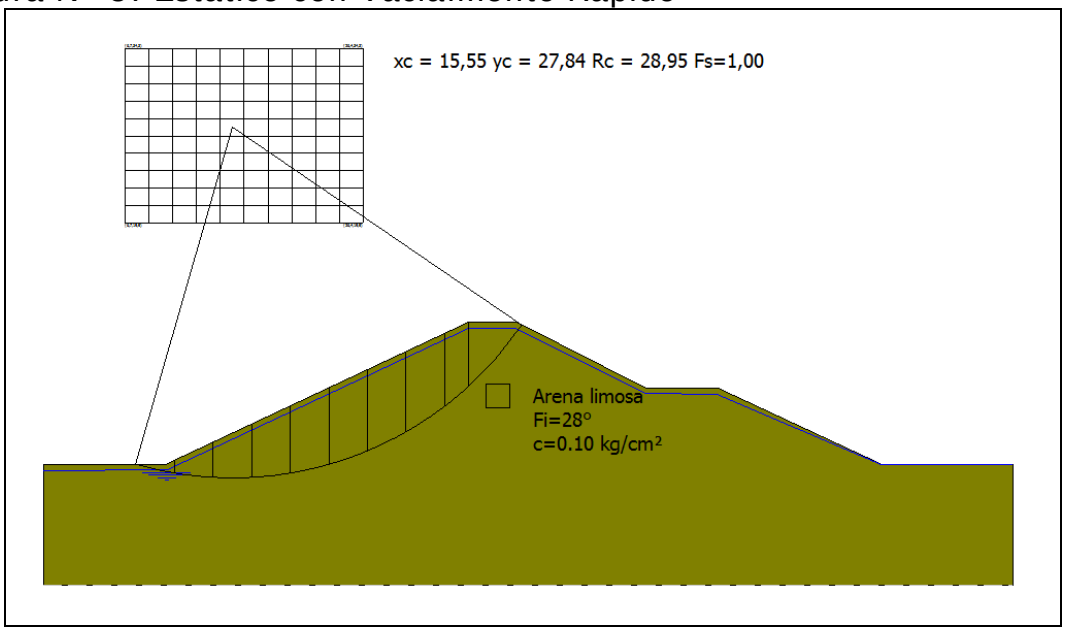


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

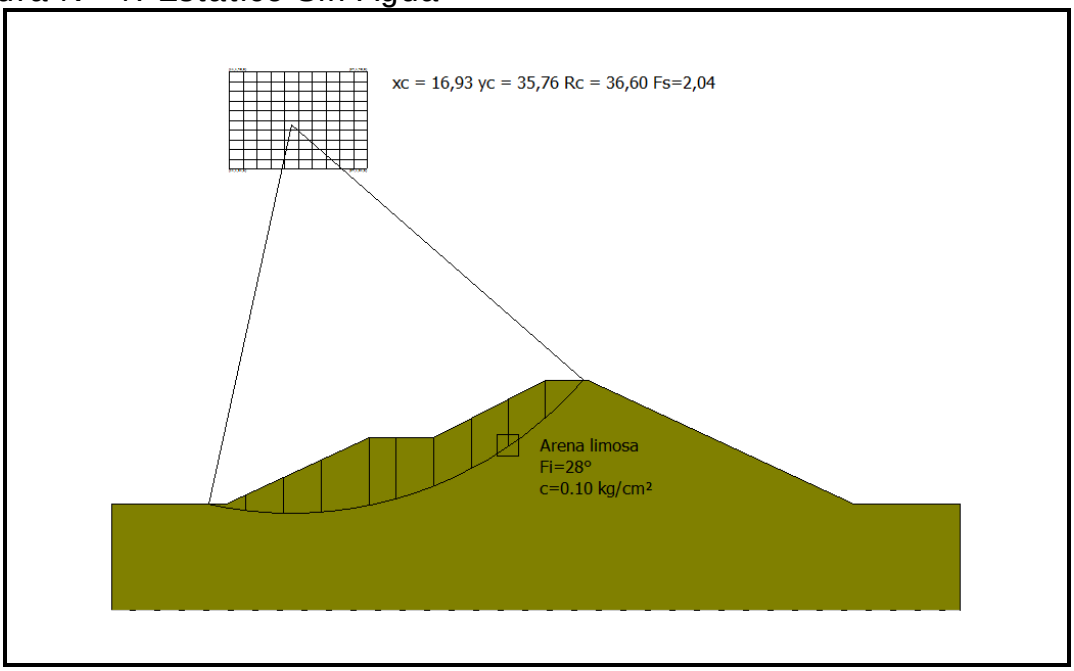
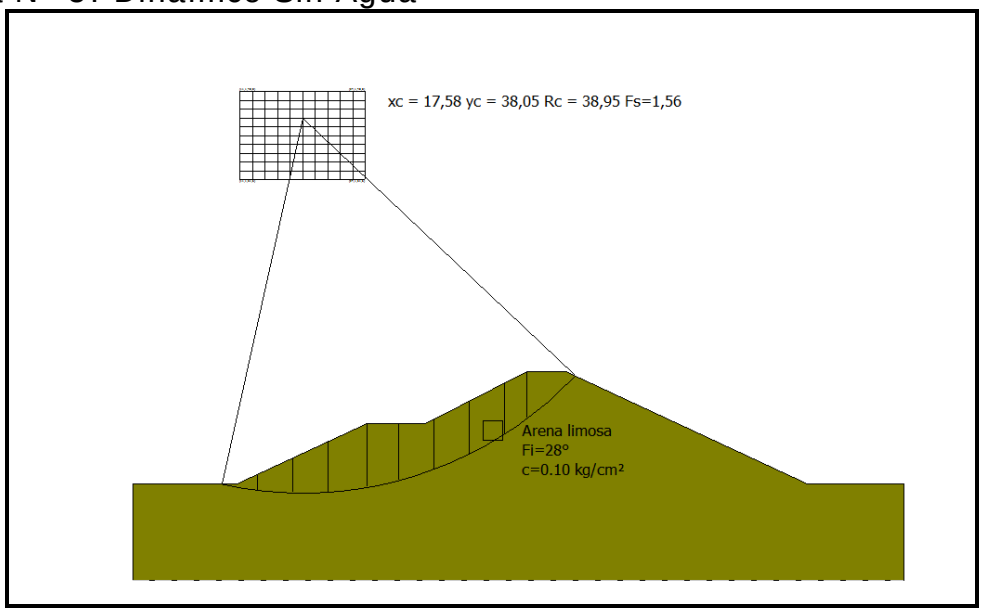


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) Según la información disponible el muro del embalse Tucapel sufrió bastantes daños debido al terremoto del año 2010. Los principales correspondieron a grietas longitudinales en el coronamiento del muro y en el talud de aguas arriba.

ii) Según lo informado por vecinos del sector, meses después del terremoto, se efectuaron reparaciones en el muro. La naturaleza de las reparaciones es desconocida.

iii) Al momento de la visita el muro del embalse se encontraba en buenas condiciones, sin señales de grietas o fallas en ningún sector.

iv) Por otra parte, para el nivel de aguas en el momento de la visita (embalse lleno), el muro presentaba pequeñas filtraciones al pie en el sector central.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería

nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

vii) El embalse Tucapel se aprecia en buenas condiciones. En los antecedentes del proyecto de reparación efectuado, no se encontraron ningún tipo de estudios geotécnicos, ni estabilidad de taludes ni determinación de filtraciones.

40.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 40-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Tucapel	Arenas Limosas	57,9	0	19,3	6	11,7	70,2	Si

40.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 40-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Tucapel	Lateral	Hormigón, pared gruesa		1	1	1	0,002	0,016				**1,34**

40.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Tucapel, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g**
es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro)
igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **26,0** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02
cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 26,0 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:

Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 26 años, o 0,038

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	0,95

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 1,34 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,7 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 0,94 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	4,57	0,95
0,002 (T= 500 años)	5,03	
0,001 (T= 1.000 años)	5,48	

Como la capacidad efectiva es de 0,94 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,5.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	E1	Valor adoptado
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1

Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,038
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,5 (T= 2 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,5
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,5 x 0,95 x 1,0= 47,5 %

41. EMBALSE RÍO LARQUI

41.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Río Larqui.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Rio Larqui		Nº de ficha	36
Propietario	Forestal Arauco		Fecha (dd/mm/año)	17/9/2014; 16:35 hrs.
	Panamericana Norte 986, Chillán			
Año de construcción			Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación			Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081			
Subcuenca / Código DGA	Itata Medio/0813			
Fuente del recurso				

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Bío Bío	
Provincia	Ñuble	
Comuna	Chillán	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N=	E=
Coordenadas UTM Centro	N= 5.932.405	E= 745.375
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N=	E=
Datum	WGS 84, Huso 18	
Altitud m.s.n.m	77	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	60 m
Ancho del coronamiento (m)	3,5 m
Desarrollo del talud aguas abajo	10 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	39°
Ángulo talud de aguas arriba	29°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	6,0
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	26.300
Ancho máximo de la poza (m)	135
Largo de la poza (m)	230
Volumen declarado o proyectado (m3)	90.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	si, regular
Compacidad del material estructural	alta
Uniformidad de los taludes	si, uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	no
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	no
Tipo de revestimiento del muro	Polietileno en talud de aguas abajo

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS			
Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	*Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:*	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		*Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:*	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	
Los datos a consignar son:			
Tipo de vertedero	NO TIENE VERTEDERO		
Material constructivo			
Estado de conservación y operatividad			
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)			

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO	
Tipo de estructura	caseta de bombeo através de tubo color amarillo que sale del embalse en un costado de éste
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

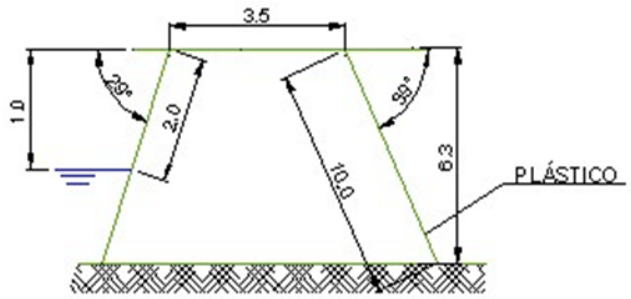
10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO	
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Quebrada semi boscosa, i= 0,04, ancho medio 23 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	no hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	no hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	aledañas
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,87 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES
Embalse en buen estado
No se entiende revestimiento del talud por aguas abajo; se podría suponer que hará las veces de vertedero, ya que no dispone de este último

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE RÍO LARQUI N° 36

SECCIÓN MURO



OBRA DE DESCRGA A RIEGO: SE OBSERVA CASETA DE BOMBEO Y TUBO QUE SALE DEL AGUA.

NO HAY VERTEDERO: AL PARECER EL MURO FUNCIONA COMO VERTEDERO. APARENTEMENTE HUBO UNO EN SECTOR ESTRIBO DERECHO, PERO HOY NO SE OBSERVA.

COTAS EN METROS

EMBALSE RÍO LARQUI (36)

TALUD AGUAS ARRIBA Y CORONAMIENTO

TALUD AGUAS ABAJO

MATERIAL DEL MURO EN SECTOR DE TALUD DE AGUAS ABAJO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

41.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

Con relación a la estructura del muro, se pudo establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arena limosa con gravas dispersas, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, permeabilidad media y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arenas limosas con gravas dispersas, de color café. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es media.

El tranque Río Larqui sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos consistieron en grietas longitudinales tanto en el coronamiento como en el talud de aguas arriba, que comprometían prácticamente toda la longitud del muro.

En el trascurso de la visita se pudo apreciar que el muro aparentemente fue reparado. Se ignoran las características de la reparación efectuada, así como si existe un proyecto para ellas.

Por otra parte se pudo observar que se ha dispuesto un polietileno en el talud de aguas abajo, posiblemente este se utilice como revestimiento para prevenir las cárcavas producidas por las lluvias. El mismo polietileno impidió que pudiera determinarse si existían filtraciones en el talud de aguas abajo, toda vez que el embalse se encontraba lleno.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 60 m; ancho de coronamiento de 3.5 m; inclinación talud aguas arriba 29°; altura hasta el nivel de agua 1 m; inclinación talud aguas abajo 39°; altura máxima talud aguas abajo 10 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

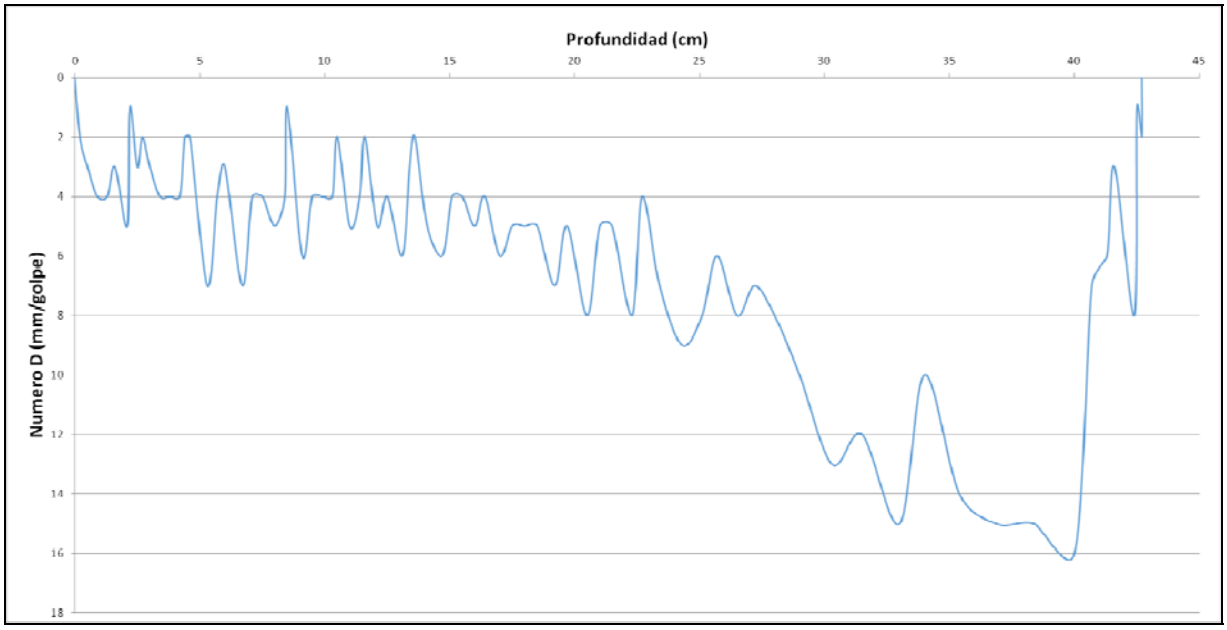
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Rio Larqui

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	d de Penetra	CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	0.2	105	107	2	166.2	41	15.5	256	260	4	69.4
2	0.5	107	110	3	99.7	42	16.0	260	265	5	52.4
3	0.9	110	114	4	69.4	43	16.4	265	269	4	69.4
4	1.3	114	118	4	69.4	44	17.0	269	275	6	41.6
5	1.6	118	121	3	99.7	45	17.5	275	280	5	52.4
6	2.1	121	126	5	52.4	46	18.0	280	285	5	52.4
7	2.2	126	127	1	398.1	47	18.5	285	290	5	52.4
8	2.5	127	130	3	99.7	48	19.2	290	297	7	34.3
9	2.7	130	132	2	166.2	49	19.7	297	302	5	52.4
10	3.0	132	135	3	99.7	50	20.5	302	310	8	29.0
11	3.4	135	139	4	69.4	51	21.0	310	315	5	52.4
12	3.8	139	143	4	69.4	52	21.5	315	320	5	52.4
13	4.2	143	147	4	69.4	53	22.3	320	328	8	29.0
14	4.4	147	149	2	166.2	54	22.7	328	332	4	69.4
15	4.6	149	151	2	166.2	55	23.4	332	339	7	34.3
16	5.3	151	158	7	34.3	56	24.3	339	348	9	25.0
17	5.7	158	162	4	69.4	57	25.1	348	356	8	29.0
18	6.0	162	165	3	99.7	58	25.7	356	362	6	41.6
19	6.7	165	172	7	34.3	59	26.5	362	370	8	29.0
20	7.1	172	176	4	69.4	60	27.2	370	377	7	34.3
21	7.5	176	180	4	69.4	61	28.0	377	385	8	29.0
22	8.0	180	185	5	52.4	62	29.0	385	395	10	21.9
23	8.4	185	189	4	69.4	63	30.3	395	408	13	15.7
24	8.5	189	190	1	398.1	64	31.5	408	420	12	17.4
25	9.1	190	196	6	41.6	65	33.0	420	435	15	13.1
26	9.5	196	200	4	69.4	66	34.0	435	445	10	21.9
27	9.9	200	204	4	69.4	67	35.4	445	459	14	14.3
28	10.3	204	208	4	69.4	68	36.9	459	474	15	13.1
29	10.5	208	210	2	166.2	69	38.4	474	489	15	13.1
30	11.0	210	215	5	52.4	70	40.0	489	505	16	12.1
31	11.4	215	219	4	69.4	71	40.7	505	512	7	34.3
32	11.6	219	221	2	166.2	72	41.3	512	518	6	41.6
33	12.1	221	226	5	52.4	73	41.6	518	521	3	99.7
34	12.5	226	230	4	69.4	74	42.4	521	529	8	29.0
35	13.1	230	236	6	41.6	75	42.5	529	530	1	398.1
36	13.4	236	239	3	99.7	76	42.7	530	532	2	166.2
37	13.6	239	241	2	166.2	77	42.7	532	0	0	0.0
38	14.1	241	246	5	52.4						
39	14.7	246	252	6	41.6						
40	15.1	252	256	4	69.4						

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores entre 2 y 8 mm/golpe entre hasta los 25 cm de profundidad. Esto se puede relacionar a suelos arenosos de compacidad alta. Entre las profundidades 25 y 40 se encontró suelos menos compactos, con valores de D entre 10 y 16 mm/golpe. Sin embargo, bajo la profundidad 40 cm, se vuelve a valores menores a 8 mm/golpe, lo que corresponde a una compacidad alta.

41.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Río Larqui se encuentra en la comuna de Chillán Viejo, provincia de Ñuble, región del Biobío, y se puede llegar a él a través de la ruta N-631, la cual se toma directamente desde la ruta 5 hacia el oriente. El ingreso se debe efectuar por el fundo “El Ranchito”, dentro del cual, luego de recorrer unos 180, se llega a sus dependencias.

El cauce aguas abajo del embalse corresponde a una quebrada natural que nace a los pies del muro para desembocar en el río Larqui, de lecho mayor; la longitud estimada de la quebrada hasta su punto de descarga al río Larqui es de 294m, con una pendiente media estimada de 4,08%.

Es importante señalar que, si bien es difícil estimar el efecto amortiguador del río al cual la quebrada descarga, se considera que constituye una barrera de protección y de canalización importante frente a un hipotético colapso del embalse.

Por otra parte, el tipo de terreno de la quebrada se aprecia semi-boscoso con presencia de especies arbóreas y arbustivas de densidad media.

Asimismo, en el entorno inmediato del cauce caracterizado, se aprecian sectores agrícolas aledaños, sin la presencia de zonas habitadas aguas abajo del embalse.

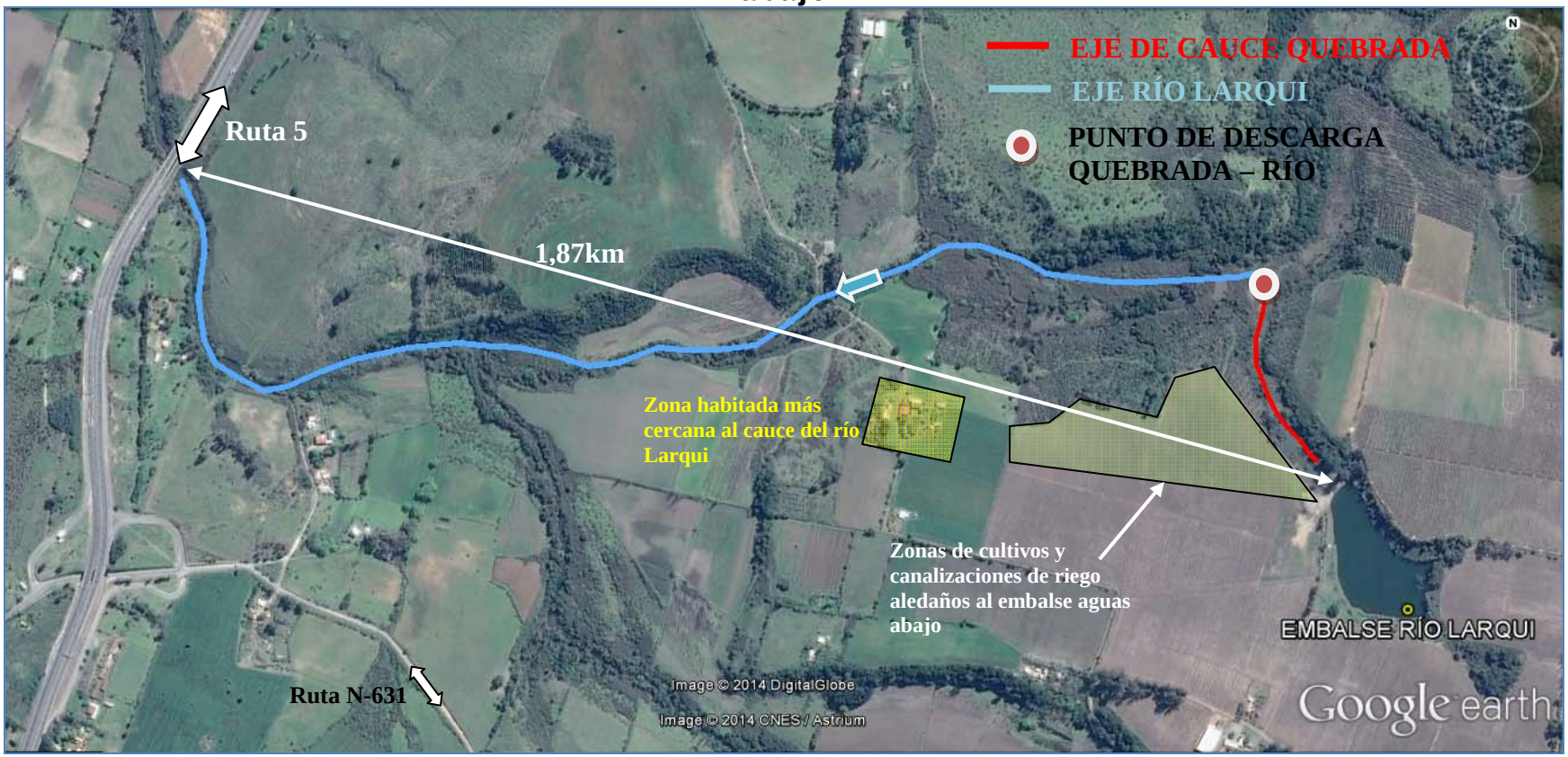
Sin perjuicio de lo anterior, ya en lo que serían las inmediaciones del estero, se observa la presencia de casas (densidad poblacional baja), las que se encuentran a una distancia radial del muro de 600m.

Adicionalmente, cabe dejar establecido que no se observa infraestructura vial o de otro tipo que pudiera verse afectada directamente por el cauce descrito, ante una eventual falla del muro.

Sin embargo, se hace importante notar que el estero, 2km aguas abajo del punto de descarga de la quebrada analizada, pasa por debajo de la ruta 5.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse y su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Río Larqui y zonas aledañas de aguas abajo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Río Larqui:

CUADRO 41-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE RÍO LARQUI

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Río Larqui	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada natural con descarga a río	---
	Tipo de Terreno	Semi-boscoso	---
	Pendiente Media	0,041	m/m
	Ancho medio (1)	23	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce (2)	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce (2)	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia (3)	1,87	km
	Zonas Agrícolas (2)	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

(1) Hace referencia sólo al ancho medio estimado para la quebrada directamente aguas abajo del muro.
(2) Datos en relación con las zonas expuestas por el cauce definido por la quebrada directamente aguas abajo del muro.
(3) Corresponde a la distancia radial entre el muro del embalse y la ruta 5, en el punto en que el río Larqui pasa por debajo de dicha infraestructura.

41.4. Caudales Máximos Instantáneos

No tiene cuenca aportante.

41.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Río Larqui fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Río Larqui	Arena limosa con gravas	28	0,15	1,85	10	29	39	3,5

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.40
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.14
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.11

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.41
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.14

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

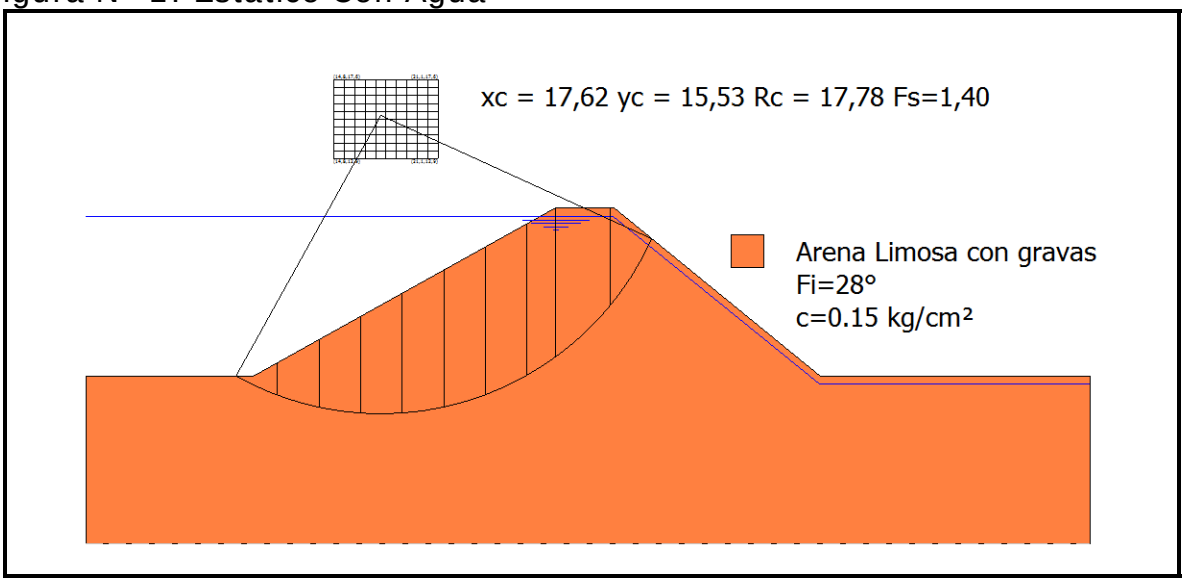


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

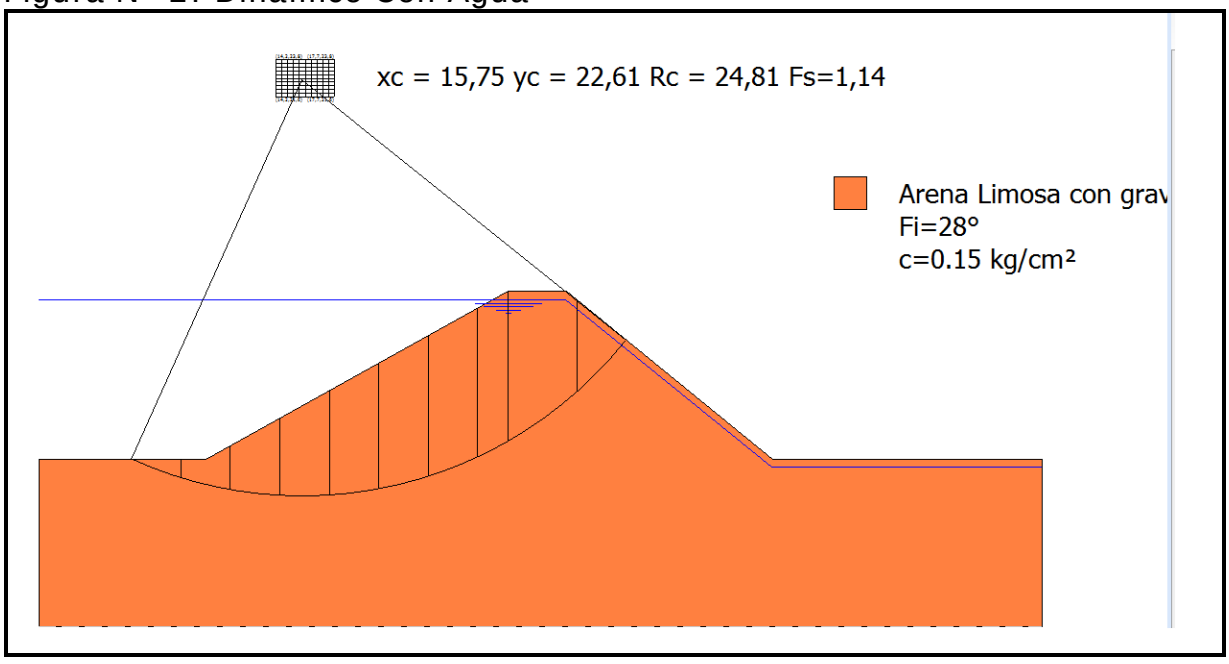
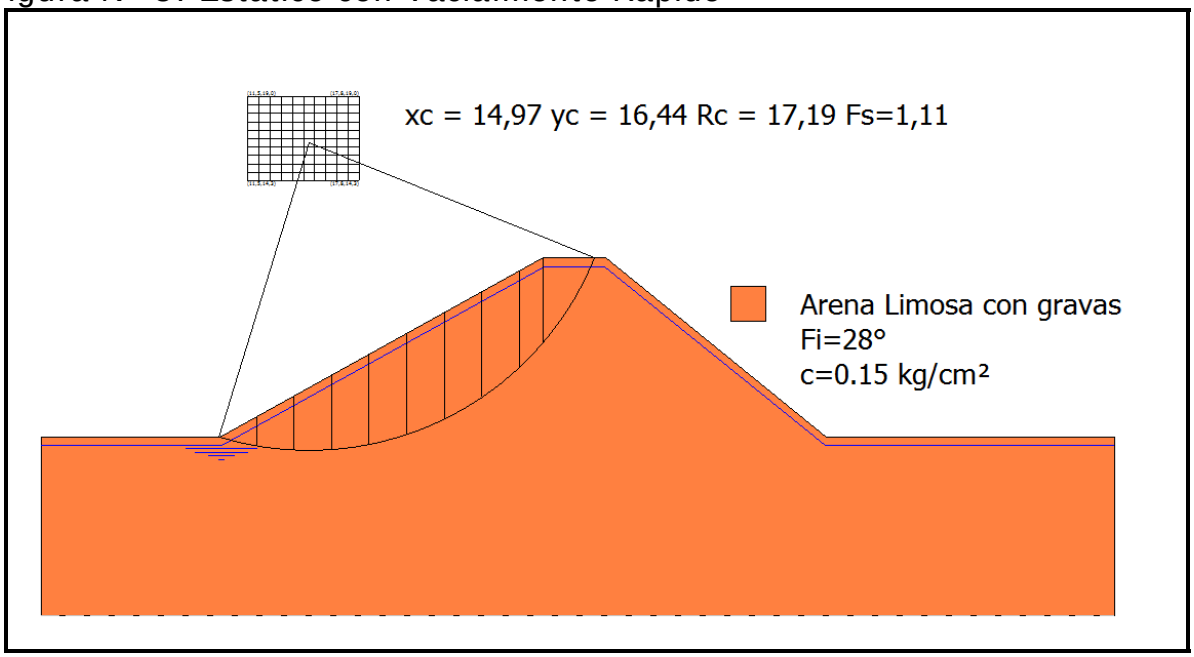


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

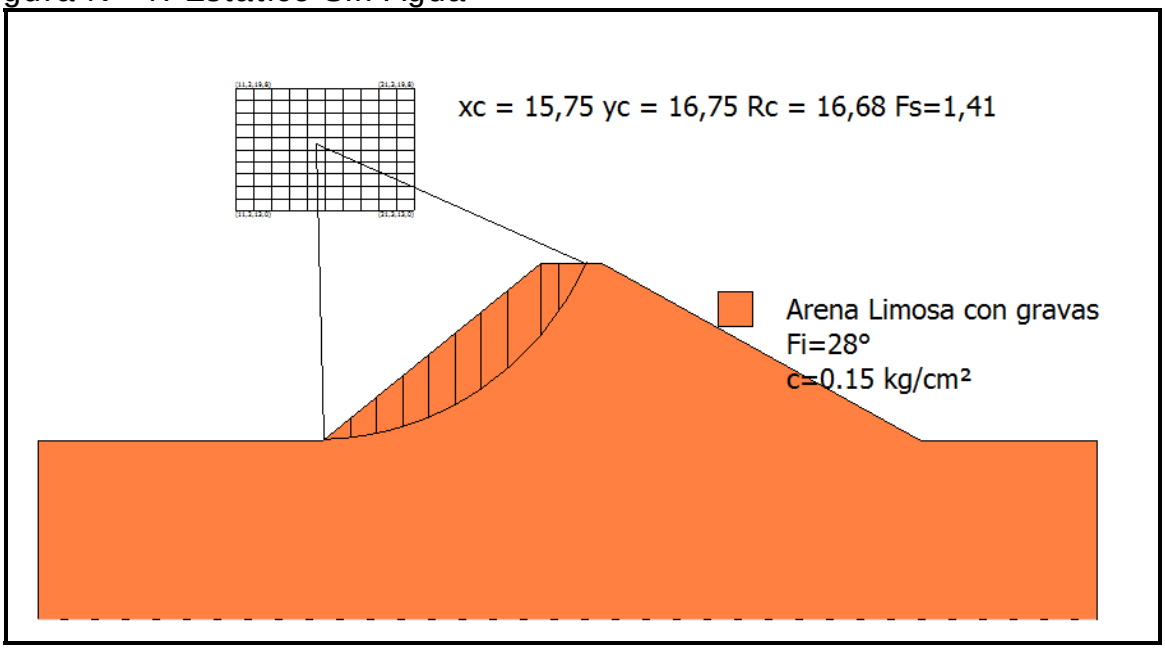
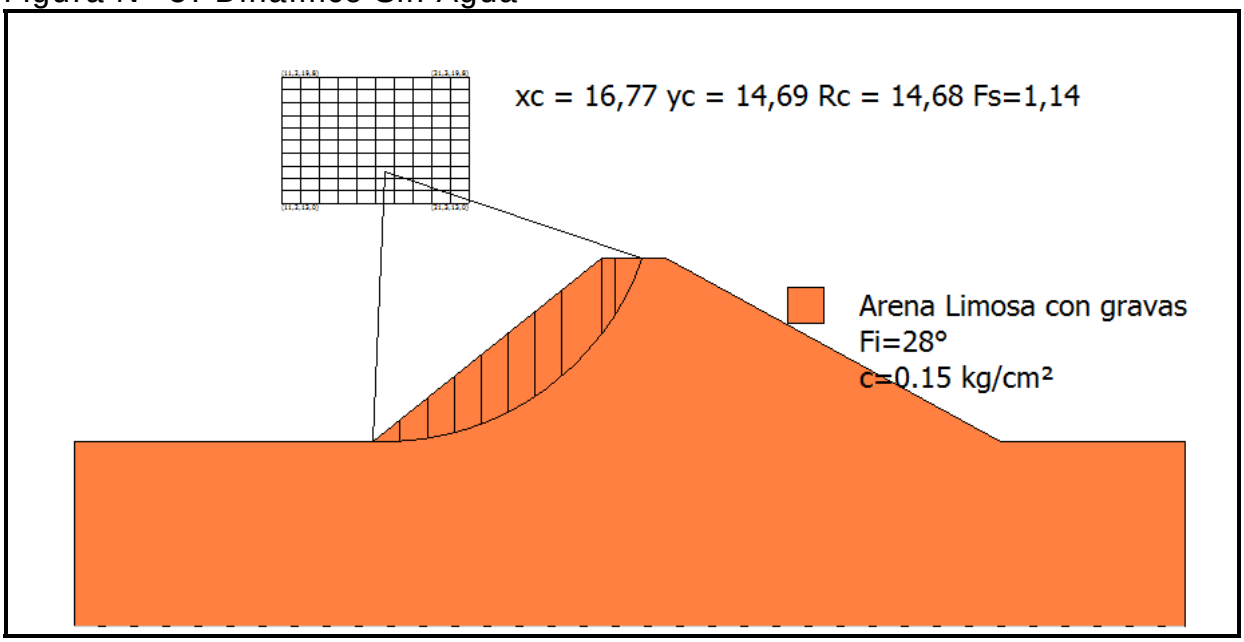


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Río Larqui sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos consistieron en grietas longitudinales tanto en el coronamiento como en el talud de aguas arriba, que comprometían prácticamente toda la longitud del muro.

ii) En el trascurso de la visita se pudo apreciar que el muro aparentemente fue reparado. Se ignoran las características de la reparación efectuada, así como si existe un proyecto para ellas.

iii) Por otra parte se pudo observar que se ha dispuesto un polietileno en el talud de aguas abajo, posiblemente este se utilice como revestimiento para prevenir las cárcavas producidas por las lluvias. El mismo polietileno impidió que pudiera determinarse si existían filtraciones en el talud de aguas abajo, toda vez que el embalse se encontraba lleno.

iv) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

v) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: para los casos estáticos con agua y con vaciamiento rápido, los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: para el caso estático sin agua, el factor de seguridad al deslizamiento resultó menor al mínimo habitualmente aceptado.

vi) Aún cuando el embalse Río Larqui se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente y aprobado por la DGA.

41.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 41-2
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Río Larqui	Arena Limosa	22,5	0	7,5	6	6,3	37,8	Si

41.7. Caudal Máximo en Vertedero

No tiene cuenca aportante.

41.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Río Larqui, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 37,3 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 37,3 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:

Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 37,3 años, o 0,027.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	0,95

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: No dispone de vertedero.

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s (No dispone de vertedero)

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	-	
0,002 (T= 500 años)	-	
0,001 (T= 1.000 años)	-	

Nota: No tiene cuenca aportante.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	E1	Valor adoptado
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	0,5

Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

Nota: No tiene cuenca aportante.

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	0,5

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,027
Probabilidad de Falla por Escorrentía= No posee (No tiene cuenca aportante)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que es el único que tiene una probabilidad asociada.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,027
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,95
Potencialidad de Falla= 0,5

Riesgo Total= 0,027 x 0,95 x 0,5= 1,28 %

42. EMBALSE SANTA ROSA

42.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Santa Rosa.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Santa Rosa	Nº de ficha	37
Propietario	Comunidad Asociada de Parceleros de Santa Rosa	Fecha (dd/mm/año)	17/9/2014; 16:35 hrs.
	Sector Santa Rosa, Comuna		
	de San Carlos		
Año de construcción		Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación		Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081		
Subcuenca / Código DGA	Ñuble Bajo/0811		
Fuente del recurso			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Bío Bío	
Provincia	Ñuble	
Comuna	San Carlos	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 5.958.817	E= 764.468
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 18	
Altitud	141 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	200 m
Ancho del coronamiento	4 a 5 m
Desarrollo del talud aguas abajo	8 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	32 °
Ángulo talud de aguas arriba	vertical

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro	4,00
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	60.800
Ancho máximo de la poza (m)	188
Largo de la poza (m)	545
Volumen declarado o proyectado (m3)	94.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Irregular
Compacidad del material estructural	Media - Alta
Uniformidad de los taludes	poco uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, de 0,3 m en algunos sectores
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no se observan; sí se observan socavones y overtoping
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	no se aprecian
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	sí, en sector central - estribo izquierdo
Tipo de revestimiento del muro	no

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	**("x")**	***Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:***	**("x")**
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			
"x" indica localización y estructura del vertedero			
Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		***Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:***	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Se usa obra de entrega como obra de descarga (compuerta)
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Compuerta en obra de hormigón que entrega a canal de regadío
Mediciones estructurales	ver monografía
Funcionamiento actual	operativo en regular estado

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL

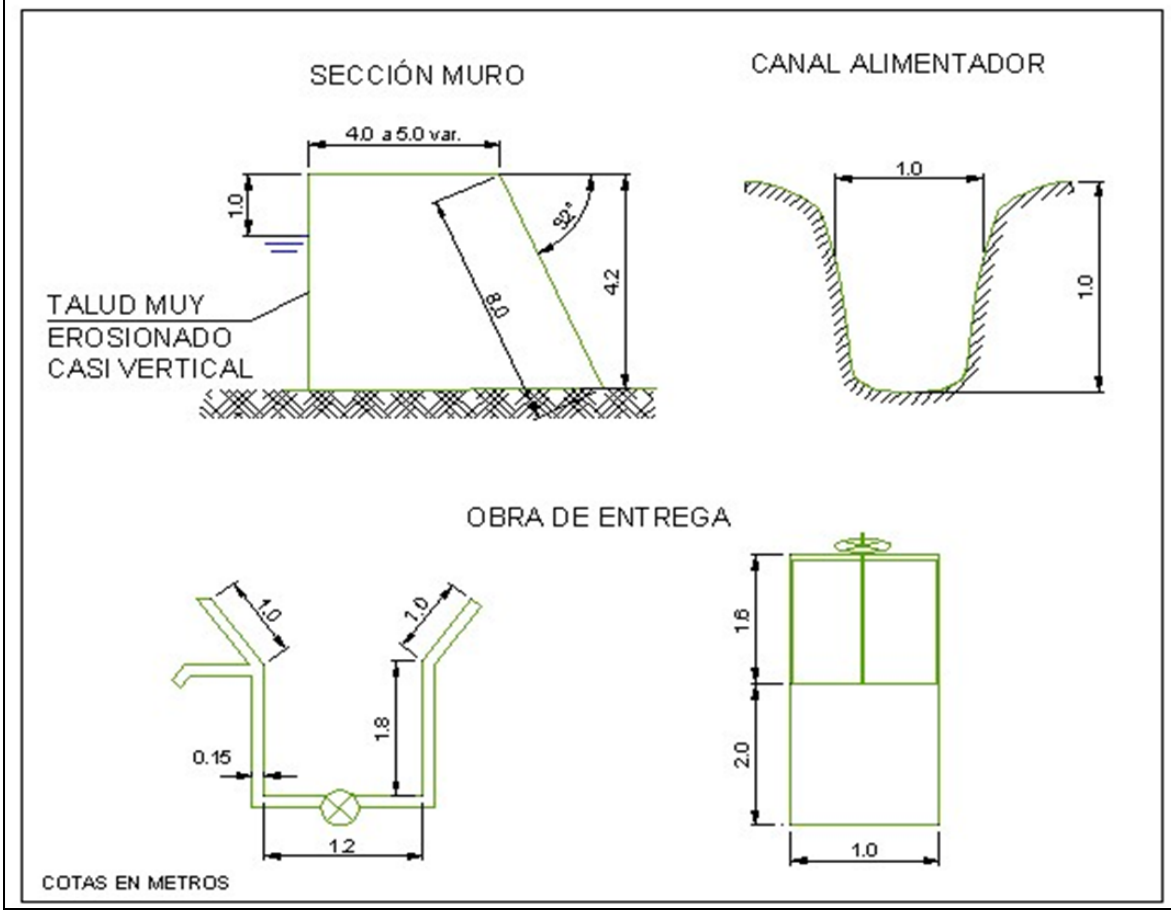
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Valle agrícola habitado en la zona aledaña, i= 0,006
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	aledaños
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	aledaños
Densidad de población en las cercanías del tranque	alta
Distancia hacia zonas agrícolas	aledaños
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	aledaños
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Emblase en malas condiciones, no fue reparado después del terremoto del 2010

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE SANTA ROSA N° 37



EMBALSE SANTA ROSA (37)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

OBRA DE ENTREGA PARA RIEGO

FILTRACIONES

ALIMENTACIÓN DEL EMBALSE A TRAVÉS DE UN CANAL

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

42.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Santa Rosa, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arenas limosas con gravas dispersas, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, permeabilidad media y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arenas limosas con gravas dispersas, de color café. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es media.

El tranque Santa Rosa sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos consistieron en grietas longitudinales en el coronamiento del muro, filtraciones, deslizamientos y erosión de los taludes.

En el trascurso de la visita se pudo apreciar que, si bien las grietas han desaparecido (aparentemente) con los años, el muro no ha tenido reparación alguna. Por lo que aún son observables las deformaciones en el muro y las filtraciones en el talud de aguas abajo (embalse lleno).

Por otra parte se pudo observar que los taludes, tanto aguas arriba como aguas abajo, presentan abundante vegetación, erosión y deformaciones. Precisamente por motivos de la erosión producida por el oleaje del embalse, el talud de aguas arriba presenta una grave erosión, teniendo una inclinación casi vertical.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 260 m; ancho de coronamiento de 4 a 5 m; inclinación talud aguas arriba 90°; altura hasta el nivel de agua 1 m; inclinación talud aguas abajo 32°; altura máxima talud aguas abajo 4.2 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

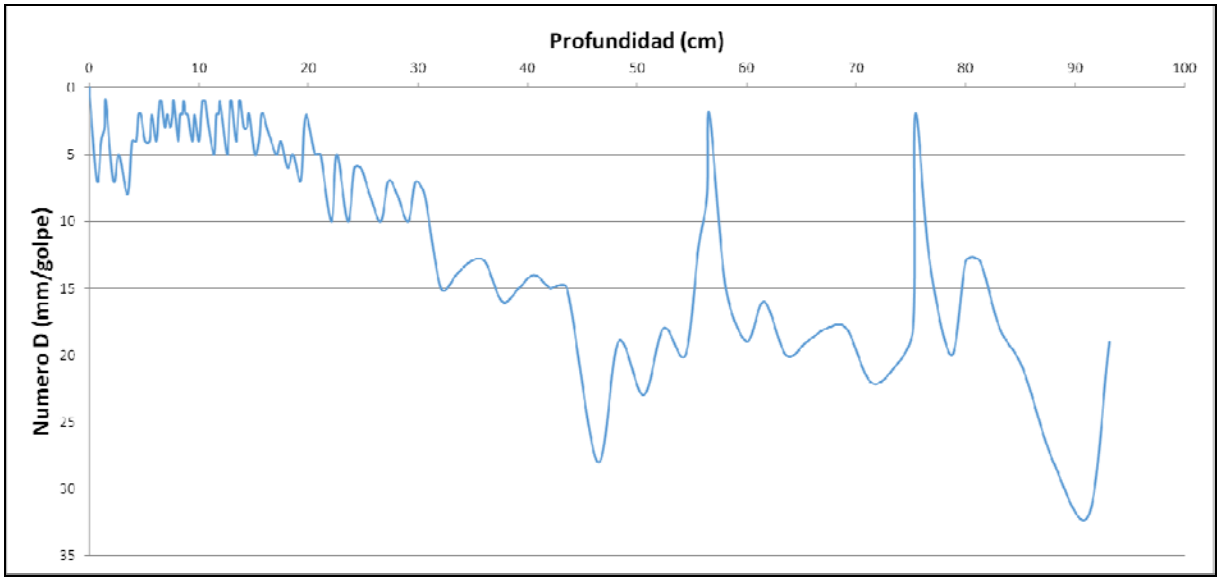
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Santa Rosa

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	0,7	104	111	7	34,3	41	15,3	218	220	2	166,2	81	32,8	385	395	10	21,9
2	1,1	111	115	4	69,4	42	15,5	220	222	2	166,2	82	33,5	395	402	7	34,3
3	1,4	115	118	3	99,7	43	15,6	222	223	1	398,1	83	34,3	402	410	8	29,0
4	1,5	118	119	1	398,1	44	15,8	223	225	2	166,2	84	35,8	410	425	15	13,1
5	2,2	119	126	7	34,3	45	16,3	225	230	5	52,4	85	37,2	425	439	14	14,3
6	2,7	126	131	5	52,4	46	16,5	230	232	2	166,2	86	40,3	439	470	31	5,3
7	3,5	131	139	8	29,0	47	16,6	232	233	1	398,1	87	41,6	452	465	13	15,7
8	3,9	139	143	4	69,4	48	16,7	233	234	1	398,1	88	43,2	465	481	16	12,1
9	4,3	143	147	4	69,4	49	17,1	234	238	4	69,4	89	44,7	481	496	15	13,1
10	4,5	147	149	2	166,2	50	17,3	238	240	2	166,2	90	46,1	496	510	14	14,3
11	4,7	149	151	2	0,0	51	17,4	240	241	1	398,1	91	47,6	510	525	15	13,1
12	8,8	151	192	41	3,7	52	17,5	241	242	1	398,1	92	49,1	525	540	15	13,1
13	9,2	155	159	4	69,4	53	17,8	242	245	3	99,7	93	51,9	540	568	28	6,0
14	9,4	159	161	2	166,2	54	18,1	245	248	3	99,7	94	53,8	568	587	19	9,7
15	9,8	161	165	4	69,4	55	18,3	248	250	2	166,2	95	56,1	587	610	23	7,7
16	10,0	165	167	2	166,2	56	18,8	250	255	5	52,4	96	57,9	610	628	18	10,4
17	10,1	167	168	1	398,1	57	19,2	255	259	4	69,4	97	59,9	628	648	20	9,1
18	10,2	168	169	1	398,1	58	19,4	259	261	2	166,2	98	61,1	648	660	12	17,4
19	10,3	169	170	1	398,1	59	19,6	261	263	2	166,2	99	61,9	660	668	8	29,0
20	10,6	170	173	3	99,7	60	19,9	263	266	3	99,7	100	62,1	668	670	2	166,2
21	10,8	173	175	2	166,2	61	20,3	266	270	4	69,4	101	63,6	670	685	15	13,1
22	11,1	175	178	3	99,7	62	20,8	270	275	5	52,4	102	65,5	685	704	19	9,7
23	11,3	178	180	2	166,2	63	21,2	275	279	4	69,4	103	67,1	704	720	16	12,1
24	11,4	180	181	1	398,1	64	21,8	279	285	6	41,6	104	69,1	720	740	20	9,1
25	11,8	181	185	4	69,4	65	22,3	285	290	5	52,4	105	71,0	740	759	19	9,7
26	12,0	185	187	2	166,2	66	23,0	290	297	7	34,3	106	72,8	759	777	18	10,4
27	12,2	187	189	2	166,2	67	23,3	297	300	3	99,7	107	74,6	777	795	18	10,4
28	12,3	189	190	1	398,1	68	23,5	300	302	2	166,2	108	76,8	795	817	22	8,1
29	12,5	190	192	2	166,2	69	23,8	302	305	3	99,7	109	78,9	817	838	21	8,6
30	12,7	192	194	2	166,2	70	24,3	305	310	5	52,4	110	80,7	838	856	18	10,4
31	13,1	194	198	4	69,4	71	24,8	310	315	5	52,4	111	80,9	47	49	2	166,2
32	13,3	198	200	2	166,2	72	25,8	315	325	10	21,9	112	82,2	49	62	13	15,7
33	13,7	200	204	4	69,4	73	26,3	325	330	5	52,4	113	84,2	62	82	20	9,1
34	13,9	204	206	2	166,2	74	27,3	330	340	10	21,9	114	85,5	82	95	13	15,7
35	14,0	206	207	1	398,1	75	27,9	340	346	6	41,6	115	86,8	95	108	13	15,7
36	14,1	207	208	1	398,1	76	28,5	346	352	6	41,6	116	88,6	108	126	18	10,4
37	14,2	208	209	1	398,1	77	29,3	352	360	8	29,0	117	90,7	126	147	21	8,6
38	14,3	209	210	1	398,1	78	30,3	360	370	10	21,9	118	93,5	147	175	28	6,0
39	14,6	210	213	3	99,7	79	31,0	370	377	7	34,3	119	96,7	175	207	32	5,1
40	15,1	213	218	5	52,4	80	31,8	377	385	8	29,0	120	98,6	7	26	19	9,7

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores entre 0 y 15 mm/golpe hasta los 30 cm de profundidad. Se considera que este bajo número tiene relación con el tráfico vehicular que tiene el muro. Bajo los 30 cm, el número D varía entre 15 y 30 mm/golpe, valor asociado a rellenos de compacidad media a baja.

42.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Santa Rosa se encuentra en la comuna de San Carlos, provincia de Ñuble, región del Biobío, y se llega (de acuerdo a la referencia [4]) saliendo de la ruta 5 por el camino que lleva a la localidad de Santa Rosa (dirección poniente). Luego de un recorrido de aproximadamente 3,2km, en la intersección se debe doblar a la izquierda y continuar en dirección sur por camino de tierra (0,4km).

Este embalse se sitúa en medio de un valle agrícola de relieve plano en todo el terreno próximo que lo circunda, incluida la zona inmediatamente aguas abajo del muro. Con esto, la presencia clara de un cauce que defina una vía preferente de escurrimiento ante una eventual falla del muro, se hace difícil de identificar a ciencia cierta mediante la única inspección de imágenes satelitales.

Lo anterior queda reforzado ante el hecho de que la entrega a los pies del muro se efectúa de manera inmediata a un canal de riego, siendo el único cauce identificable. Sin embargo, esta canalización no tiene porqué representar una vía preferente de escurrimiento luego del colapso del muro.

Ante este escenario, se ha procedido a estimar el curso preferente que tomaría el escurrimiento a partir del muro hacia aguas abajo, uniendo los puntos bajos del terreno para así trazar un eje aproximado del cauce.

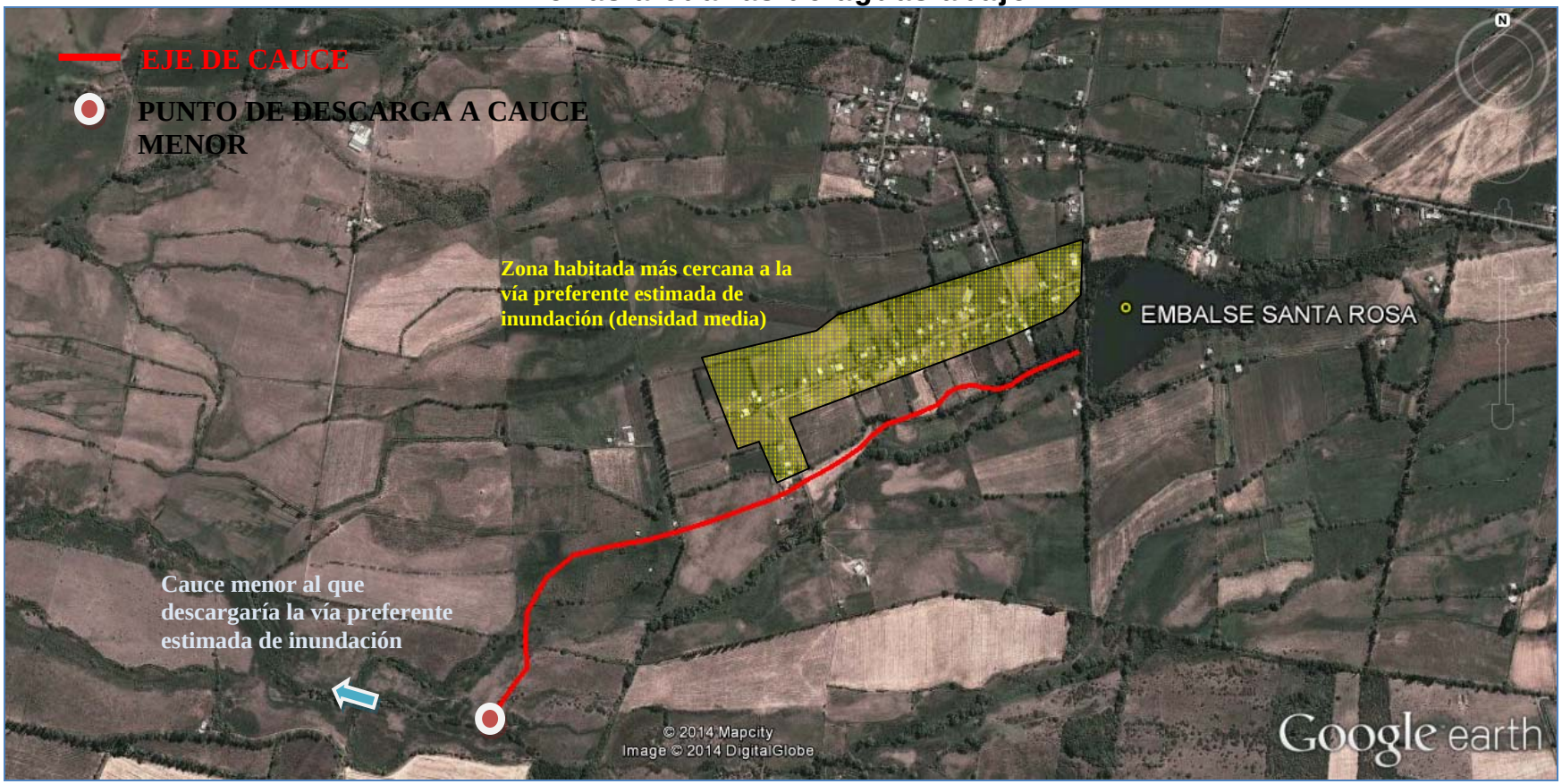
Como resultado, se obtuvo un eje de 1,45km de longitud y pendiente de 5,5 ‰ , cauce que se desarrolla entre los pies del muro y el punto en que el eje trazado intercepta lo que se identifica, a través de la imagen satelital, como un cauce menor.

El área de aguas abajo que cruza el eje, es fundamentalmente agrícola, con sectores aledaños al cauce de densidad poblacional media. Lo anterior implica que el cauce trazado cruza algunos canales de riego menores y caminos rurales interiores (no enrolados).

En relación a la presencia de infraestructura vial o de otro tipo calificada como importante, no se aprecia ninguna de tal categoría en las proximidades del cauce establecido.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse respecto de su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Santa Rosa y zonas aledañas de aguas abajo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Santa Rosa:

CUADRO 42-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE SANTA ROSA

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Santa Rosa	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle agrícola habitado	---
	Tipo de Terreno	Zona de cultivos con densidad baja en cuanto a presencia de especies arbóreas y/o arbustivas / terreno edificado con viviendas / canales menores de riego	---
	Pendiente Media	0,0055	m/m
	Ancho medio	Relativo al tamaño de la falla	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	Aledaños	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	Aledaños	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	Aledaña	---
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Alta	---

42.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculauos con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Santa Rosa	2,778	3,580	162	149	13

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
1,544	1,589	2,335	1,939

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 42-2 siguiente.

CUADRO 42-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
37 Embalse Santa Rosa	**2**	1,56	2,93	2,43	2,19	-	2,19	2,93
	5	2,38	4,29	3,36	3,13	-	3,13	4,29
	10	2,90	5,08	3,86	3,86	-	3,86	5,08
	20	3,42	5,84	4,33	4,85	-	4,85	5,84
	25	3,56	6,07	4,47	5,01	-	5,01	6,07
	50	4,09	6,82	4,91	5,99	-	5,99	6,82
	100	4,58	7,61	5,38	7,15	-	7,15	7,61
	250	5,32	8,75	6,13	8,06	-	8,06	8,75
	500	5,85	9,57	6,64	8,93	-	8,93	9,57
	1000	6,38	10,38	7,15	9,80	-	9,80	10,38

42.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Santa Rosa fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Santa Rosa	Arena limosa con gravas	28	0,15	1,85	4,2	vertical	32	4 a 5

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	0.79
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	0.48
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	0.78

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.45
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.90

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

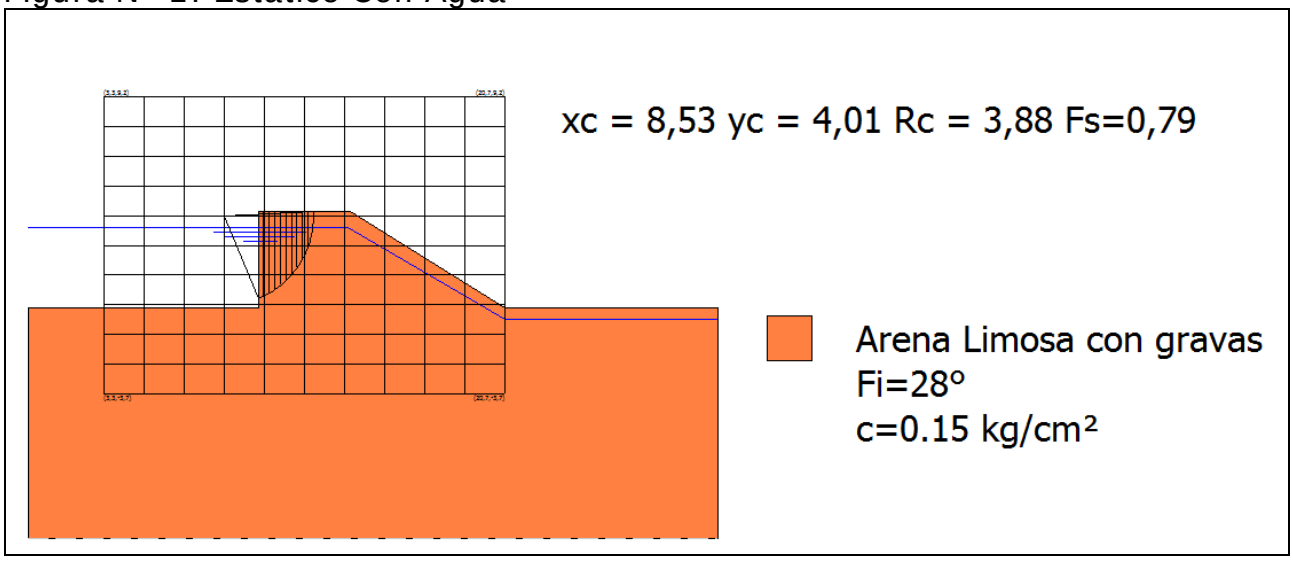


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

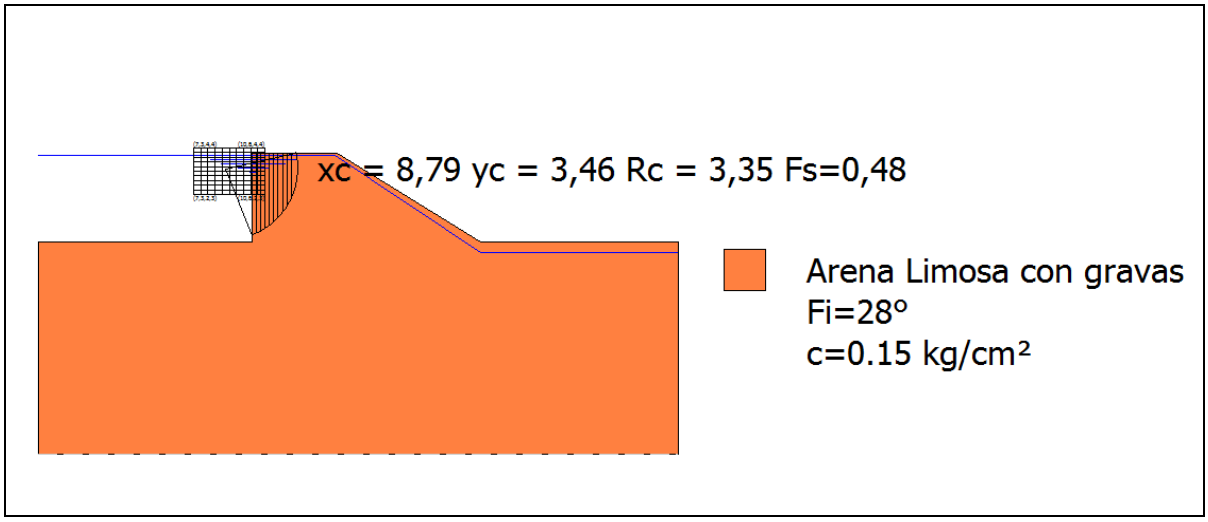
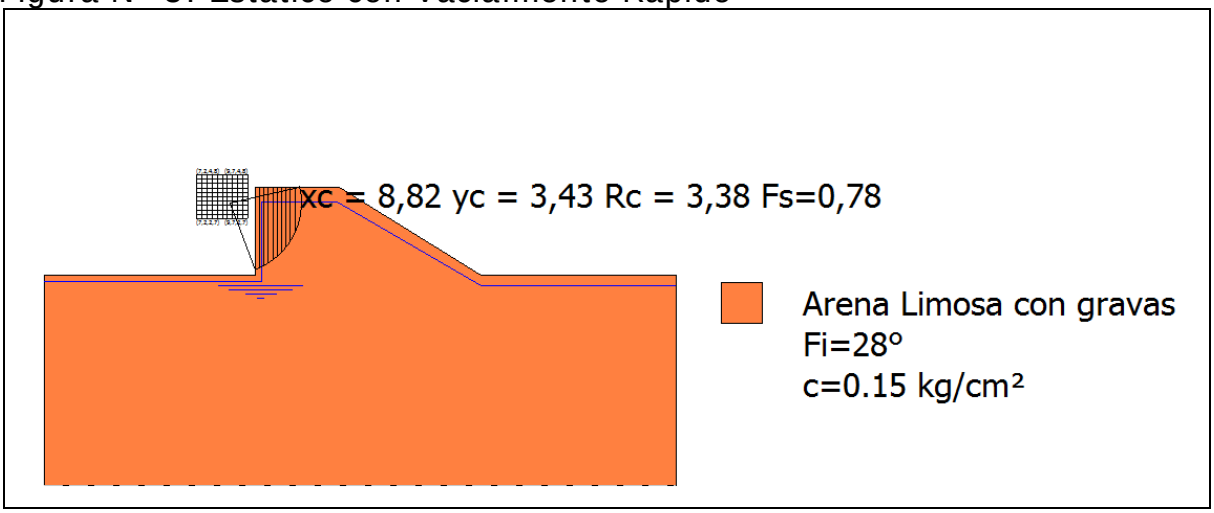


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

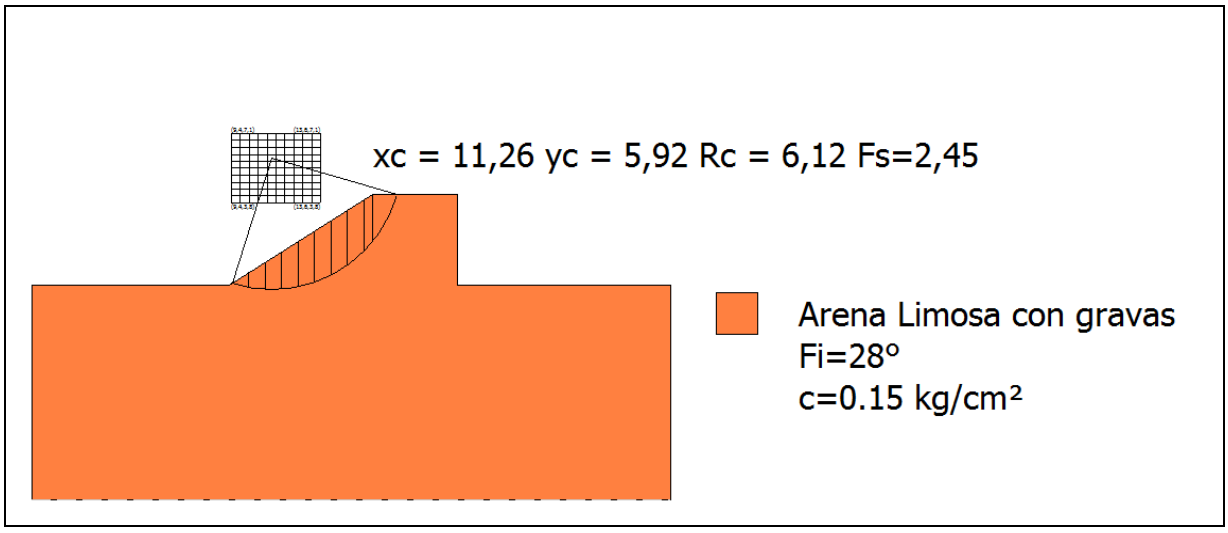
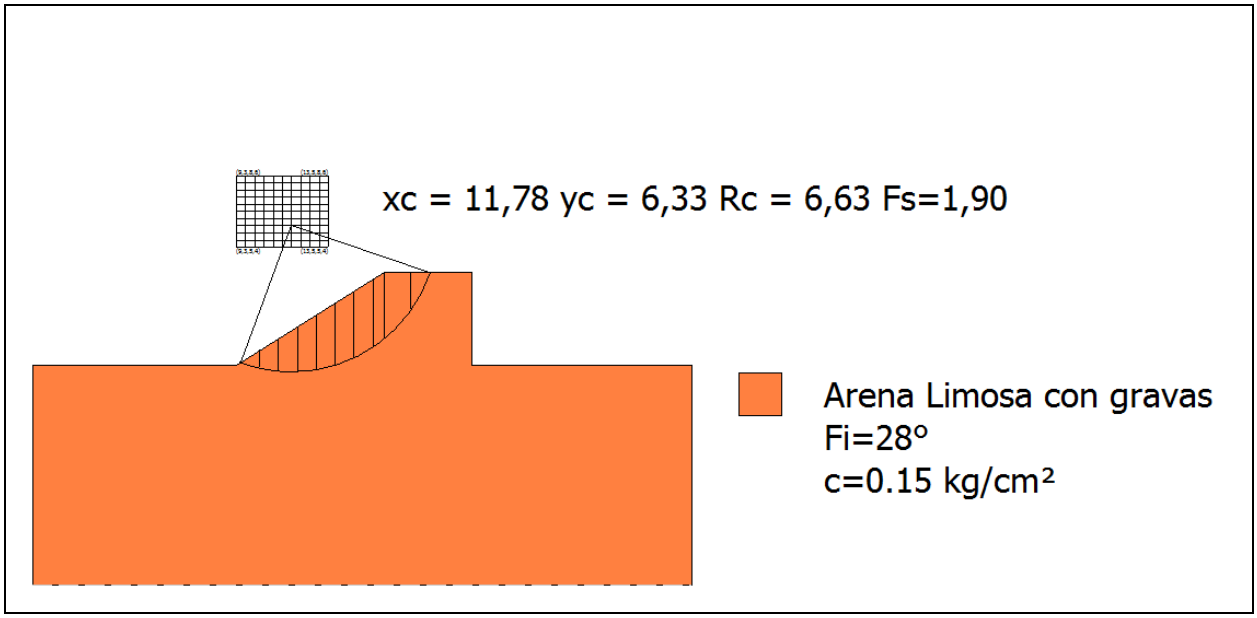


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Santa Rosa sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos consistieron en grietas longitudinales en el coronamiento del muro, filtraciones, deslizamientos y erosión de los taludes.

ii) En el trascurso de la visita se pudo apreciar que, si bien las grietas han desaparecido (aparentemente) con los años, el muro no ha tenido reparación alguna. Por lo que aún son observables las deformaciones en el muro y las filtraciones en el talud de aguas abajo (embalse lleno).

iii) Se pudo observar que los taludes, tanto aguas arriba como aguas abajo, presentan abundante vegetación, erosión y deformaciones.

iv) Motivo de la erosión producida por el oleaje del embalse, el talud de aguas arriba presenta una grave erosión, teniendo una inclinación casi vertical.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: los valores obtenidos son menores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

vii) De lo establecido en los puntos anteriores puede concluirse que la seguridad del embalse Santa Rosa no es adecuada para permitir su uso normal.

viii) Se recomienda restringir el llenado del embalse hasta un nivel del agua equivalente al 50% de la altura máxima del muro, contada hasta la cota del umbral del vertedero, hasta que se efectúen reparaciones que garanticen una seguridad razonable.

ix) Las reparaciones que se efectúen deberán ser las que señale un proyecto desarrollado por un ingeniero civil capacitado. Previo a la materialización de las obras el proyecto deberá ser aprobado por la DGA.

42.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 42-2
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Santa Rosa	Arena Limosa con Gravas	12,0	0	4,0	6	4,2	25,2	Si

42.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 42-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Santa Rosa	Frontal	Usar como vertedero la obra de Entrega		2		1	0,002	0,03				**1,62**

42.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Santa Rosa, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4** **g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**

(sismo intraplaca) **M=** **8,019**

A= **392,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **37,3** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 37,3 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 37,3 años, o 0,027.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	0,85
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	0,8
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor adoptado**
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 1,62 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,56 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 0,91 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	8,06	0,95
0,002 (T= 500 años)	8,93	
0,001 (T= 1.000 años)	9,80	

Como la capacidad efectiva es de 0,91 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,5.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,027
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,5 (T= 2 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,5
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,5 x 0,95 x 1,0= 47,5 %

43. EMBALSE HACIENDA RUCAMANQUI

43.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Hacienda Rucamanqui.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Rucamanqui	Nº de ficha	38
Propietario	Forestal Mininco ; Gerardo de la Maza	Fecha (dd/mm/año)	16/9/2014; 15:25 hrs.
	celular: 98273172;		
	Avenida Alemania N° 751,		
	comuna de Los Ángeles		
Año de construcción	-	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación	2013-2014	Altura del muro > 5 m	si
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081		
Subcuenca / Código DGA	Río Itata Alto (Hasta Rio Diguillín)/0812		
Fuente del recurso			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Bío Bío	
Provincia	Ñuble	
Comuna	Tucapel	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 5.880.176	E= 244.781
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m		

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	410 m
Ancho del coronamiento	4 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	18 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	30°
Ángulo talud de aguas arriba	25°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	9
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	363.500
Ancho máximo de la poza (m)	560
Largo de la poza (m)	830
Volumen declarado o proyectado (m3)	1.000.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	regular, adecuada
Compacidad del material estructural	media a alta
Uniformidad de los taludes	uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	no
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	no
Tipo de revestimiento del muro	con bolones en talud de aguas arriba

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	*Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:*	("x")
Vertederos frontales	x	Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	x
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		*Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:*	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	x
Vertedero de pared gruesa	x	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	funciona como vertedero y como obra de entrega
Material constructivo	hormigón
Estado de conservación y operatividad	operativo, nuevo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	L= 6m; a,6 m de ancho, 3 m de altura

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	idem vertedro; con compuerta enterga a canal de hormigón trapecial
Mediciones estructurales	canal trapecial de losetas, 1,6 m de ancho, 1,5 m de alto, taludes 1:2 (H:V)
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

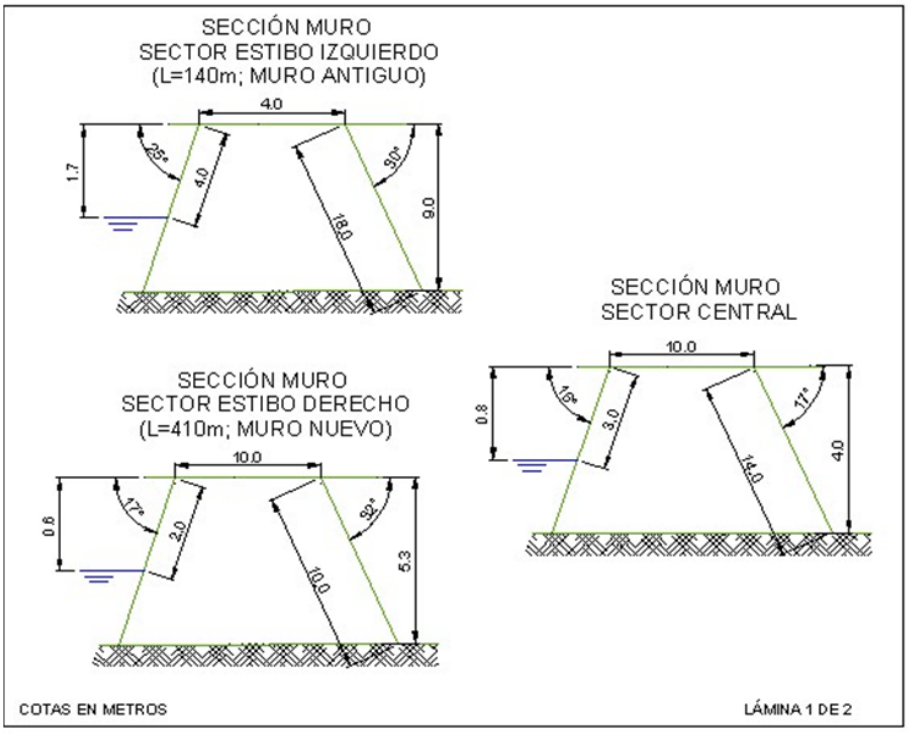
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	quebrada natural, boscosa, i= 0,0187, ancho medio 45 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	no hay
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	no hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	no hay
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	no hay
Área de riego servida por el tranque analizado	sin infoirmación

11. OBSERVACIONES

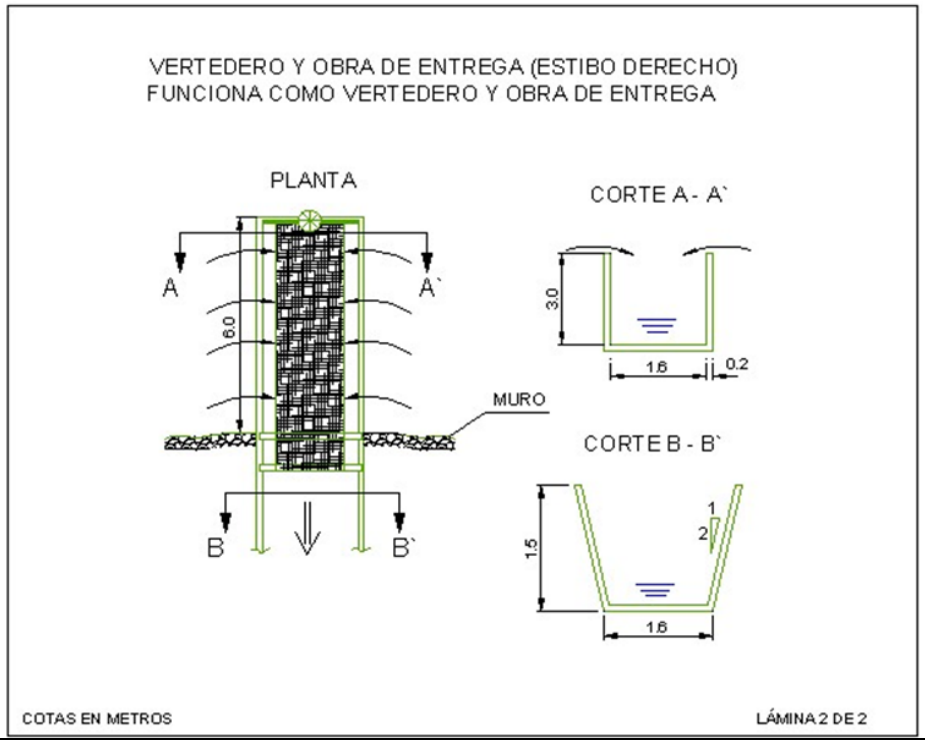
Embalse en buen estado, reparado recientemente

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE RACAMAQUI N° 38



EMBALSE RACAMAQUI N° 38



EMBALSE RUCAMANQUI (38)

TALUD AGUAS ARRIBA EN SECTOR MURO NUEVO

CORONAMIENTO MURO NUEVO

.

OBRA DE CAPTACIÓN Y VERTEDERO

.

OBRA DE CAPTACIÓN Y VERTEDERO
MIRADA HACIA AGUAS ABAJO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

TALUD DE AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO SECTOR ANTIGUO

43.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Hacienda Rucamanqui, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café con algunas gravas dispersas. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, limos arenosos con gravas aisladas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Hacienda Rucamanqui sufrió daños severos debido al terremoto del año 2010, de hecho el sector más alto del muro colapsó produciéndose la rotura del muro con la consecuente salida del agua (el embalse estaba lleno) hacia los terrenos más bajos.

Según informaron personas encargadas del embalse, este se reconstruyó este año, pero con una capacidad menor y con una obra de seguridad de mayor capacidad. Los sectores del muro que no colapsaron fueron reparados mediante la remoción de los primeros tres metros del muro, para su posterior recolocación pero sólo con una altura de 1.5 metros (el embalse reparado es 1.5 metros más bajo que el antiguo).

En el trascurso de la visita se apreció que no había ningún tipo de grieta ni deformación en el muro. Además para el nivel de aguas que existía durante la visita (embalse lleno) no se observaron filtraciones.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 550 m; ancho de coronamiento de 4 m sector antiguo y 10 m sector nuevo; inclinación talud aguas arriba 25°; altura hasta el nivel de agua 1,7 m; inclinación talud aguas abajo 30°; altura máxima talud aguas abajo 9 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR

en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

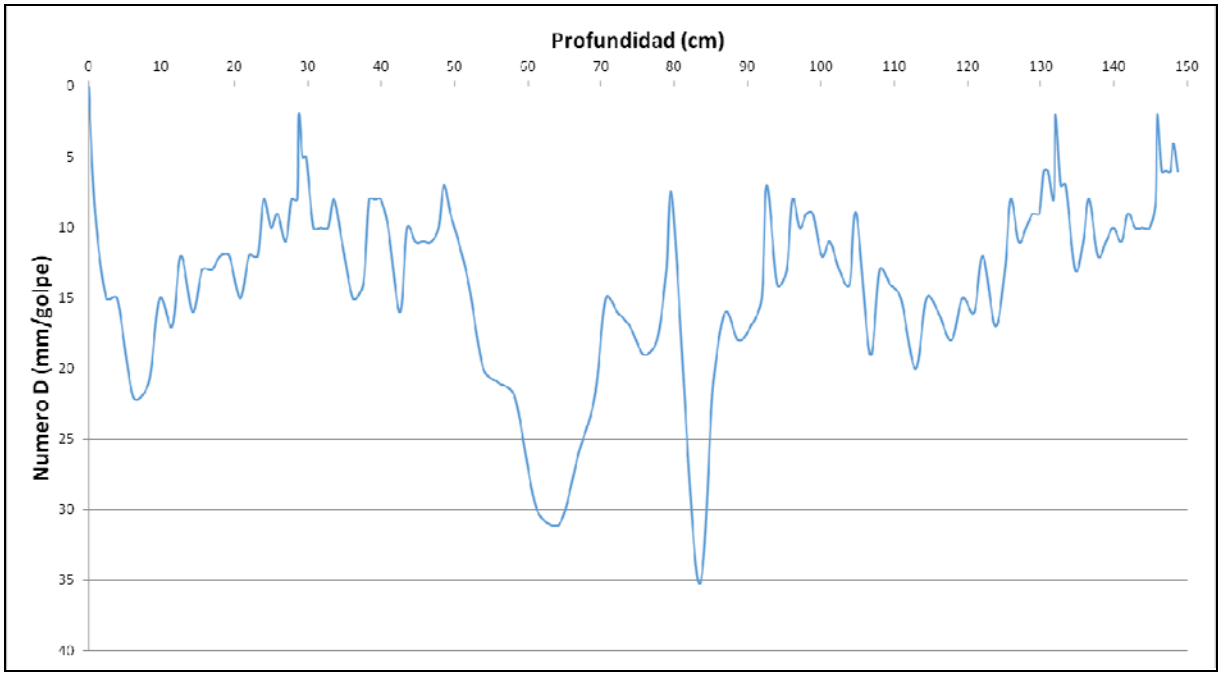
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Hacienda Rucamanqui

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Vel de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Vel de Penetra	CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Final	Vel de Penetra	CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	0,9	103	112	9	25,0	41	46,8	560	571	11	19,4	81	109,4	161	175	14	14,3
2	2,4	112	127	15	13,1	42	47,8	571	581	10	21,9	82	110,9	175	190	15	13,1
3	3,9	127	142	15	13,1	43	48,5	581	588	7	34,3	83	112,9	190	210	20	9,1
4	6,1	142	164	22	8,1	44	49,4	588	597	9	25,0	84	114,4	210	225	15	13,1
5	8,2	164	185	21	8,6	45	50,5	597	608	11	19,4	85	116,0	225	241	16	12,1
6	9,7	185	200	15	13,1	46	51,9	608	622	14	14,3	86	117,8	241	259	18	10,4
7	11,4	200	217	17	11,2	47	53,9	622	642	20	9,1	87	119,3	259	274	15	13,1
8	12,6	217	229	12	17,4	48	56,0	642	663	21	8,6	88	120,9	274	290	16	12,1
9	14,2	229	245	16	12,1	49	58,2	663	685	22	8,1	89	122,1	290	302	12	17,4
10	15,5	245	258	13	15,7	50	61,2	685	715	30	5,5	90	123,8	302	319	17	11,2
11	16,8	258	271	13	15,7	51	64,3	715	746	31	5,3	91	125,1	319	332	13	15,7
12	18,0	271	283	12	17,4	52	66,9	746	772	26	6,6	92	125,9	332	340	8	29,0
13	19,2	283	295	12	17,4	53	69,1	772	794	22	8,1	93	127,0	340	351	11	19,4
14	20,7	295	310	15	13,1	54	70,6	794	809	15	13,1	94	128,0	351	361	10	21,9
15	21,9	310	322	12	17,4	55	72,2	809	825	16	12,1	95	128,9	361	370	9	25,0
16	23,1	322	334	12	17,4	56	73,9	825	842	17	11,2	96	129,8	370	379	9	25,0
17	23,9	334	342	8	29,0	57	75,8	842	861	19	9,7	97	130,4	379	385	6	41,6
18	24,9	342	352	10	21,9	58	77,6	861	879	18	10,4	98	131,0	385	391	6	41,6
19	25,8	352	361	9	25,0	59	78,9	879	892	13	15,7	99	131,8	391	399	8	29,0
20	26,9	361	372	11	19,4	60	79,7	77	85	8	29,0	100	132,0	399	401	2	166,2
21	27,7	372	380	8	29,0	61	83,2	85	120	35	4,5	101	132,7	401	408	7	34,3
22	28,5	380	388	8	29,0	62	85,3	120	141	21	8,6	102	133,4	408	415	7	34,3
23	28,7	388	390	2	166,2	63	86,9	141	157	16	12,1	103	134,7	415	428	13	15,7
24	29,2	390	395	5	52,4	64	88,7	157	175	18	10,4	104	135,8	428	439	11	19,4
25	29,7	395	400	5	52,4	65	90,4	175	192	17	11,2	105	136,6	439	447	8	29,0
26	30,7	400	410	10	21,9	66	91,9	192	207	15	13,1	106	137,8	447	459	12	17,4
27	31,7	410	420	10	21,9	67	92,6	0	7	7	34,3	107	138,9	459	470	11	19,4
28	32,7	420	430	10	21,9	68	94,0	7	21	14	14,3	108	139,9	470	480	10	21,9
29	33,5	430	438	8	29,0	69	95,3	21	34	13	15,7	109	141,0	480	491	11	19,4
30	34,6	438	449	11	19,4	70	96,1	34	42	8	29,0	110	141,9	491	500	9	25,0
31	36,1	449	464	15	13,1	71	97,1	42	52	10	21,9	111	142,9	500	510	10	21,9
32	37,5	464	478	14	14,3	72	98,0	52	61	9	25,0	112	143,9	510	520	10	21,9
33	38,3	478	486	8	29,0	73	98,9	61	70	9	25,0	113	144,9	520	530	10	21,9
34	39,1	486	494	8	29,0	74	100,1	70	82	12	17,4	114	145,7	530	538	8	29,0
35	39,9	494	502	8	29,0	75	101,2	82	93	11	19,4	115	145,9	538	540	2	166,2
36	40,9	502	512	10	21,9	76	102,5	93	106	13	15,7	116	146,5	540	546	6	41,6
37	42,5	512	528	16	12,1	77	103,9	106	120	14	14,3	117	147,1	546	552	6	41,6
38	43,5	528	538	10	21,9	78	104,8	120	129	9	25,0	118	147,7	552	558	6	41,6
39	44,6	538	549	11	19,4	79	106,7	129	148	19	9,7	119	148,1	558	562	4	69,4
40	45,7	549	560	11	19,4	80	108,0	148	161	13	15,7	120	148,7	562	568	6	41,6

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores entre 0 y 25 mm/golpe hasta la profundidad de 50 cm. Esto está relacionado con suelos de consistencia media. Luego de esto hay un aumento de los valores del número D, desde los 50 cm hasta los 90 cm de profundidad, con valores que sobrepasan los 20 mm/golpe. Esto valores son coincidentes con suelos de compacidad media-baja Finalmente cercano a los 90 cm, comienza una nueva disminución de los números D, los cuales son similares a los valores obtenidos del primer segmento del ensayo.

43.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Hacienda Rucamanqui se encuentra en la comuna de Tucapel, provincia del Biobío, VIII Región.

Desde Huépil, se puede llegar al embalse tomando la ruta N-963 hacia el noreste; de acuerdo a la referencia [4], luego de recorrer 2,87km en dirección a la localidad de Niblinto, se debe doblar a la izquierda (dirección norte) hacia la Hacienda Rucamanqui, por camino de tierra y continuar en él hasta llegar a la entrada del fundo, luego de unos 3,64km de recorrido.

El cauce de la vía preferente de evacuación ante un eventual colapso del muro, se encuentra claramente definido a través de la imagen satelital, correspondiendo a una quebrada natural de 0,48km de longitud y pendiente del 1,87%; su trazado se inicia a los pies del embalse, finalizando en su descarga a un cauce transversal mayor, identificable como un estero.

El terreno en que se desarrolla esta quebrada es de tipo boscoso, con alta presencia de especias arbóreas y/o arbustivas, situación que se aprecia constante en su trayecto, incluso aguas debajo de su punto de descarga.

En las zonas aledañas al cauce en estudio, no se observan zonas agrícolas ni habitadas expuestas a los efectos de una inundación dada una eventual falla del muro.

No obstante lo anterior, cabe destacar que aguas abajo del punto de descarga se ubican zonas habitadas de baja densidad poblacional, las que estarían expuestas ante desbordes del estero, por lo que la relación del terreno habitado con el embalse, es indirecta; estas zonas se encuentran a una distancia radial del muro del embalse de 1,37km.

En cuanto al estero que intercepta el cauce, si bien es difícil estimar a priori la magnitud de su efecto amortiguador, se considera que constituye una barrera de protección y de canalización importante frente a un hipotético colapso del embalse.

En cuanto a infraestructura importante en las inmediaciones del cauce de aguas abajo del muro, no se aprecia ninguna que pudiera estar expuesta a los efectos de una eventual falla.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra el entorno de aguas abajo del embalse.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Hacienda Rucamanqui y zonas aledañas de aguas abajo

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Hacienda Rucamanqui:

CUADRO 43-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE HACIENDA RUCAMANQUI

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Hacienda Rucamanqui	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada natural	---
	Tipo de Terreno	Boscoso	---
	Pendiente Media	0,0187	m/m
	Ancho medio	45	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	No hay	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	No hay	---
	Zonas Agrícolas	No hay	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse (*)	Baja	---

(*) Valor referido a la presencia de viviendas en las cercanías del embalse, aunque no necesariamente expuestas de manera directa a los efectos de una hipotética falla del muro.

43.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Hacienda Rucamanqui	15,546	10,106	969	408	561

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
1,201	1,236	3,060	2,131

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 43-2 siguiente.

CUADRO 43-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
38 Embalse Hacienda Rucamanqui	**2**	8,54	13,10	11,21	11,19	8,93	11,01	13,10
	5	11,95	19,20	15,52	14,97	12,18	15,69	19,20
	10	14,23	22,72	17,81	17,81	14,29	18,51	22,72
	20	16,36	26,15	19,98	21,95	16,25	21,20	26,15
	25	17,07	27,15	20,64	22,56	16,70	21,93	27,15
	50	19,20	30,50	22,67	26,38	18,69	24,60	30,50
	100	21,34	34,08	24,84	31,16	20,58	27,33	34,08
	250	24,47	39,17	28,31	34,79	23,48	31,33	39,17
	500	26,72	42,81	30,66	38,29	25,52	34,16	42,81
	1000	28,97	46,44	33,01	41,79	27,55	37,00	46,44

43.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Hacienda Rucamanqui fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Hacienda Rucamanqui	Limo arenoso con gravas	28	0,10	1,80	9	25	30	4 y 10

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.69
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.38
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.78

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.56
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.28

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

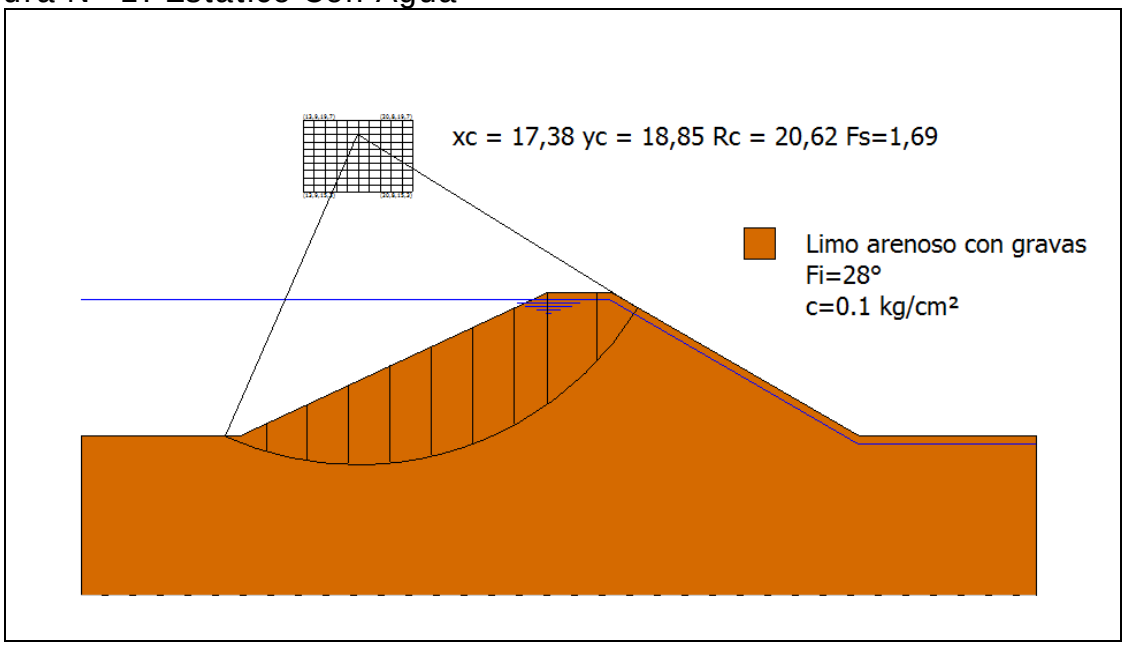


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

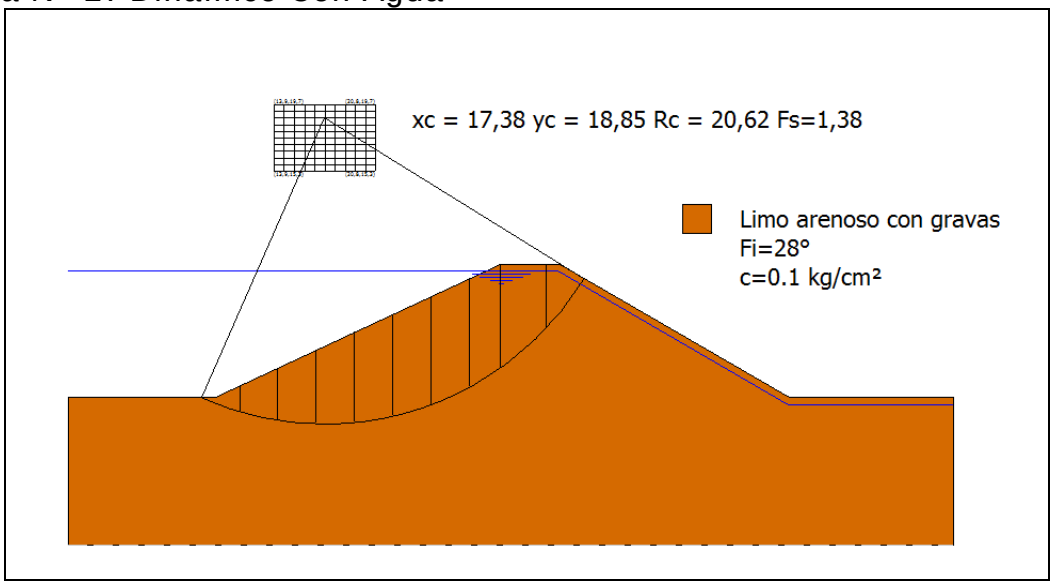
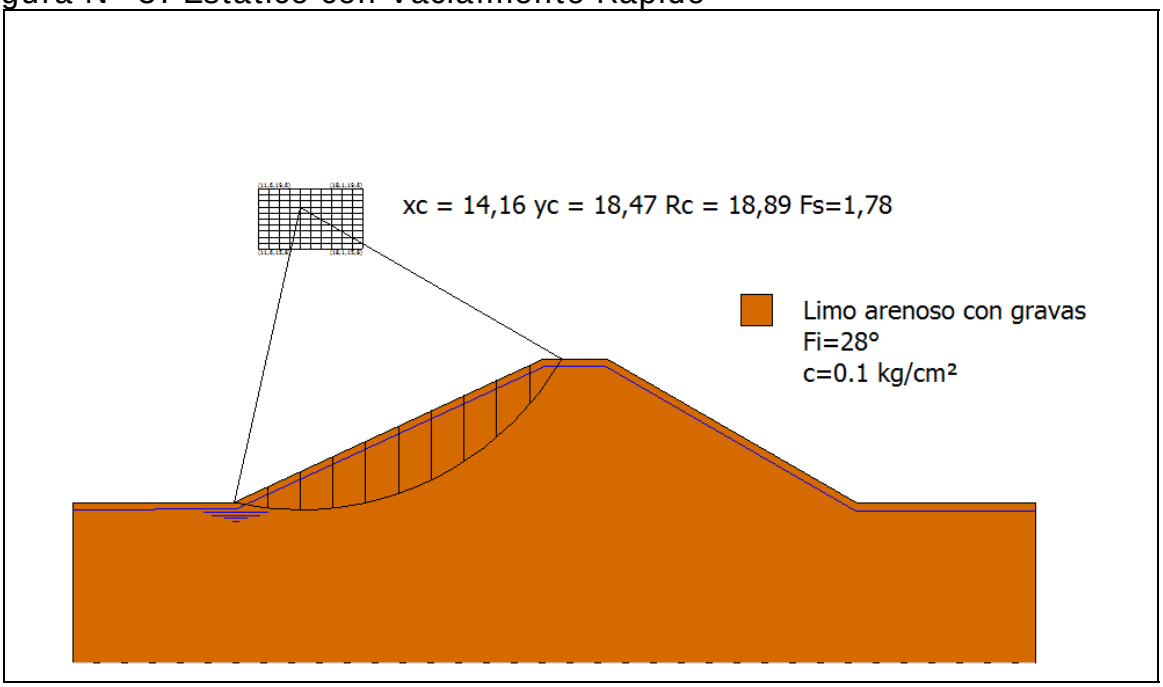


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

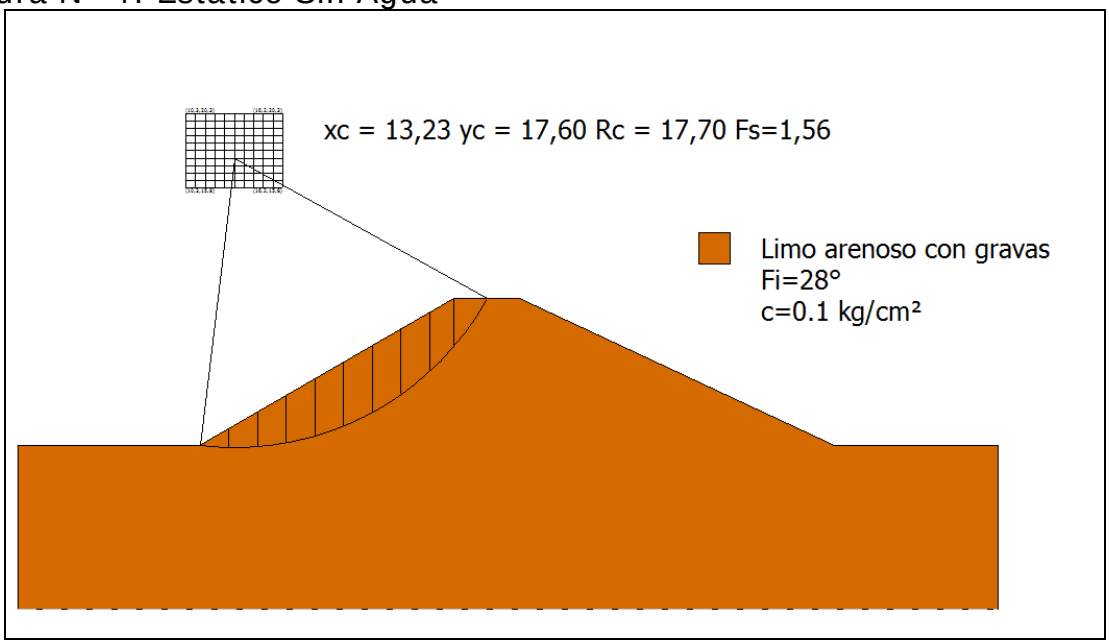
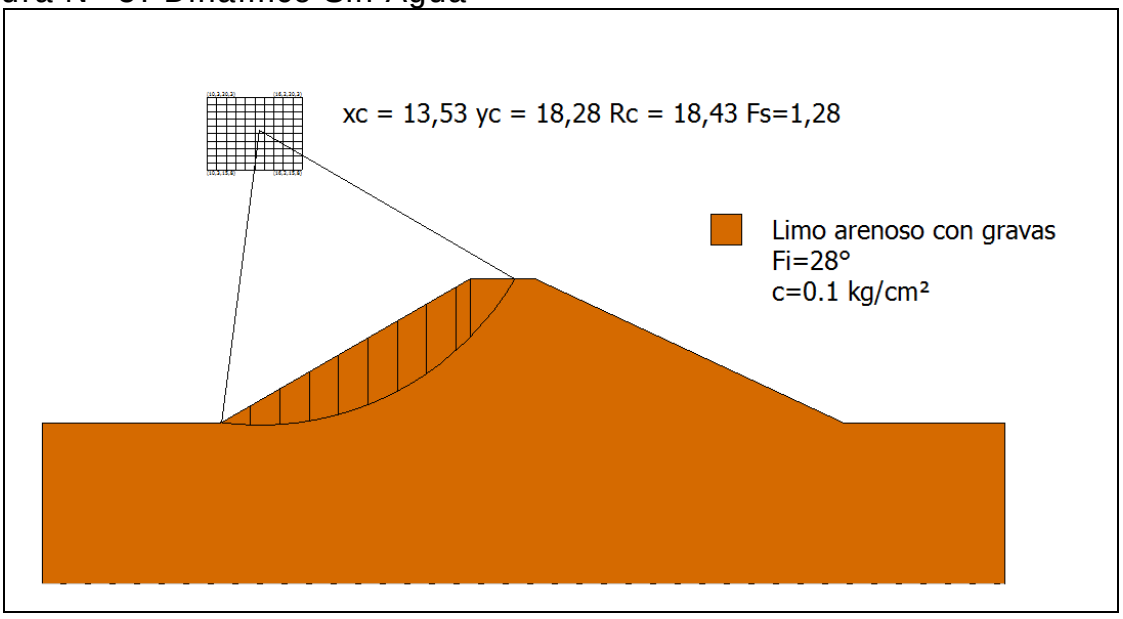


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Hacienda Rucamanqui sufrió daños severos debido al terremoto del año 2010, de hecho el sector más alto del muro colapsó produciéndose la rotura del muro con la consecuente salida del agua (el embalse estaba lleno) hacia los terrenos más bajos.

ii) Según informaron personas encargadas del embalse, este se reconstruyó este año, pero con una capacidad menor y con una obra de seguridad de mayor capacidad.

iii) Los sectores del muro que no colapsaron fueron reparados mediante la remoción de los primeros tres metros del muro, para su posterior recolocación pero sólo con una altura de 1.5 metros (el embalse reparado es 1.5 metros más bajo que el antiguo).

iv) En el trascurso de la visita se apreció que no había ningún tipo de grieta ni deformación en el muro. Además para el nivel de aguas que existía durante la visita (embalse lleno) no se observaron filtraciones.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Aún cuando el embalse Hacienda Rucamanqui se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente. El proyecto deberá contar con la aprobación de la DGA.

43.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 43-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Hacienda Rucamanqui	Limos Arenosos	45,0	0	15,0	6	9,0	54,0	Si

43.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 43-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**	
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**	
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**	
Hacienda Rucamanqui	Lateral	Pared delgada; doble descarga	6	0,8					3	0,42		**8,0**	16

Nota: el caudal es el doble pues descarga por es un vertedero doble

43.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Hacienda Rucamanqui, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,3** **g** es decir, **294,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R=** **150** **km**
(sismo intraplaca) **M=** **7,796**

A= **294,02**

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= **26,0** **años**

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 7,796 que se asocia a una aceleración de 294,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 26,0 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 26 años, o 0,038.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	1
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	**C3**	**Valor adoptado**
Canal revestido en hormigón	1	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 16,0 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 1 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 16,0 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	**Vulnerabilidad**
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	**Crecida Pluvial (m^3/s)**	**Vulnerabilidad**
0,004 (T= 250 años)	31,33	0,95
0,002 (T= 500 años)	34,16	
0,001 (T= 1.000 años)	37,00	

Como la capacidad efectiva es de 8,0 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 14,1 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,0711.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,038
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,0711 (T= 14,1 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,0711
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,95
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,0711 x 0,95 x 1,0= 6,75 %

44. EMBALSE LAS LAGUNAS

44.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Las Lagunas.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES
EMBALSE DESTRUIDO

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Tranque Las Lagunas		Nº de ficha	39
Propietario	Forestal Arauco		Fecha (dd/mm/año)	16/9/2014; 11:20 hrs.
	Calle Los Canelos 71, San Pedro			
	de La Paz, Concepción			
Año de construcción	-		Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
			Capacidad > 50.000 m3	
			Altura del muro > 5 m	
Cuenca / Código DGA	Río Bio-Bío/083			
Subcuenca / Código DGA	Río Bio-Bío entre Río Ranquil y Río Duqueco/0831			
Fuente del recurso				

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Bío Bío	
Provincia	Bío Bío	
Comuna	Quilaco	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 5.812.459	E= 249.687
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 19	
Altitud m.s.n.m	416	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

MURO DEL EMBALSE DESTRUIDO

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento (m)	
Ancho del coronamiento (m)	
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	
Paramentos verticales	
Ángulo talud de aguas abajo	
Ángulo talud de aguas arriba	

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	
Área estimada o calculada de la poza (m2)	32.100
Ancho máximo de la poza (m)	187
Largo de la poza (m)	180
Volumen declarado o proyectado (m3)	

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción	

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	**MURO DEL EMBALSE DESTRUIDO**
Compacidad del material estructural	
Uniformidad de los taludes	
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	
Grietas visibles y su ubicación	
Indicios de deslizamientos y ubicación	
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	
Tipo de revestimiento del muro	

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	*Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:*	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		*Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:*	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	quebrada natural, i= 0,0363, ancho medio 15 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1,35 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	no hay
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	no hay
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	no hay
Área de riego servida por el tranque analizado	embalse abandonado

11. OBSERVACIONES

MURO DEL EMBALSE DESTRUIDO POR UNA CRECIDA QUE HUBO EN EL INVIERNO DEL AÑO 2010, POSTERIOR AL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010

EMBALSE ABANDONADO, AL PARECER NUNCA SE REPARÓ DESPUÉS DEL TERREMOTO

EMBALSE LAS LAGUNAS (39)

MURO DESTRUIDO POR UNA CRECIDA OCURRIDA EN EL AÑO 2010, DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010

MURO DESTRUIDO MIRADO DESDE AGUAS ARRIBA

SECTOR ESTRIBO IZQUIERDO DEL MURO DESTRUIDO

44.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Las Lagunas, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arcillas arenosas, de color café con algunas gravas aisladas. Son suelos de plasticidad media a baja, baja permeabilidad y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arcillas arenosas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Las Lagunas sufrió daños severos debido al terremoto del año 2010 quedando con importantes grietas y deslizamientos en ambos taludes. Según informó un vecino del sector, durante la primera crecida importante del año 2010, al llenarse el embalse, se produjo la rotura del muro. Este, a la fecha, sigue destruido, no habiendo información de la existencia de intenciones de reconstruirlo.

El ensayo con Penetrómetro no se efectuó debido a que el muro estaba destruido.

44.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse o tranque Las Lagunas se encuentra en la comuna de Quilaco, provincia del Biobío, VIII Región.

De acuerdo a la referencia [4], se puede llegar al tranque partiendo desde Mulchén, tomando la ruta Q-75 hasta llegar a la localidad de Rucalhue. A partir de este lugar se continúa por dicha ruta hasta una bifurcación vial en la cual se debe tomar el camino derecho en dirección a Santa Adriana (ruta Q-781). Al llegar a la intersección con camino no enrolado (referencia [7]), doblar a la izquierda y continuar por dicho camino hasta llegar a un portón metálico rojo, que da acceso al fundo en que se ubica el tranque.

Al inspeccionar la imagen satelital, se aprecia que la vía preferente de escurrimiento viene dada por el cauce al cual se conecta el evacuador de

crecidas del embalse en su parte norte, cauce que corresponde a una quebrada natural de tipo boscosa (alta densidad), la que se desarrolla en dirección sur-norte desde la descarga del evacuador, hasta que la quebrada vierte a un estero desarrollado en dirección oriente-poniente.

La longitud total del cauce en estudio se estima de 1,35km, con una pendiente media de 3,63%.

La presencia de zonas habitadas expuestas al cauce aguas abajo del tranque se encuentra sólo al otro lado de la descarga al estero mencionado (es decir, en la ribera opuesta a la descarga), no habiendo en ninguna otra zona habitada en las inmediaciones de la quebrada.

Es importante señalar que, si bien es difícil estimar a priori la capacidad amortiguadora del lecho al cual evacúa la quebrada, se considera que constituye una barrera de protección y de canalización importante frente a un hipotético colapso del tranque. Además, la alta densidad forestal de la quebrada es un factor disipador importante de energía ante un eventual vaciamiento rápido del tranque, lo que también contribuye a la protección de las zonas habitadas en las cercanías de la descarga al estero.

En referencia a zonas agrícolas eventualmente expuestas a una inundación por la falla del muro, no se observan en las cercanías; lo mismo sucede en cuanto a infraestructura vial o de otro tipo clasificada como importante.

Es importante destacar que el muro del embalse se encuentra actualmente (2014) destruido.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del tranque y de su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Tranque Las Lagunas y zonas aledañas de aguas abajo

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del tranque Las Lagunas:

CUADRO 44-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – TRANQUE LAS LAGUNAS

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Las Lagunas	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada natural	---
	Tipo de Terreno	Boscoso de alta densidad	---
	Pendiente Media	0,0363	m/m
	Ancho medio	15	m
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce (*)	1,35	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	No hay	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	No hay	---
	Zonas Agrícolas	No hay	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse (*)	Baja	---

(*) Hace referencia a la zona habitada en las cercanías de la ribera opuesta al punto en que la quebrada descarga al estero.

44.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Embalse Las Lagunas	0,582	1,551	548	420	128

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
39	0,244	0,268	0,706

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 26-2 siguiente.

CUADRO 44-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial) (m^3/s)	V-K MOD (m^3/s)	RAC. MOD. (m^3/s)	RACIONAL (m^3/s)	HUS (m^3/s)	ADOPTADO (m^3/s)	MAX (m^3/s)
39 Embalse Las Lagunas	**2**	0,33	0,72	1,26	1,18	-	1,18	1,26
	5	0,47	1,03	1,72	1,68	-	1,68	1,72
	10	0,56	1,21	1,95	2,06	-	2,06	2,06
	20	0,64	1,38	2,18	2,57	-	2,57	2,57
	25	0,67	1,43	2,24	2,67	-	2,67	2,67
	50	0,75	1,59	2,45	3,17	-	3,17	3,17
	100	0,84	1,77	2,67	3,80	-	3,80	3,80
	250	0,96	2,03	3,03	4,27	-	4,27	4,27
	500	1,05	2,21	3,28	4,73	-	4,73	4,73
	1000	1,14	2,39	3,52	5,19	-	5,19	5,19

44.5. Análisis de Estabilidad

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Las Lagunas sufrió daños severos debido al terremoto del año 2010 quedando con importantes grietas y deslizamientos en ambos taludes.

ii) Según informó un vecino del sector, durante la primera crecida importante del año 2010, al llenarse el embalse, se produjo la rotura del muro. Este, a la fecha, sigue destruido, no habiendo información de la existencia de intenciones de reconstruirlo.

44.6. Filtraciones

No se realizaron los cálculos debido a que el muro se encuentra destruido.

44.7. Análisis de Riesgos

No se ha realizado análisis de riesgo debido a que el embalse se encuentra con el muro destruido.

45. EMBALSE LAS NIEVES

45.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Las Nieves.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Las Nieves	Nº de ficha	40
Propietario	Virginia Zañartu Errázuriz	Fecha (dd/mm/año)	17/9/2014; 15:10 HRS.
	Sector Los Robles, comuna de Bulnes		
Año de construcción	-	Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO	Capacidad > 50.000 m3	SI
Año de reparación		Altura del muro > 5 m	SI
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081		
Subcuenca / Código DGA	Itata Medio/0813		
Fuente del recurso			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Bío Bío	
Provincia	Ñuble	
Comuna	Bulnes	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 5.919.727	E= 750.487
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 18	
Altitud m.s.n.m	134	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	Agua Animales

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	120 m
Ancho del coronamiento	5 m
Desarrollo del talud aguas abajo	13 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	20°
Ángulo talud de aguas arriba	no medible

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	4,50
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	47.000
Ancho máximo de la poza (m)	172
Largo de la poza (m)	411
Volumen declarado o proyectado	105.750

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	no es regular
Compacidad del material estructural	media
Uniformidad de los taludes	no son uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, de 0,5 m
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	no se observan
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	no se observan, mucha vegetación
Tipo de revestimiento del muro	no

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	no es regular
Compacidad del material estructural	media
Uniformidad de los taludes	no son uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	sí, de 0,5 m
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	no se observan
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	no se observan, mucha vegetación
Tipo de revestimiento del muro	no

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	*Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:*	("x")
Vertederos frontales	x	Vertederos libres, sin control	x
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		*Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:*	x
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa	x	Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	de hormigón en malas condicones; se puede regular con tablones, abundante vegetación
Material constructivo	hormigón
Estado de conservación y operatividad	operativo en malas condiciones
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	L= 6 m; 1 m de carga

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	compuerta en muy mal estado, descarga en cajón de hormigón por debajo del muro;
Mediciones estructurales	cajón de hormigón de 1 m x 0,7 m de sección
Funcionamiento actual	operativo

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

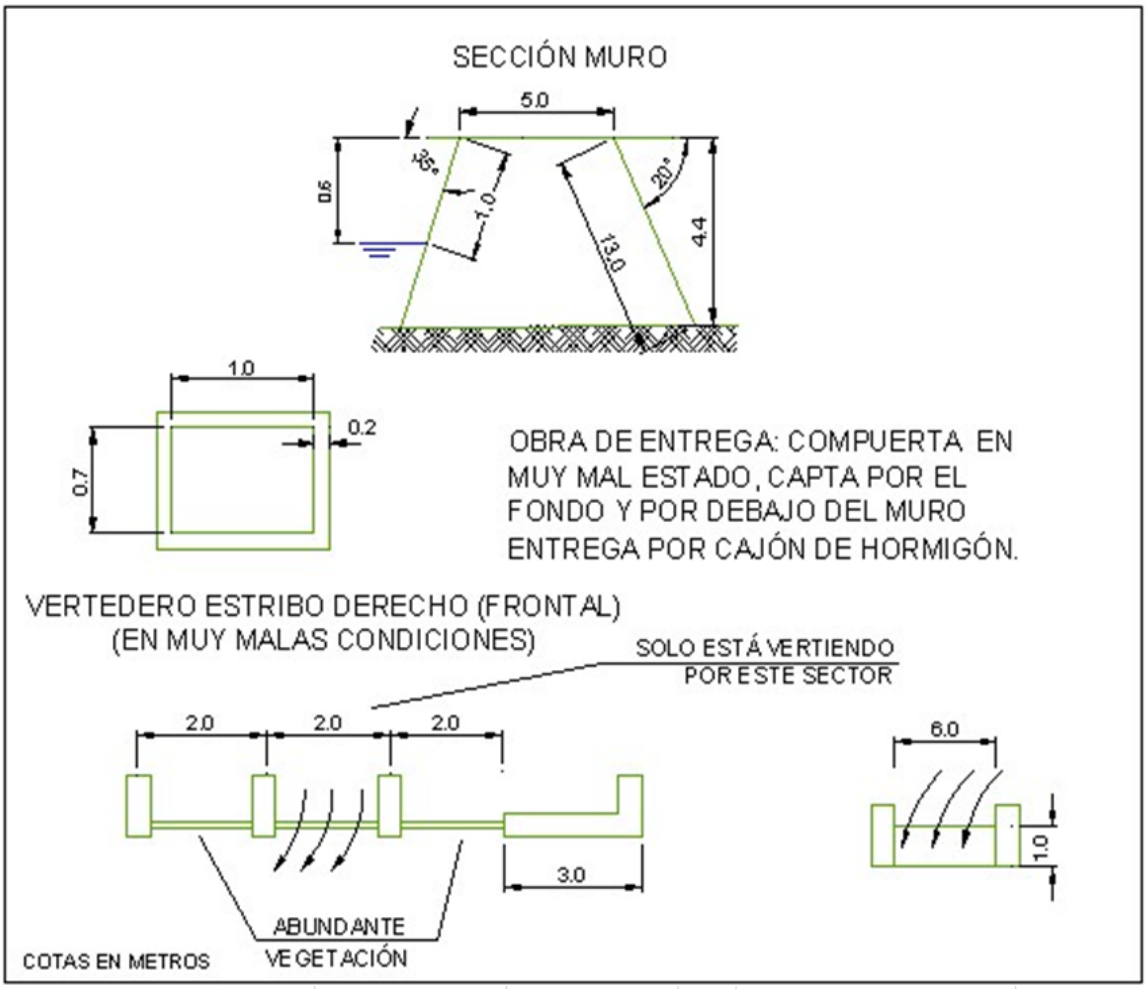
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	estero con terreno vegetal, i= 0,004, variable de entre 10 y 50 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	2 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,24 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	media
Distancia hacia zonas agrícolas	aledaña
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	3,4 km
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse en malas condiciones, no reparado después del terremoto del 2010

12.MONOGRAFÍAS

EMBALSE LAS NIEVES N° 40



EMBALSE LAS NIEVES (40)

TALUD AGUAS ARRIBA

TALUD AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

VERTEDERO

OBRA DE ENTREGA EN SECTOR DEL EMBALSE

OBRA DE ENTREGA AL PIE DEL MURO DE AGUAS ABAJO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

45.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Las Nieves, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arenosos, de color café claro. Son suelos de plasticidad media a baja, permeabilidad media a baja y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, limos arenosos. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a baja, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es media a baja.

El tranque Las Nieves sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos daños consistieron en grietas longitudinales en el coronamiento y deformaciones en los taludes. Según informó un vecino del sector, en el mismo año 2014 se efectuaron reparaciones bastante precarias colocando suelo en las grietas para después compactar con “pata pata”.

En el trascurso de la visita se apreció que aunque no se observan grietas, el muro si presenta sus taludes deformados. Es más, el nivel del agua estaba a pocos centímetros de sobrepasar el muro y en el sector central del talud de aguas abajo había señales claras de que había habido, al menos, un evento de escurrimiento sobre el coronamiento en el corto plazo. Por otro lado, en el pie del talud de aguas abajo se observaron importantes filtraciones.

Lo anterior, sumado al evidente deterioro del embalse hace necesario considerar restricciones importantes a su uso.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 110 m; ancho de coronamiento de 5 m; inclinación talud aguas arriba 30°; altura hasta el nivel de agua 0,3 m; inclinación talud aguas abajo 20°; altura máxima talud aguas abajo 4,4 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR

en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

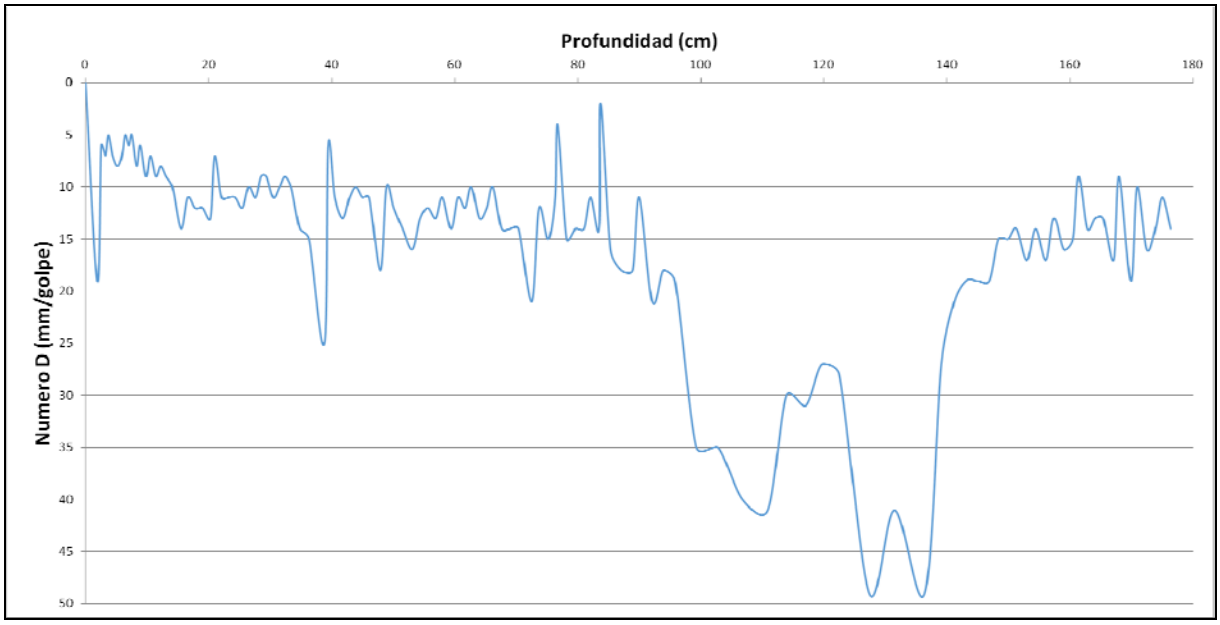
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Las Nieves

N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est	N° de Golpe	Profundidad	Lectura Inic.	Lectura Finalid de Penetra		CBR Est
	[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]		[cm]	[mm]	[mm]	[mm/golpe]	[%]
1	1,9	105	124	19	9,7	41	40,5	514	525	11	19,4	81	94,6	11	32	21	8,6
2	2,5	124	130	6	41,6	42	44,3	525	563	38	4,1	82	96,4	32	50	18	10,4
3	3,2	130	137	7	34,3	43	45,4	538	549	11	19,4	83	98,3	50	69	19	9,7
4	3,7	137	142	5	52,4	44	46,4	549	559	10	21,9	84	101,8	69	104	35	4,5
5	4,4	142	149	7	34,3	45	47,5	559	570	11	19,4	85	105,3	104	139	35	4,5
6	5,2	149	157	8	29,0	46	48,6	570	581	11	19,4	86	109,3	139	179	40	3,8
7	5,9	157	164	7	34,3	47	50,4	581	599	18	10,4	87	113,4	179	220	41	3,7
8	6,4	164	169	5	52,4	48	51,4	599	609	10	21,9	88	116,4	220	250	30	5,5
9	7,0	169	175	6	41,6	49	52,6	609	621	12	17,4	89	119,5	250	281	31	5,3
10	7,5	175	180	5	52,4	50	54,0	621	635	14	14,3	90	122,2	281	308	27	6,3
11	8,3	180	188	8	29,0	51	55,6	635	651	16	12,1	91	125,0	308	336	28	6,0
12	8,9	188	194	6	41,6	52	56,9	651	664	13	15,7	92	129,9	336	385	49	3,0
13	9,8	194	203	9	25,0	53	58,1	664	676	12	17,4	93	134,0	385	426	41	3,7
14	10,5	203	210	7	34,3	54	59,4	676	689	13	15,7	94	138,9	426	475	49	3,0
15	11,4	210	219	9	25,0	55	60,5	689	700	11	19,4	95	141,6	475	502	27	6,3
16	12,2	219	227	8	29,0	56	61,9	700	714	14	14,3	96	143,7	502	523	21	8,6
17	13,1	227	236	9	25,0	57	63,0	714	725	11	19,4	97	145,6	523	542	19	9,7
18	14,1	236	246	10	21,9	58	64,2	725	737	12	17,4	98	147,5	542	561	19	9,7
19	15,5	246	260	14	14,3	59	65,2	737	747	10	21,9	99	149,4	561	580	19	9,7
20	16,6	260	271	11	19,4	60	66,5	747	760	13	15,7	100	150,9	580	595	15	13,1
21	17,8	271	283	12	17,4	61	67,7	760	772	12	17,4	101	152,4	595	610	15	13,1
22	19,0	283	295	12	17,4	62	68,7	772	782	10	21,9	102	153,8	610	624	14	14,3
23	20,3	295	308	13	15,7	63	70,1	782	796	14	14,3	103	155,5	624	641	17	11,2
24	21,0	308	315	7	34,3	64	71,5	796	810	14	14,3	104	156,9	641	655	14	14,3
25	22,1	315	326	11	19,4	65	72,9	810	824	14	14,3	105	158,6	655	672	17	11,2
26	23,2	326	337	11	19,4	66	75,0	824	845	21	8,6	106	159,9	672	685	13	15,7
27	24,3	337	348	11	19,4	67	76,2	845	857	12	17,4	107	161,5	685	701	16	12,1
28	25,5	348	360	12	17,4	68	77,7	857	872	15	13,1	108	163,0	701	716	15	13,1
29	26,5	360	370	10	21,9	69	78,8	872	883	11	19,4	109	163,9	716	725	9	25,0
30	27,6	370	381	11	19,4	70	79,2	64	68	4	69,4	110	165,3	725	739	14	14,3
31	28,5	381	390	9	25,0	71	80,7	68	83	15	13,1	111	166,6	739	752	13	15,7
32	29,4	390	399	9	25,0	72	82,1	83	97	14	14,3	112	167,9	752	765	13	15,7
33	30,5	399	410	11	19,4	73	83,5	97	111	14	14,3	113	169,6	765	782	17	11,2
34	31,5	410	420	10	21,9	74	84,6	111	122	11	19,4	114	170,5	782	791	9	25,0
35	32,4	420	429	9	25,0	75	86,0	122	136	14	14,3	115	172,4	791	810	19	9,7
36	33,4	429	439	10	21,9	76	86,2	136	138	2	166,2	116	173,4	810	820	10	21,9
37	34,8	439	453	14	14,3	77	87,8	159	175	16	12,1	117	175,0	820	836	16	12,1
38	36,3	453	468	15	13,1	78	89,6	175	193	18	10,4	118	176,4	836	850	14	14,3
39	38,8	468	493	25	6,9	79	91,4	193	211	18	10,4	119	177,5	850	861	11	19,4
40	39,4	493	499	6	41,6	80	92,5	0	11	11	19,4	120	178,9	861	875	14	14,3

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye, se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores entre 0 y 25 mm/golpe, hasta los 90 cm de profundidad. Esto valores se pueden relacionar a suelos finos de consistencia media. Entre las profundidades 90 y 150 cm se encontró un estrato de suelo menos consistente, con valores de D mayores a 25 mm/golpe, valores que corresponden a compacidades bajas. Sin embargo, bajo la profundidad 1.50 metros, se vuelve a valores menores a 20 mm/golpe.

45.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse o tranque Las Nieves se encuentra en la comuna de Bulnes, provincia del Ñuble, VIII Región.

Se puede llegar a él, saliendo de la ruta 5 al oriente por la ruta N-75, 2,5km antes del cruce con el río Diguillín. Al encontrarse en el cruce con la ruta N-601, tomar ésta en dirección al norte. Luego de recorrer 6,4km, virar a la derecha por camino principal (no enrolado), el que al cabo de 5km deja en las afueras del tranque.

Este tranque se encuentra emplazado en medio de un valle agrícola de terreno bastante regular y baja pendiente, según se puede constatar a través de la inspección altimétrica de la zona mediante Google Earth.

Por otra parte, si bien las imágenes satelitales permiten intuir el eje del cauce aguas abajo del muro, las cotas que señala el software mencionado dificultan la tarea de establecer un eje preferencial de la vía de escurrimiento de las aguas, en caso de un eventual colapso del muro.

Teniendo en cuenta lo anterior, se intentó trazar un eje preferencial del cauce en el sentido de las aguas, uniendo cada punto bajo; como resultado, se obtuvo un perfil longitudinal sinuoso en elevación, lo que permite presumir que dentro de la vía preferente es posible la existencia de depresiones. Estas depresiones pueden traer consigo la aparición de apozamientos ante un eventual vaciado rápido del tranque, producto de un colapso del muro.

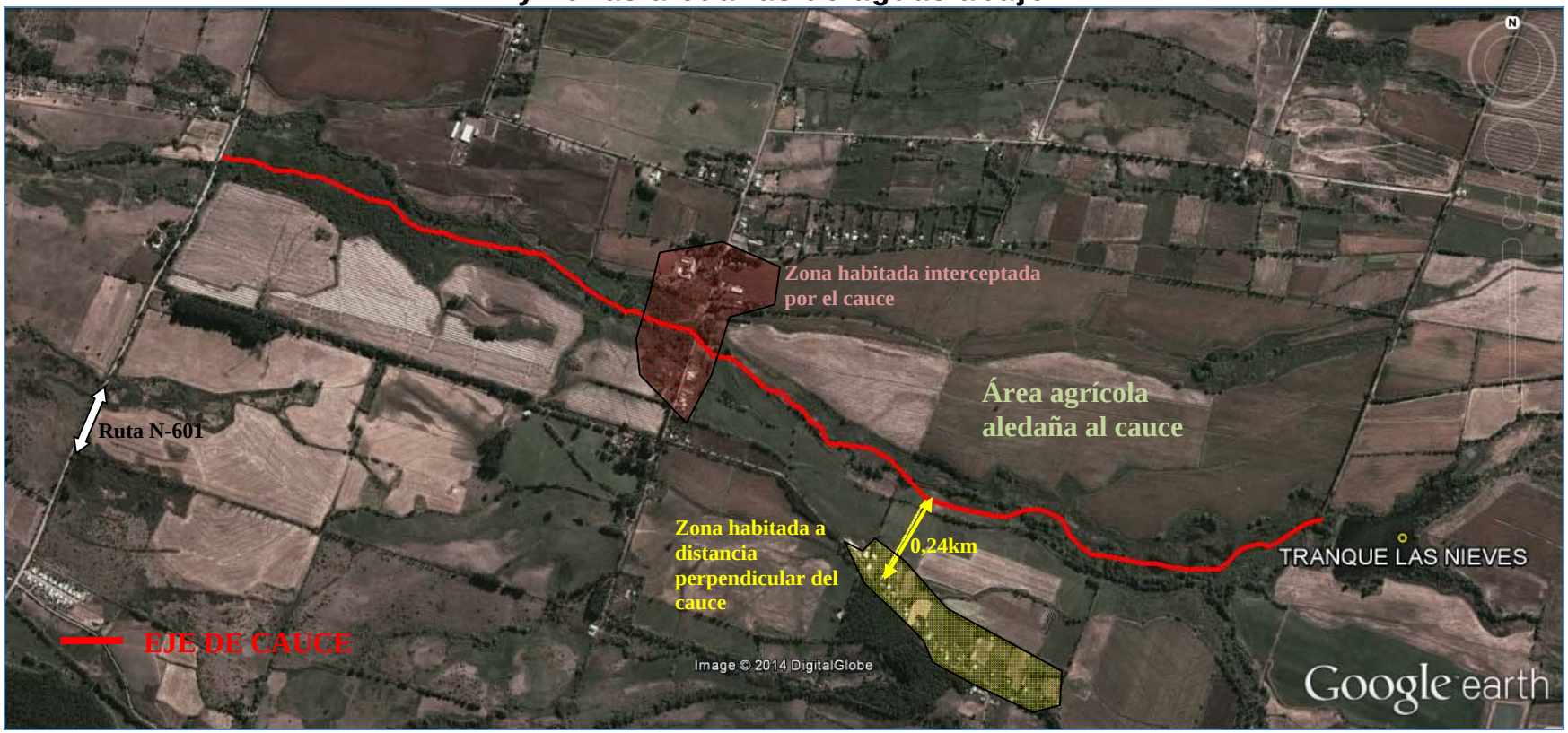
El cauce resultante de aguas abajo corresponde a un estero presumiblemente intervenido de muy baja pendiente (4,1‰), desarrollada a través de una longitud de 3,41km, medida entre el muro y su punto de cruce con la ruta N-601.

El cauce se aprecia con vegetación de baja densidad, aledaño tanto a zonas habitadas como agrícolas.

La infraestructura vial expuesta a los efectos de una eventual inundación corresponde a la ruta N-601 ya mencionada, la que se encuentra a una distancia de 3,41km del tranque, medida por el eje del cauce definido; no existe más infraestructura (vial o de otro tipo) clasificada como importante en las cercanías del cauce.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse respecto del terreno aguas abajo del muro.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Tranque Las Nieves y zonas aledañas de aguas abajo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del tranque Las Nieves:

CUADRO 45-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – TRANQUE LAS NIEVES

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Las Nieves	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Estero con intervenciones	---
	Tipo de Terreno	Vegetal de baja densidad	---
	Pendiente Media	0,0041	m/m
	Ancho medio	Ampliamente variable / difícil de estimar	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	2,00	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,24	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	3,41	km
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Media	---

45.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Embalse Las Nieves	2,577	3,426	165	139	26

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
1,124	1,139	1,948	1,536

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 45-2 siguiente.

CUADRO 45-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
40 Embalse Las Nieves	2	1,29	2,25	2,05	1,96	-	1,96	2,25
	5	1,95	3,46	2,95	2,80	-	2,80	3,46
	10	2,38	4,20	3,44	3,44	-	3,44	4,20
	20	2,81	4,92	3,92	4,33	-	4,33	4,92
	25	2,93	5,15	4,08	4,48	-	4,48	5,15
	50	3,36	5,88	4,54	5,35	-	5,35	5,88
	100	3,76	6,66	5,03	6,38	-	6,38	6,66
	250	4,37	7,70	5,77	2,66	-	2,66	7,70
	500	4,81	8,46	6,28	2,77	-	2,77	8,46
	1000	5,24	9,23	6,80	2,87	-	2,87	9,23

45.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Las Nieves fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Las Nieves	Limo arenoso	28	0,10	1,80	4,4	30	20	5

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.96
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.51
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	2.01

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.70
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.90

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

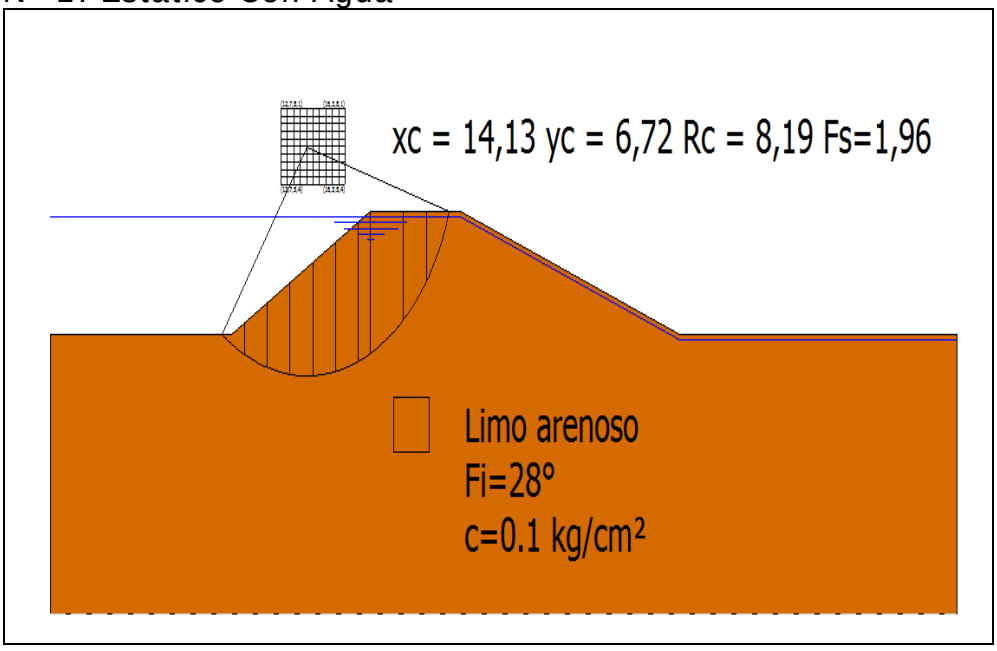


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

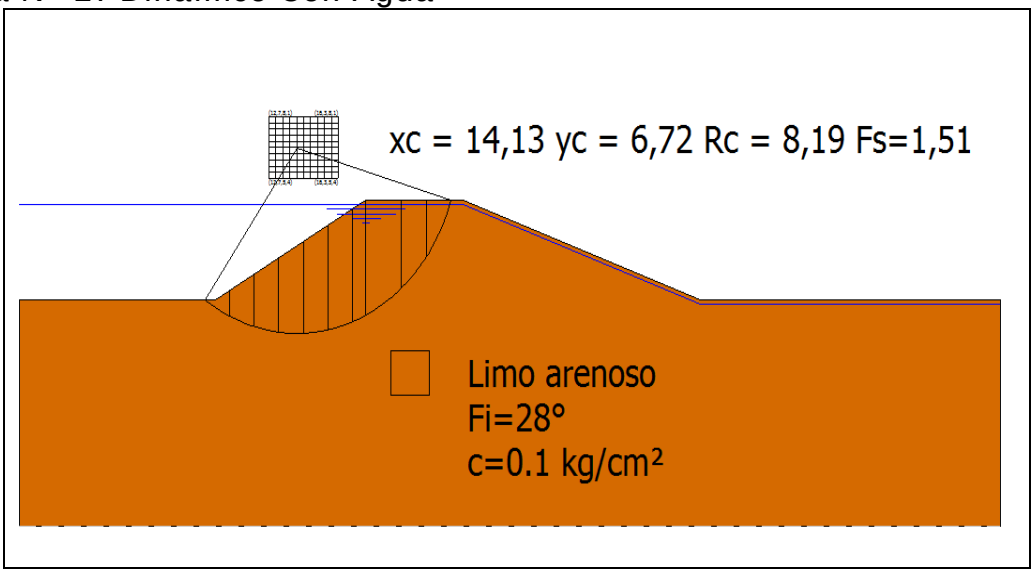
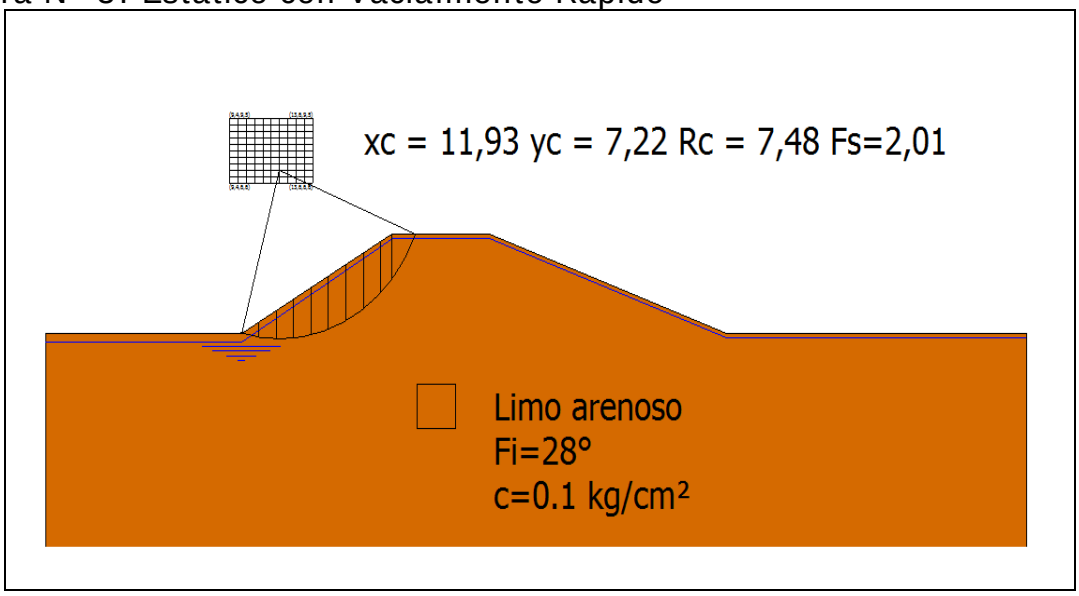


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

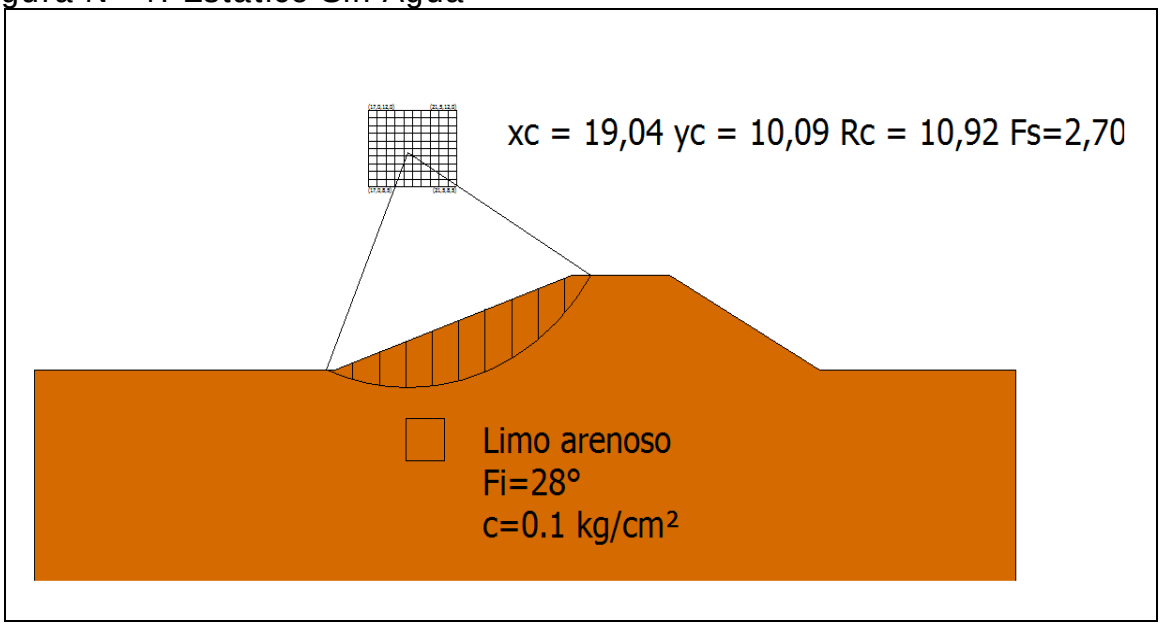
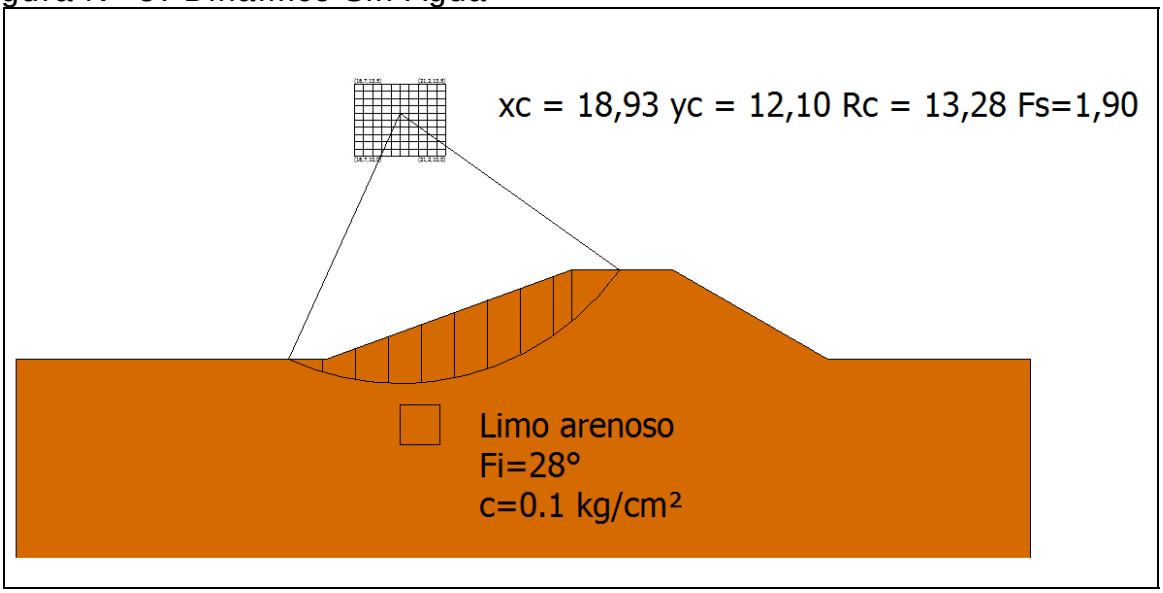


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Las Nieves sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos daños consistieron en grietas longitudinales en el coronamiento y deformaciones en los taludes.

ii) Según informó un vecino del sector, en el mismo año 2014 se efectuaron reparaciones bastante precarias colocando suelo en las grietas para después compactar con “pata pata”.

iii) En el trascurso de la visita se apreció que aunque no se observan grietas, el muro si presenta sus taludes deformados. Es más, el nivel del agua estaba a pocos centímetros de sobrepasar el muro y en el sector central del talud de aguas abajo había señales claras de que había habido, al menos, un evento de escurrimiento sobre el coronamiento en el corto plazo.

iv) Por otro lado, en el pie del talud de aguas abajo se observaron importantes filtraciones. Lo anterior, sumado al evidente deterioro del embalse hace necesario considerar restricciones importantes a su uso.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

-Talud Aguas Arriba: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Se considera que el tranque Las Nieves no entrega la seguridad necesaria para su utilización normal.

viii) Se sugiere solicitar su vaciamiento hasta que se efectúen obras de mejoramiento que permitan un uso seguro.

ix) Las obras de mejoramiento que se efectúen deberán ser las indicadas en un proyecto, que para estos efectos desarrolle un ingeniero civil calificado.

x) Dicho proyecto, deberá contar con la aprobación de la DGA.

45.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 45-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Embalse Las Nieves	Limos Arenosos	23,4	0	7,8	6	4,4	26,4	Si

45.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 15-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Embalse Las Nieves	Lateral	Canalón en mal estado de Tierra		1		6	0,002	0,04				**5,54**

45.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Las Nieves, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 37,3 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 37,3 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 37,3 años, o 0,027.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	1
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	0,6

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 5,54 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,42 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 2,33 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	2,66	0,5
0,002 (T= 500 años)	2,77	
0,001 (T= 1.000 años)	2,87	

Como la capacidad efectiva es de 2,33 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 4,5 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,222.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	1,0

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,027
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,222 (T= 4,5 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,222
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,5
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,222 x 0,5 x 1,0= 11,1 %

46. EMBALSE GUAIRAO II

46.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Guairao II.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Guairao II		Nº de ficha	41
Propietario	Forestal La Fortuna		Fecha (dd/mm/año)	30/9/2014; 12:20 hrs.
	Avda. Gran Bretaña Nº 1825,			
	Comuna de Talcahuano			
	Provincia de Concepción			
Año de construcción			Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	NO
Año de reparación			Altura del muro > 5 m	SI
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081			
Subcuenca / Código DGA	Itata Bajo/0814			
Fuente del recurso				

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Biobío	
Provincia	Ñuble	
Comuna	Quirigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N = 5.988.279	E = 728.209
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS 84, Huso 18	
Altitud	209 msnm	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	227 m
Ancho del coronamiento	1 m
Desarrollo del talud aguas abajo	12 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Ángulo talud de aguas abajo	27 °
Ángulo talud de aguas arriba	32 °

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	5,5
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	63.900
Ancho máximo de la poza (m)	205
Largo de la poza (m)	320
Volumen declarado o proyectado (m3)	12.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Irregular
Compacidad del material estructural	Media
Uniformidad de los taludes	No uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Si, de 0,2 m aprox.
Grietas visibles y su ubicación	No visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	al pie en el sector del estribo derecho
Tipo de revestimiento del muro	no

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	*Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:*	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	X
Vertederos laterales	X	Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		*Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:*	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	X
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Rústico de tierra, en muy mal estado
Material constructivo	tierra
Estado de conservación y operatividad	operativo pero en muy mal estado
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	4 m de ancho y 3 m de alto

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	No está operativa; pareciera que hoy la entrega se produce por el vertedero
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

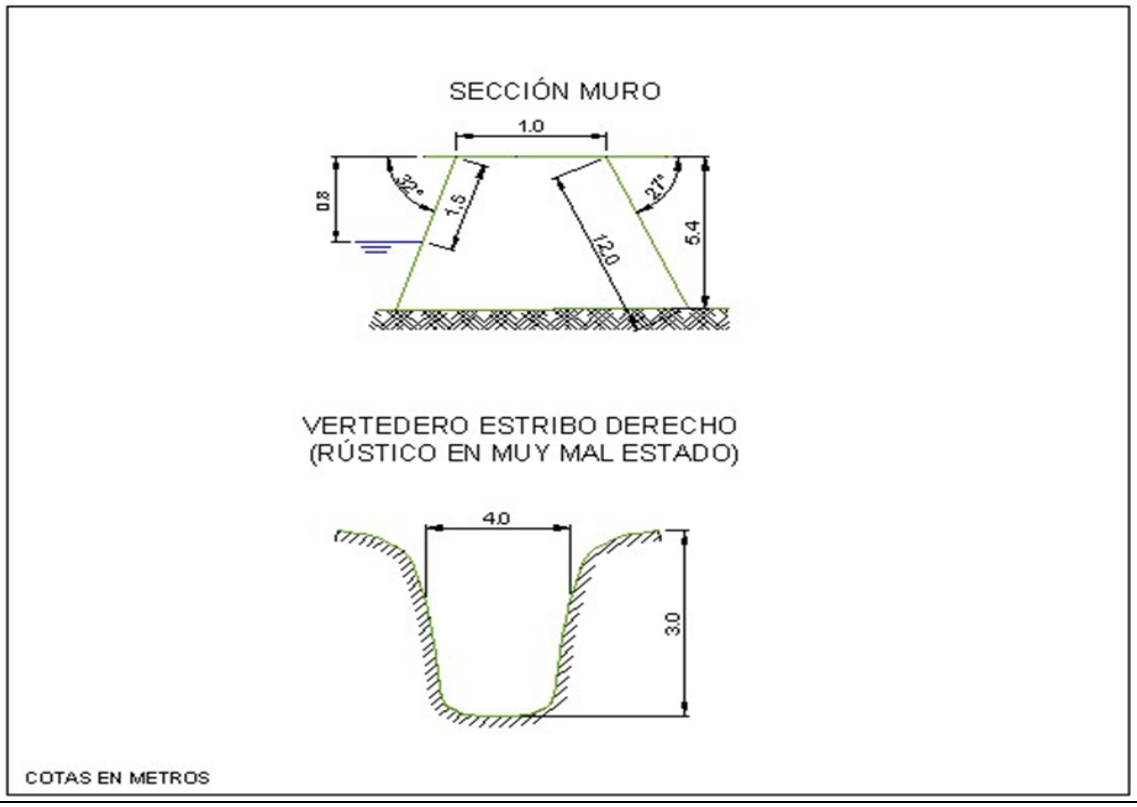
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	prados de baja densidad, i= 0,026, amcho medio 30 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	460 m
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	65 m
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	No hay
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	460 m
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

11. OBSERVACIONES

Embalse en mal estado, no fue reparado después del terremoto del 2010, tiene filtraciones y un vertedero en muy mal estado

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE GUAIRAO II N° 41



EMBALSE GUARIAO II (41)

TALUD POR AGUAS ARRIBA

TALUD POR AGUAS ABAJO

CORONAMIENTO

OBRA DE ENTREGA ABANDONADA

VERTEDERO RÚSTICO ABANDONADO

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

46.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Guairao II, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a limos arcillosos, de color café. Son suelos de plasticidad media a baja, permeabilidad media y compacidad media. En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, limos arcillosos, de color café claro, de color café. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es media.

El tranque Guairao II sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos consistieron en grietas longitudinales, deslizamientos y filtraciones. Si bien muchos de los daños ya no son visibles, debido a que las grietas se han rellenado con materiales finos, y los hundimientos se han suavizado con el tiempo, queda claro que como no se realizó ningún tipo de reparación, lo que se evidencia en las señales que han quedado de los daños. Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 227 m, ancho de coronamiento de 1 m, inclinación talud aguas arriba 32°, altura hasta el nivel de agua 0.8 m, inclinación talud aguas abajo 27°, altura máxima talud aguas abajo 5.4 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito. En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

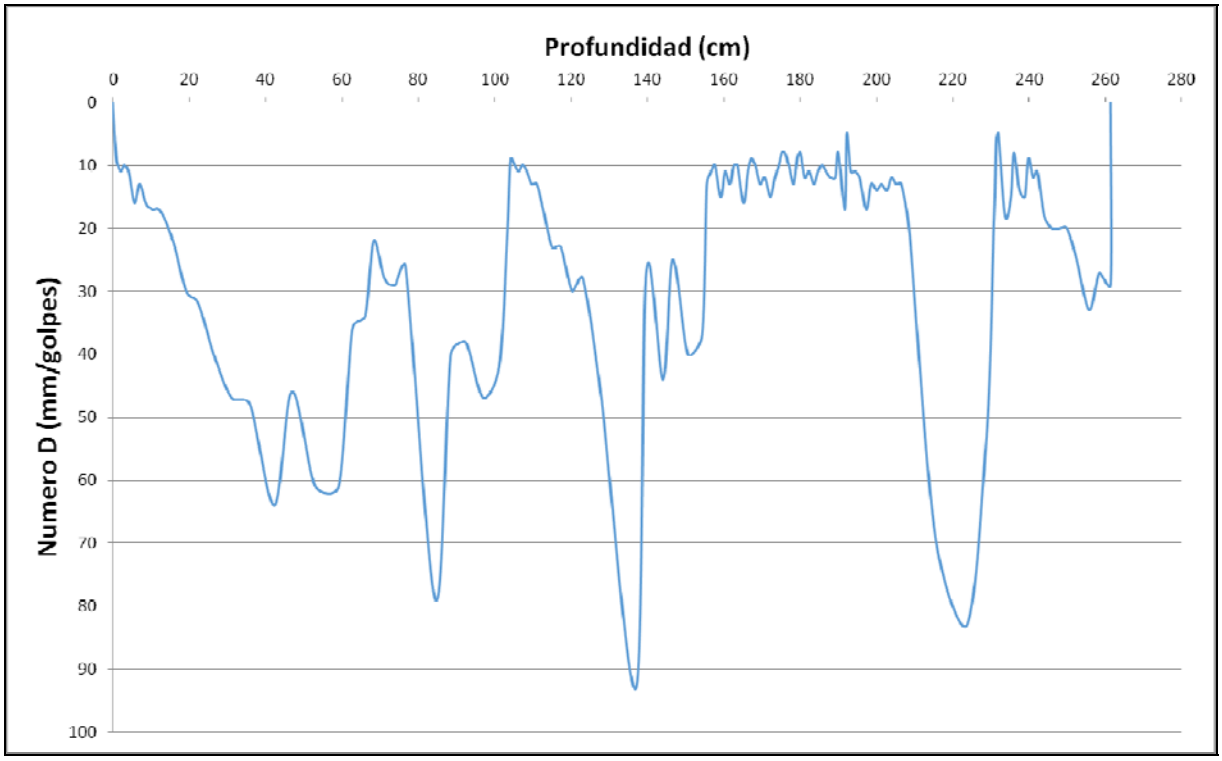
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

Embalse Patagua Cerro Guairao II

Nº de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Penetrad [mm/golpe]	CBR Est [%]	Nº de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Penetrad [mm/golpe]	CBR Est [%]	Nº de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	Penetrad [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	0,9	111	120	9	25,0	41	115,0	225	248	23	7,7	81	188,0	150	162	12	17,4
2	2,0	120	131	11	19,4	42	117,3	248	271	23	7,7	82	189,2	162	174	12	17,4
3	3,0	131	141	10	21,9	43	120,3	271	301	30	5,5	83	190,0	174	182	8	29,0
4	4,1	141	152	11	19,4	44	123,1	301	329	28	6,0	84	191,7	182	199	17	11,2
5	5,7	152	168	16	12,1	45	127,7	329	375	46	3,2	85	192,2	199	204	5	52,4
6	7,0	168	181	13	15,7	46	137,0	375	468	93	1,3	86	193,3	9	20	11	19,4
7	8,6	181	197	16	12,1	47	139,7	468	495	27	6,3	87	194,4	20	31	11	19,4
8	10,3	197	214	17	11,2	48	144,1	495	539	44	3,4	88	195,6	31	43	12	17,4
9	12,0	214	231	17	11,2	49	146,6	539	564	25	6,9	89	197,3	43	60	17	11,2
10	13,9	231	250	19	9,7	50	150,6	564	604	40	3,8	90	198,6	60	73	13	15,7
11	16,2	250	273	23	7,7	51	154,3	604	641	37	4,2	91	200,0	73	87	14	14,3
12	19,2	273	303	30	5,5	52	155,6	641	654	13	15,7	92	201,3	87	100	13	15,7
13	22,4	303	335	32	5,1	53	156,7	654	665	11	19,4	93	202,7	100	114	14	14,3
14	26,4	335	375	40	3,8	54	157,7	665	675	10	21,9	94	203,9	114	126	12	17,4
15	31,1	375	422	47	3,1	55	159,2	675	690	15	13,1	95	205,2	126	139	13	15,7
16	35,9	422	470	48	3,0	56	160,3	690	701	11	19,4	96	206,5	139	152	13	15,7
17	42,3	470	534	64	2,1	57	161,6	701	714	13	15,7	97	208,5	152	172	20	9,1
18	46,9	534	580	46	3,2	58	162,6	714	724	10	21,9	98	215,4	172	241	69	1,9
19	53,0	580	641	61	2,2	59	163,6	724	734	10	21,9	99	223,7	241	324	83	1,5
20	59,1	641	702	61	2,2	60	165,2	734	750	16	12,1	100	228,9	324	376	52	2,7
21	62,7	702	738	36	4,4	61	166,3	750	761	11	19,4	101	230,8	376	395	19	9,7
22	66,1	738	772	34	4,7	62	167,2	761	770	9	25,0	102	231,4	395	401	6	41,6
23	68,3	772	794	22	8,1	63	168,2	770	780	10	21,9	103	231,9	410	415	5	52,4
24	71,1	794	822	28	6,0	64	169,5	780	793	13	15,7	104	233,7	430	448	18	10,4
25	74,0	822	851	29	5,7	65	170,7	793	805	12	17,4	105	235,2	448	463	15	13,1
26	76,6	38	64	26	6,6	66	172,2	805	820	15	13,1	106	236,0	463	471	8	29,0
27	84,5	64	143	79	1,6	67	173,4	820	832	12	17,4	107	237,4	471	485	14	14,3
28	88,5	143	183	40	3,8	68	174,4	832	842	10	21,9	108	238,9	485	500	15	13,1
29	92,3	183	221	38	4,1	69	175,2	842	850	8	29,0	109	239,8	500	509	9	25,0
30	97,0	21	68	47	3,1	70	176,0	34	42	8	29,0	110	241,0	509	521	12	17,4
31	101,2	68	110	42	3,6	71	177,0	42	52	10	21,9	111	242,1	521	532	11	19,4
32	103,3	110	131	21	8,6	72	178,3	52	65	13	15,7	112	243,9	532	550	18	10,4
33	104,2	131	140	9	25,0	73	179,2	65	74	9	25,0	113	245,9	550	570	20	9,1
34	105,2	140	150	10	21,9	74	180,0	74	82	8	0,0	114	247,9	570	590	20	9,1
35	106,3	150	161	11	19,4	75	181,2	82	94	12	17,4	115	249,9	590	610	20	9,1
36	107,3	161	171	10	21,9	76	182,3	94	105	11	19,4	116	252,4	610	635	25	6,9
37	108,4	171	182	11	19,4	77	183,6	105	118	13	15,7	117	255,7	635	668	33	4,9
38	109,7	182	195	13	15,7	78	184,7	118	129	11	19,4	118	258,4	668	695	27	6,3
39	111,0	195	208	13	15,7	79	185,7	129	139	10	21,9	119	261,3	695	724	29	5,7
40	112,7	208	225	17	11,2	80	186,8	139	150	11	19,4	120	261,3	724	751	0	0,0

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta valores bastante oscilantes, sobre todo hasta los 150 cm de profundidad. Los valores varían entre 10 mm/golpe hasta 93 mm/golpe. Esto se relaciona con suelo de compacidad muy baja. Sin embargo entre los 170 y 210 cm de profundidad, los valores tienden a estabilizarse no superando los 20 mm/golpes. Finalmente aproximadamente a partir de los 230 cm de profundidad los valores del número D, se ubican entre 10 y 30 mm/golpe.

46.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

Este embalse, ubicado en la comuna de Quirihue, provincia de Ñuble, región del Biobío, se utiliza como reservorio de agua para el combate de incendios forestales; se accede a él, según la referencia [4] a través del ingreso al fundo Santa Luisa, ubicado a su vez en la ruta N-140, a 3km de una pequeña localidad llamada Los Remates.

El cauce de aguas abajo del muro corresponde a una depresión natural con pendiente favorable al escurrimiento con superficie tipo prado (densidad vegetal baja).

La longitud estimada de este cauce es de 0,46km, con una pendiente de 2,6%, desarrollada en dirección sur-norte entre los pies del embalse y la ruta N-140, la cual es interceptada por el eje trazado.

En términos de zonas habitadas, se observa en las inmediaciones del cauce un pequeño conjunto de casas, las que en distancia perpendicular al eje se encuentran a 65m; la densidad poblacional correspondiente se estima baja.

No son apreciables zonas de cultivo importantes que pudieran verse expuestas ante una eventual falla del muro.

Por otra parte, la única infraestructura vial notable que se interpone en el trazado del cauce corresponde a la ruta N-140, ya mencionada, lo cual sucede a 0,46km medidos por el eje.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra el contexto del embalse y su cauce aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Guairao II y zonas aledañas de aguas abajo

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Guairao II:

CUADRO 46-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMB. GUAIRAO II

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Guairao II	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Depresión en medio de valle	---
	Tipo de Terreno	Prado de baja densidad vegetal	---
	Pendiente Media	0,026	m/m
	Ancho medio	30	m
DISTANCIAS A	Centros Poblados medidos por el Cauce	0,46	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,065	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	0,46	km
	Zonas Agrícolas	No hay	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

46.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
Guairao II	0,885	1,261	396	228	168

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
0,173	0,188	0,548	0,360

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 46-2 siguiente.

CUADRO 46-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
41 Embalse Guairao II	2	0,41	0,80	2,01	2,10	-	2,10	2,10
	5	0,63	1,23	2,89	2,94	-	2,94	2,94
	10	0,76	1,48	3,38	3,56	-	3,56	3,56
	20	0,90	1,74	3,85	4,41	-	4,41	4,41
	25	0,94	1,82	4,00	4,57	-	4,57	4,57
	50	1,08	2,08	4,45	5,40	-	5,40	5,40
	100	1,21	2,35	4,93	6,43	-	6,43	6,43
	250	1,40	2,72	5,66	7,22	-	7,22	7,22
	500	1,54	2,99	6,16	7,97	-	7,97	7,97
	1000	1,68	3,26	6,67	8,73	-	8,73	8,73

46.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Guairao II fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Guairao II	Limo arcilloso	28	0,10	1,80	5,4	32	27	1

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	1.53
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	1.21
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	1.41

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.60
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	1.20

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

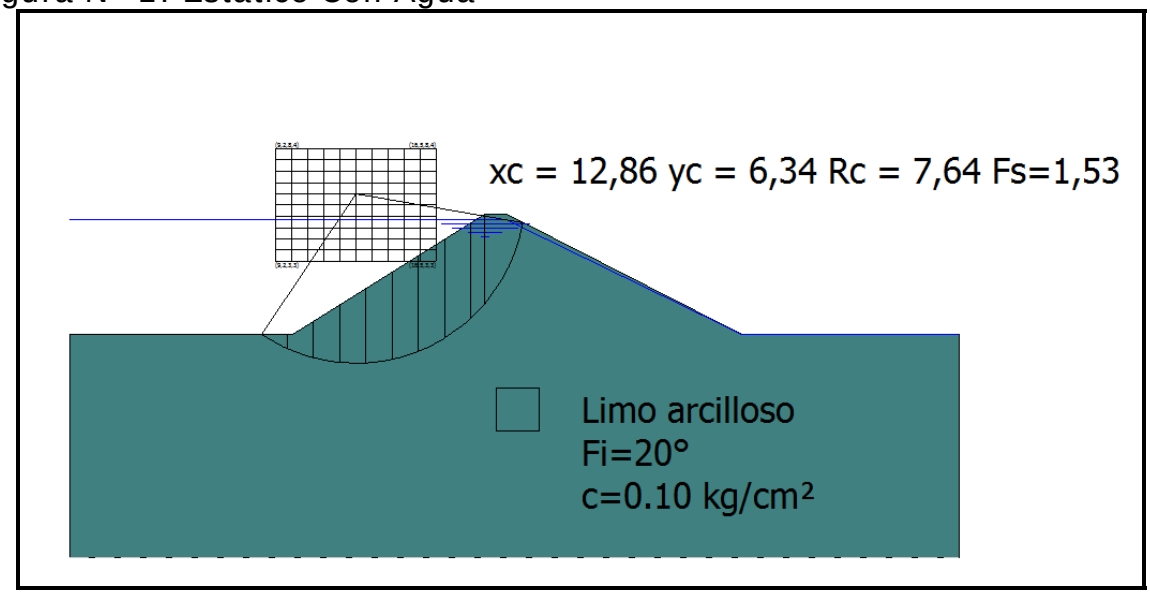


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

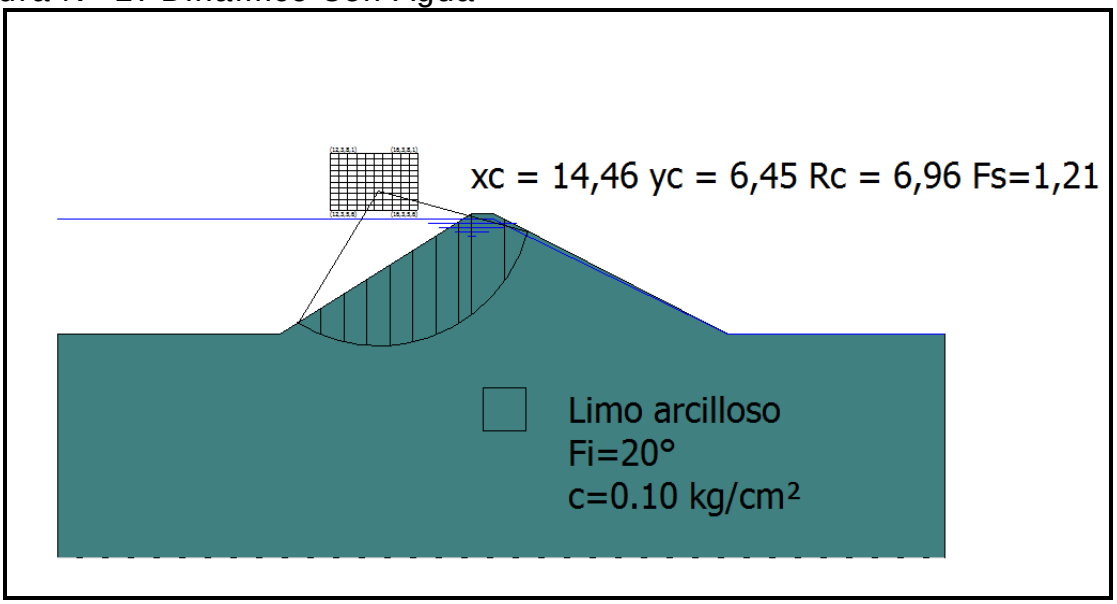
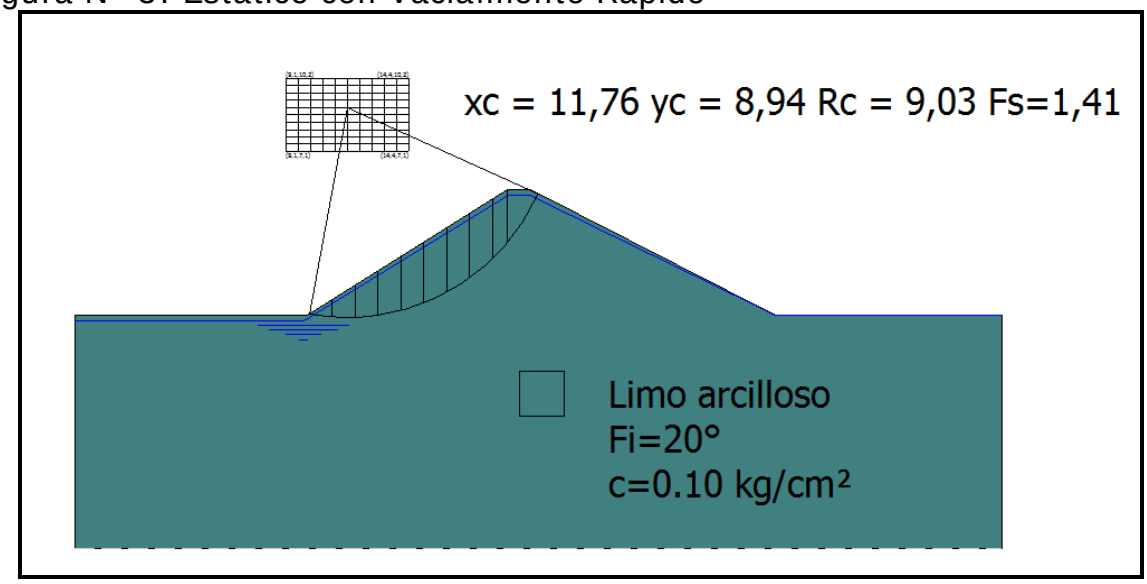


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

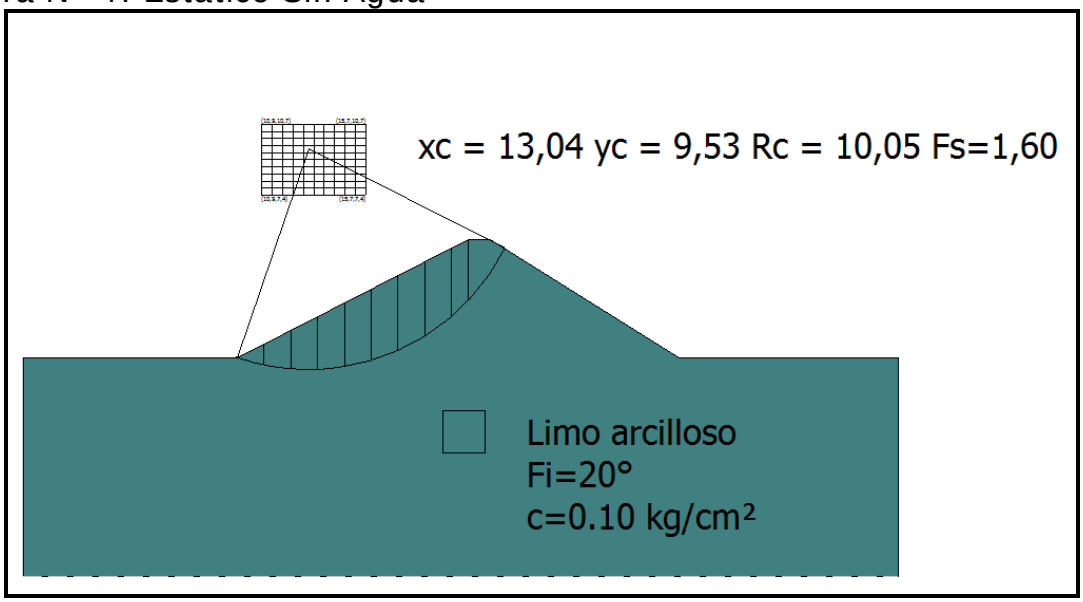
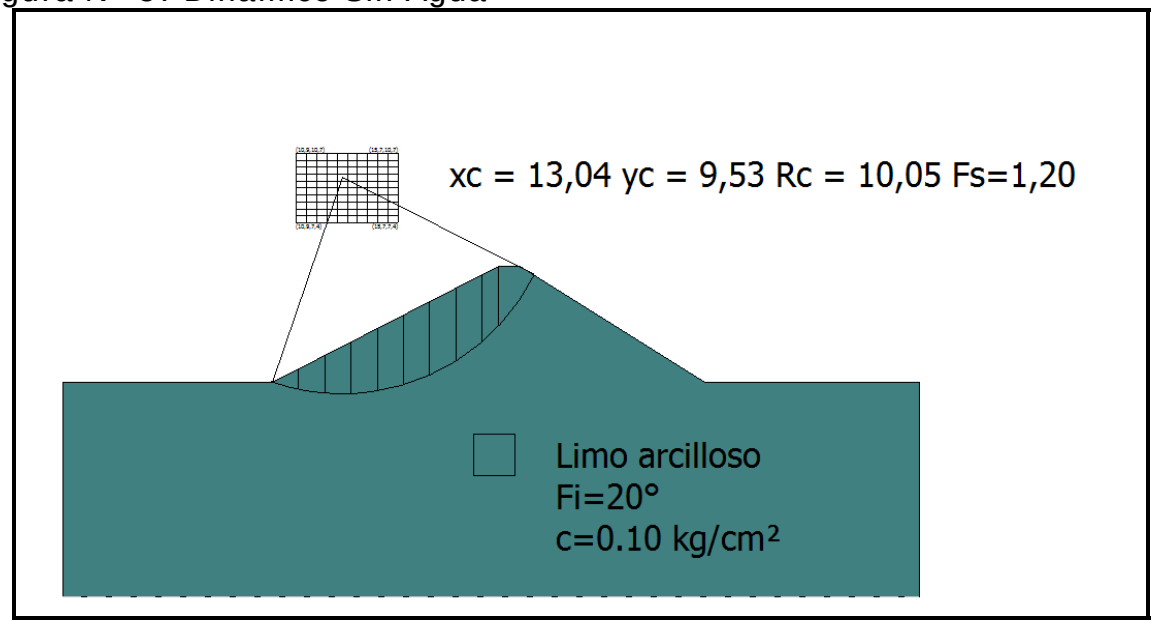


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Guairao II sufrió daños importantes debido al terremoto del año 2010. Estos consistieron en grietas longitudinales, deslizamientos y filtraciones.

ii) Si bien muchos de los daños ya no son visibles, debido a que las grietas se han rellenado con materiales finos, y los hundimientos se han suavizado con el tiempo, queda claro que no se realizó ningún tipo de reparación, lo que se evidencia en las señales que han quedado de los daños.

iii) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

iv) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: para el caso estático con vaciado rápido, el factor de seguridad al deslizamiento es menor al mínimo habitualmente aceptado.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

v) Se considera que el embalse Guairao II no entrega la seguridad para su utilización de manera normal.

vi) Se recomienda definir una regla de operación que no permita que el nivel de agua supere el 50% de la altura máxima del muro, contada hasta la cota del umbral del vertedero.

vii) Para modificar la restricción de llenado se deberán efectuar las obras de mejoramiento que defina un proyecto que para estos fines desarrolle un ingeniero civil capacitado. Dicho proyecto deberá contar con la aprobación de la DGA.

46.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 46-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
Guairao II	Limos Arcillosos	20,4	0	6,8	6	5,4	32,4	Si

46.7. Caudal Máximo en Vertedero

En el siguiente cuadro se incluye el resultado del cálculo del caudal del vertedero.

CUADRO 46-4
CAUDAL MÁXIMO VERTEDERO CALCULADO

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**
Guairao II	Lateral	Canalón en mal estado de Tierra		3		4	0,002	0,04				**15,15**

46.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:
R = p x V x E
Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores "p" y "V" son independientes por evento, y el valor "E" es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Guairao II, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 37,3 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 37,3 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 37,3 años, o 0,027.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	0,6
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	0,6

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	0,6

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	0,7
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad de Evacuación= 15,15 m^3/s

Coeficiente de Capacidad= 0,252 (C1 x C2 x C3)

Capacidad Efectiva= 3,82 m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	7,22	0,5
0,002 (T= 500 años)	7,97	
0,001 (T= 1.000 años)	8,73	

Como la capacidad efectiva es de 3,82 m^3/s, y es menor al caudal de crecida para T= 250 años (embalse tipo A), dicho caudal tiene asociado un período de retorno de 2 años, aproximadamente (ver estudio de crecidas), lo que tiene asociado una probabilidad de 0,5.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	**E1**	**Valor adoptado**
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	1
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	0,9
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	**1,0**

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,027
Probabilidad de Falla por Escorrentía= 0,5 (T= 2 años)

Así, se escoge la escorrentía como evento desencadenante, debido a que tiene una probabilidad mayor.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Escorrentía= 0,5
Vulnerabilidad Frente a la Escorrentía= 0,5
Potencialidad de Falla= 1,0

Riesgo Total= 0,5 x 0,5 x 1,0= 25 %

47. EMBALSE MILAHUE

47.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse Milahue.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Tranque Milahue		Nº de ficha	42
Propietario	Comunidad de Aguas Canal Monjas		Fecha (dd/mm/año)	17/9/2014; 14:00 hrs.
	de Providencia. Rafael Urrutia			
	Fundo Los Robles S/N, casilla 20			
	comuna de Bulnes			
	Pdte. Patricio Zañartu Rosas			
	56280037			
Año de construcción			Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	si
Año de reparación			Altura del muro > 5 m	no
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081			
Subcuenca / Código DGA	Itata Bajo/0814			
Fuente del recurso				

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Bío Bío	
Provincia	Ñuble	
Comuna	Bulnes	
Coordenadas UTM Estribo Derecho		
Coordenadas UTM Centro	N= 5.919.541	E= 746.595
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo		
Datum	WGS-84, Huso 18	
Altitud m.s.n.m	117	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	210 m
Ancho del coronamiento	3 m
Desarrollo del talud aguas abajo	4 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	
Ángulo talud de aguas abajo	41°
Ángulo talud de aguas arriba	34°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (m)	2,60
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	26.500
Ancho máximo de la poza (m)	180,00
Largo de la poza (m)	235,00
Volumen declarado o proyectado (m3)	40.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Coordenadas UTM	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	
Ensayo con Penetrómetro Móvil	X

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	media
Uniformidad de los taludes	uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	no
Grietas visibles y su ubicación	no
Indicios de deslizamientos y ubicación	no
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	no
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	al pie del muro norte
Tipo de revestimiento del muro	no

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	*Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:*	("x")
Vertederos frontales		Vertederos libres, sin control	
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		*Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:*	
Vertedero de pared delgada		Rectangulares	
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	No cuenta con un vertedero de descarga.
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Corresponde a una cámara de hormigón que tiene dispuesto en su entrada una compuerta de hoja que es accionada manualmente a través de un volante. La descarga es hacia un canal de riego.
Mediciones estructurales	Cámara de 1 m x 1 m; compuerta de 1 m x 1 m; obra nueva
Funcionamiento actual	La captación (compuerta) y la descarga se encuentra en buen estado, es una obra construida recientemente

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DEL SUELO

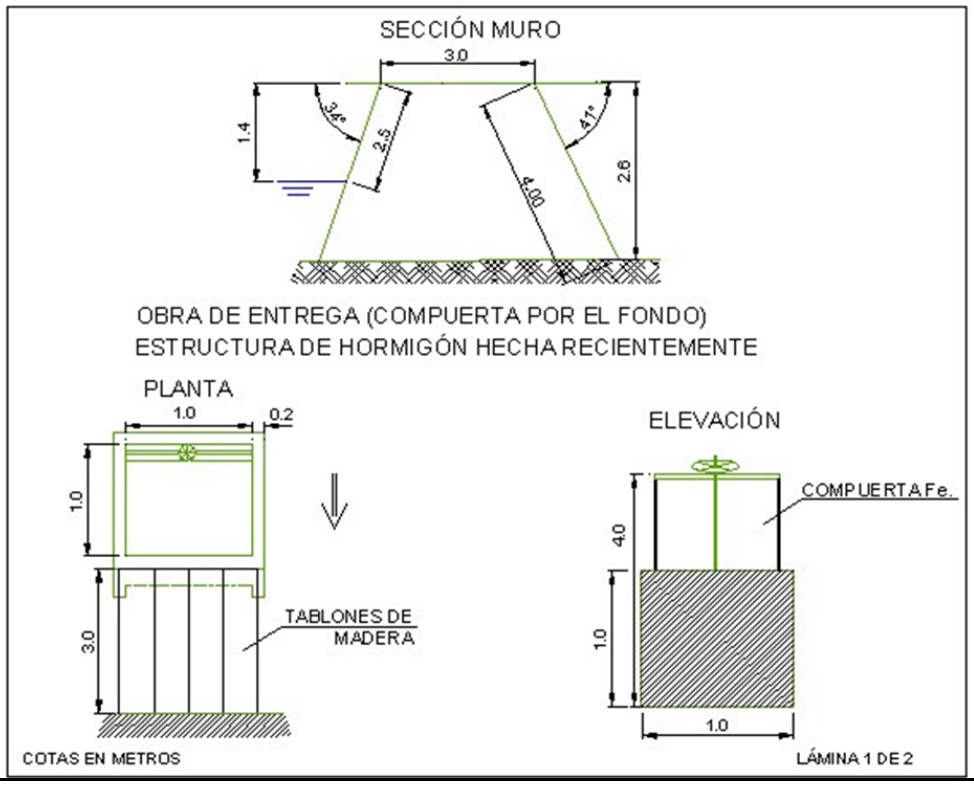
Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	valle agrícola, terrenos cultivados
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	aledaños
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	aledaños
Densidad de población en las cercanías del tranque	alta
Distancia hacia zonas agrícolas	aledaños
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	aledaño (calle de tierra)
Área de riego servida por el tranque analizado	sin información

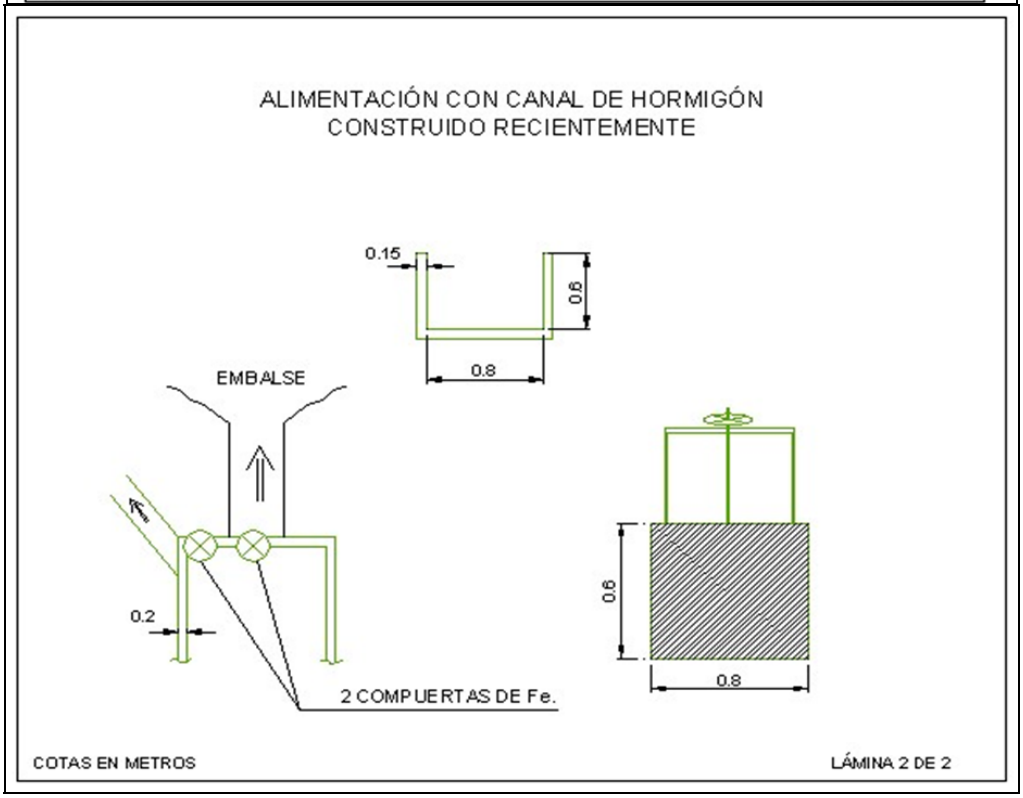
11. OBSERVACIONES

Embalse reparado, en buenas condiciones y operativo;
La obra de entrega y obra de alimentación están recientemente construidas

12. MONOGRAFÍAS

EMBALSE MILAHUE N° 42





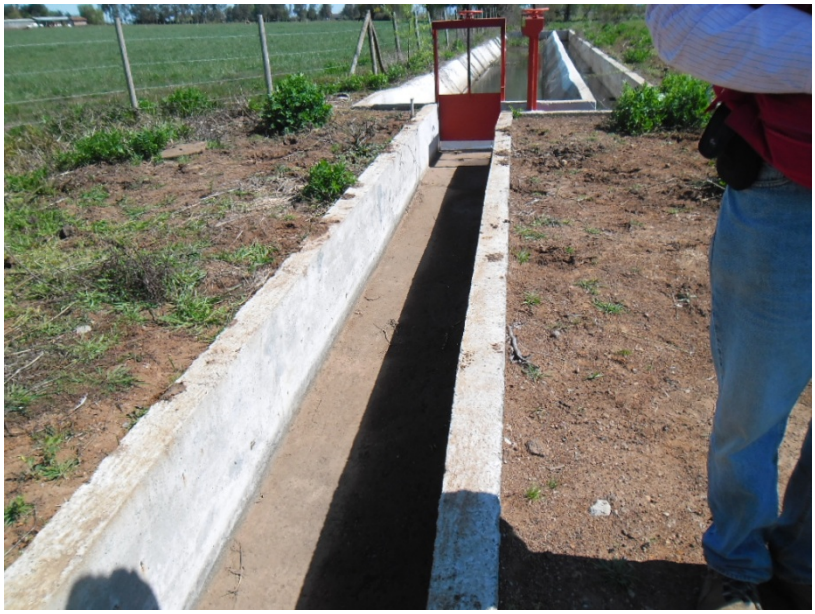
EMBALSE MILAHUE (42)

TALUD AGUAS ARRIBA MURO OESTE

CORONAMIENTO MURO NORTE

OBRA DE ENTREGA PARA RIEGO

OBRA DE ALIMENTACIÓN AL EMBALSE MIRADO HACIA AGUAS ARRIBA



OBRA DE ALIMENTACIÓN A SU LLEGADA AL EMBALSE

ENSAYO CON PENETRÓMETRO

47.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse Milahue, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arcillas limo arenosas, de color café. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arcillas limo arenosas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a baja, su plasticidad es media y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque Milahue sufrió graves daños debido al terremoto del año 2010. Los daños correspondieron a grietas longitudinales en el coronamiento con longitudes del orden de los 20 metros, en tres sectores diferentes. También se produjeron filtraciones al pie del talud de aguas abajo.

En el trascurso de la visita y de las conversaciones sostenidas con vecinos del sector se concluyó que se efectuaron reparaciones al muro, sin embargo se desconoce el tipo de reparaciones.

En todo caso, el muro se observa sano, sin grietas ni deformaciones visibles. Por otra parte, para el nivel de aguas durante la visita (embalse a un 80% de su capacidad) se apreciaron filtraciones moderadas.

Las mediciones efectuadas en el muro son las siguientes: longitud total del muro 260 m; ancho de coronamiento 3 m; inclinación talud aguas arriba 34°; altura hasta el nivel de agua 1,4 m; inclinación talud aguas abajo 41°; altura máxima talud aguas abajo 2,6 m.

Para conocer, en forma aproximada, la compacidad del relleno del muro en sus capas superiores se efectuó un ensaye de penetración con penetrómetro dinámico de cono portátil utilizando el método descrito en el punto 8.102.12 del Volumen 8 del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas. Este método está concebido para estimar el valor del CBR en capas estructurales de pavimentos, sin embargo, se considera que servirá de igual modo para el propósito ya descrito.

En la tabla siguiente se entregan los valores obtenidos para el ensaye, así como el valor del Índice de Penetración (ó valor D) y el valor del porcentaje de CBR estimado para cada golpe, según la ecuación:

$$\log CBR = 2{,}60 - 1{,}26 \times (\log D)$$

donde:

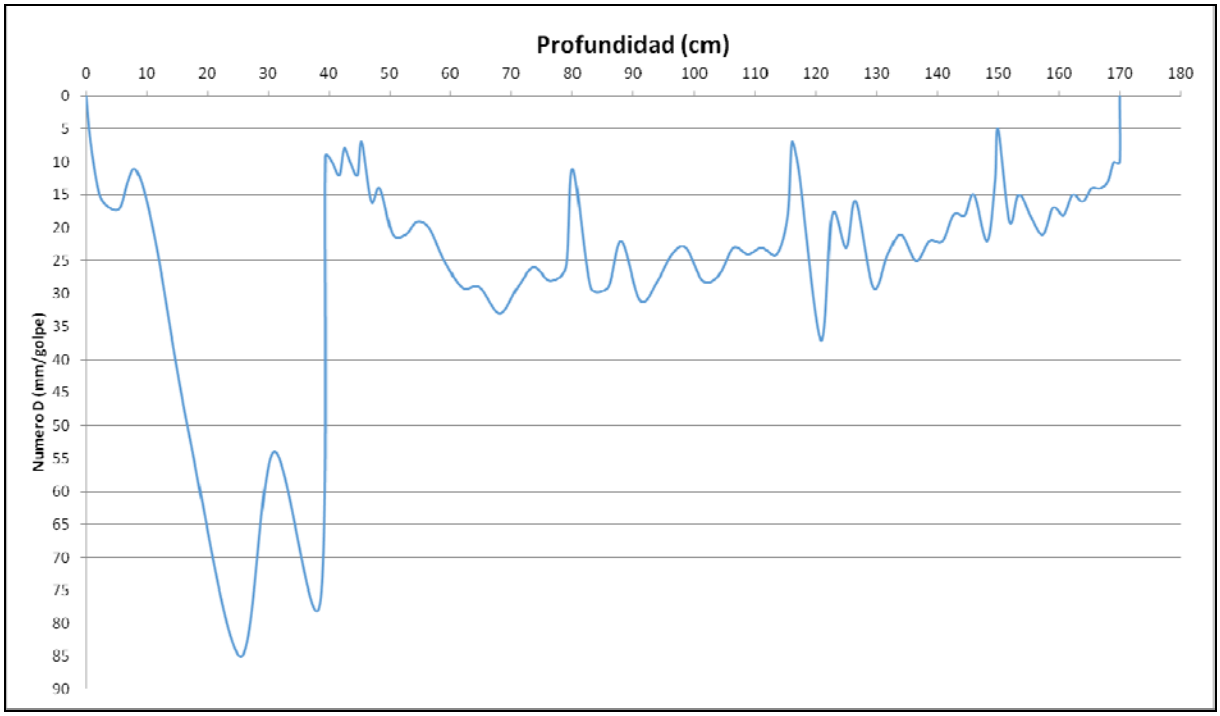
D : Indice de penetración (mm/golpe)
CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

ENSAYE PENERACION DINAMICA CONO PORTATIL

EMBALSE MILAHUE

N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]	N° de Golpe	Profundidad [cm]	Lectura Inic. [mm]	Lectura Final [mm]	d de Penetra [mm/golpe]	CBR Est [%]
1	1,9	106	125	19	9,7	41	94,7	24	47	23	7,7
2	3,4	113	128	15	13,1	42	97,5	47	75	28	6,0
3	5,1	128	145	17	11,2	43	100,2	75	102	27	6,3
4	6,8	145	162	17	11,2	44	102,5	102	125	23	7,7
5	8,1	162	175	13	15,7	45	104,9	125	149	24	7,3
6	9,2	175	186	11	19,4	46	107,2	149	172	23	7,7
7	10,6	186	200	14	14,3	47	109,6	172	196	24	7,3
8	13,0	200	224	24	7,3	48	111,4	196	214	18	10,4
9	18,1	224	275	51	2,8	49	112,1	214	221	7	34,3
10	26,6	275	360	85	1,5	50	113,2	221	232	11	19,4
11	27,9	360	373	13	15,7	51	116,9	232	269	37	4,2
12	35,6	414	491	77	1,7	52	118,7	269	287	18	10,4
13	36,5	491	500	9	25,0	53	121,0	287	310	23	7,7
14	37,5	500	510	10	21,9	54	122,6	310	326	16	12,1
15	38,7	510	522	12	17,4	55	125,5	326	355	29	5,7
16	39,5	522	530	8	29,0	56	127,9	355	379	24	7,3
17	40,5	530	540	10	21,9	57	130,0	379	400	21	8,6
18	41,7	540	552	12	17,4	58	132,5	400	425	25	6,9
19	42,4	552	559	7	34,3	59	134,7	425	447	22	8,1
20	43,0	559	565	6	41,6	60	136,9	447	469	22	8,1
21	44,4	575	589	14	14,3	61	138,7	469	487	18	10,4
22	46,5	589	610	21	8,6	62	140,5	487	505	18	10,4
23	48,6	610	631	21	8,6	63	142,0	505	520	15	13,1
24	50,5	631	650	19	9,7	64	144,2	520	542	22	8,1
25	52,5	650	670	20	9,1	65	145,5	542	555	13	15,7
26	55,0	670	695	25	6,9	66	146,0	555	571	5	52,4
27	57,9	695	724	29	5,7	67	147,9	571	590	19	9,7
28	60,8	724	753	29	5,7	68	149,4	590	605	15	13,1
29	64,1	753	786	33	4,9	69	151,2	605	623	18	10,4
30	67,0	786	815	29	5,7	70	153,3	623	644	21	8,6
31	69,6	815	841	26	6,6	71	155,0	644	661	17	11,2
32	72,4	841	869	28	6,0	72	156,8	661	679	18	10,4
33	75,0	869	895	26	6,6	73	158,3	679	694	15	13,1
34	76,1	74	85	11	19,4	74	159,9	694	710	16	12,1
35	79,0	85	114	29	5,7	75	161,3	710	724	14	14,3
36	81,9	114	143	29	5,7	76	162,7	724	738	14	14,3
37	84,1	143	165	22	8,1	77	164,0	738	751	13	15,7
38	87,2	165	196	31	5,3	78	165,0	751	761	10	21,9
39	90,0	196	224	28	6,0	79	166,0	761	771	10	21,9
40	92,4	0	24	24	7,3	80	166,0	771	0	0	0,0

PROFUNDIDAD V/S NUMERO D (MM/GOLPES)



Respecto al gráfico obtenido del ensaye; se puede concluir que el índice de penetración (Numero D) presenta entre los 10 y 40 cm de profundidad valores sobre 50 mm/golpe. Esto se relaciona con suelos de compacidad muy baja. Sin embargo luego de los 40 cm de profundidad el muro tienden a una compacidad media a baja, ya que a medida que va aumentando la profundidad, los números D van disminuyendo, sobrepasando solo en algunos casos los 30 mm/golpe.

47.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de riego Milahue se encuentra en la comuna de Bulnes, provincia de Ñuble, Región del Biobío.

Se puede llegar a él, saliendo de la ruta 5 al oriente por la ruta N-75, 2,5km antes del cruce con el río Diguillín. Al encontrarse en el cruce con la ruta N-601, tomar ésta en dirección al norte y recorrer 5,2km. En este punto se encuentra el embalse, ubicado al costado poniente del camino.

El entorno que rodea al embalse corresponde a un valle predominantemente agrícola, con algunos sectores habitados, aunque éstos se encuentran, en su mayoría, fuera de la superficie de aguas abajo del muro.

Como resultado de unir los puntos bajos en el sentido de las aguas, se obtuvo una pendiente de terreno del 8,1 ‰, desarrollada en una longitud de 1,72km.

Cabe destacar que el eje se trazó a partir de la entrega, finalizándose en la parte del terreno en que la superficie adquiere una contrapendiente respecto del sentido de las aguas.

El terreno por el cual pasa el supuesto eje del cauce corresponde, tal como se ha dejado entrever, a un valle fundamentalmente agrícola, con vegetación de baja densidad, aunque se observa la presencia de algunas especies arbóreas y/o arbustivas.

En cuanto a áreas habitadas en la zona aguas abajo del embalse, se puede establecer lo siguiente:

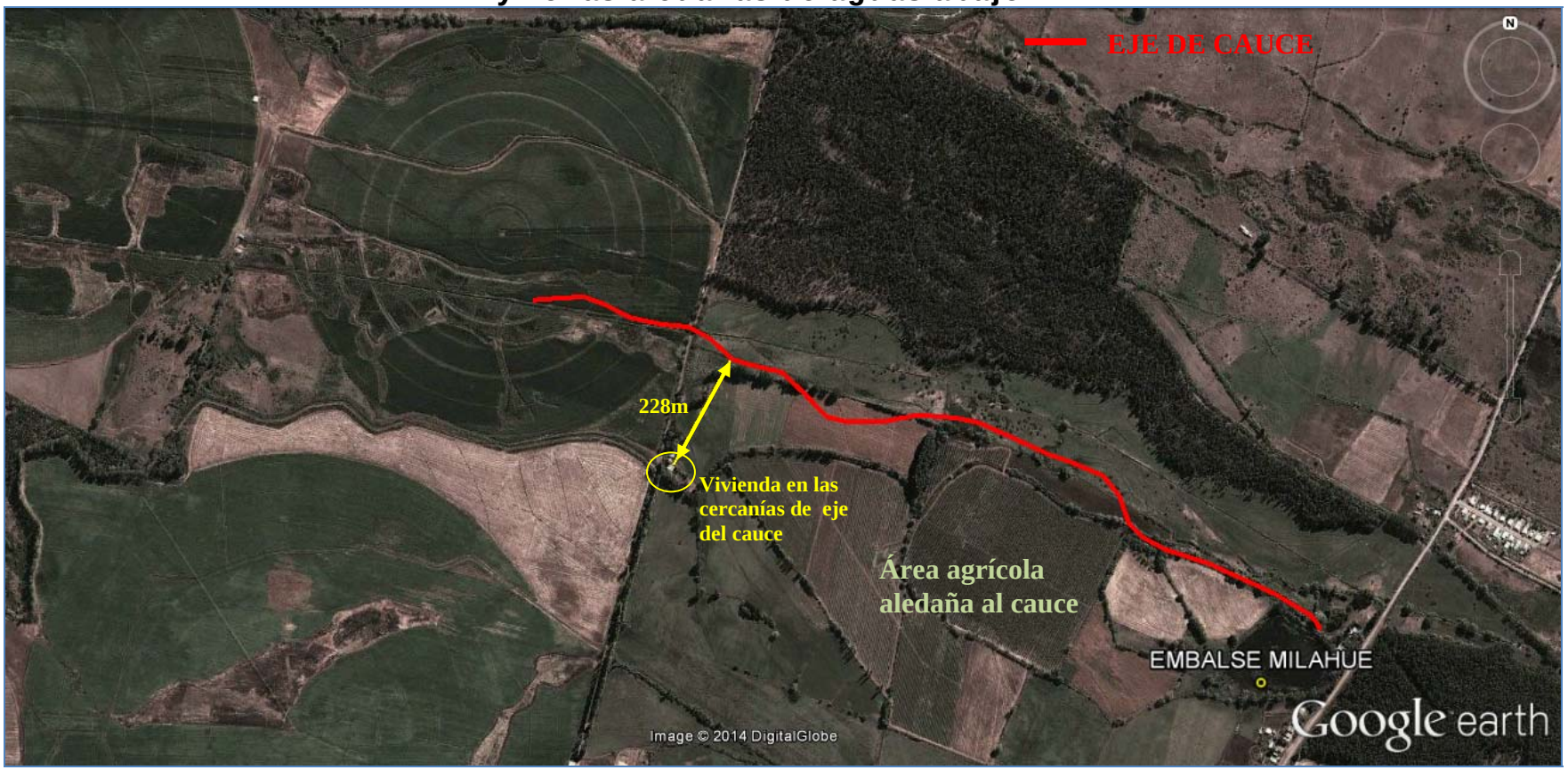
- Se aprecian pequeñas viviendas directamente a los pies del muro, en su borde oriente.
- Existen algunas pocas viviendas en las cercanías del eje trazado, aunque se distancian de manera perpendicular a dicho eje en 0,23km.
- La densidad poblacional se estima baja en las inmediaciones del cauce.

En lo referente a infraestructura vial u otra de importancia, en las cercanías del entorno de aguas abajo del embalse no se encuentran obras de este tipo.

Es importante destacar que este embalse es alimentado por un canal, y no tiene cuenca aportante.

En el siguiente fotograma Google Earth se muestra la situación del embalse respecto de su entorno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse Milahue y zonas aledañas de aguas abajo



A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse Milahue:

CUADRO 47-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE MILAHUE

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		Milahue	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Valle agrícola	---
	Tipo de Terreno	Terreno cultivado / baja densidad vegetal	---
	Pendiente Media	No hay	---
	Ancho medio	No hay	---
DISTANCIA A	Centros Poblados medidos por el Cauce	Aledaños	---
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	Aledaños	---
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	Aledañas	---
	Zonas Agrícolas	Aledañas	---
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Alta	---

47.4. Caudales Máximos Instantáneos

No se realiza estudio hidrológico de crecidas afluentes al embalse, ya que no posee cuenca aportante.

47.5. Análisis de Estabilidad

Los parámetros usados para el cálculo de la estabilidad del embalse Milahue fueron los siguientes:

		Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del Embalse (Dimensiones Máximas)			
Embalse	Material	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm^2)	Densidad Húmeda (t/m^3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho Coronamiento (m)
Millahue	Arcilla limo arenosa	18	0,20	1,80	2,6	34	41	3

Los resultados de los análisis de estabilidad se incluyen a continuación.

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Arriba Saturado	2.78
Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado	2.11
Estático Talud Aguas Arriba con Vaciamiento Rápido	3.15

Caso Analizado	Coeficiente de Seguridad
Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua	3.10
Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua	2.36

A continuación se incluyen las planillas de cálculo entregadas por el programa utilizado.

TALUD AGUAS ARRIBA

Figura Nº 1: Estático Con Agua

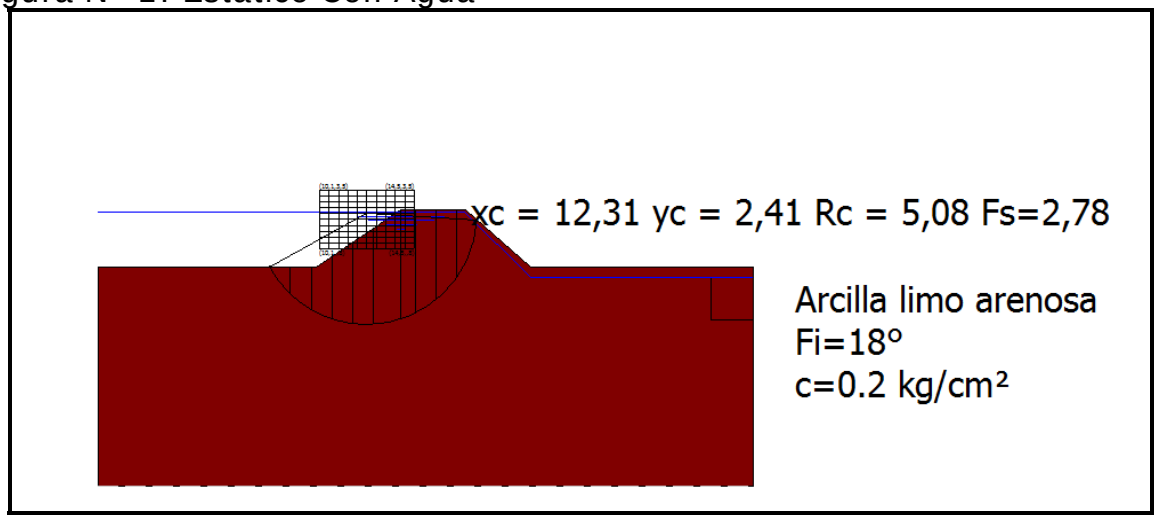


Figura Nº 2: Dinámico Con Agua

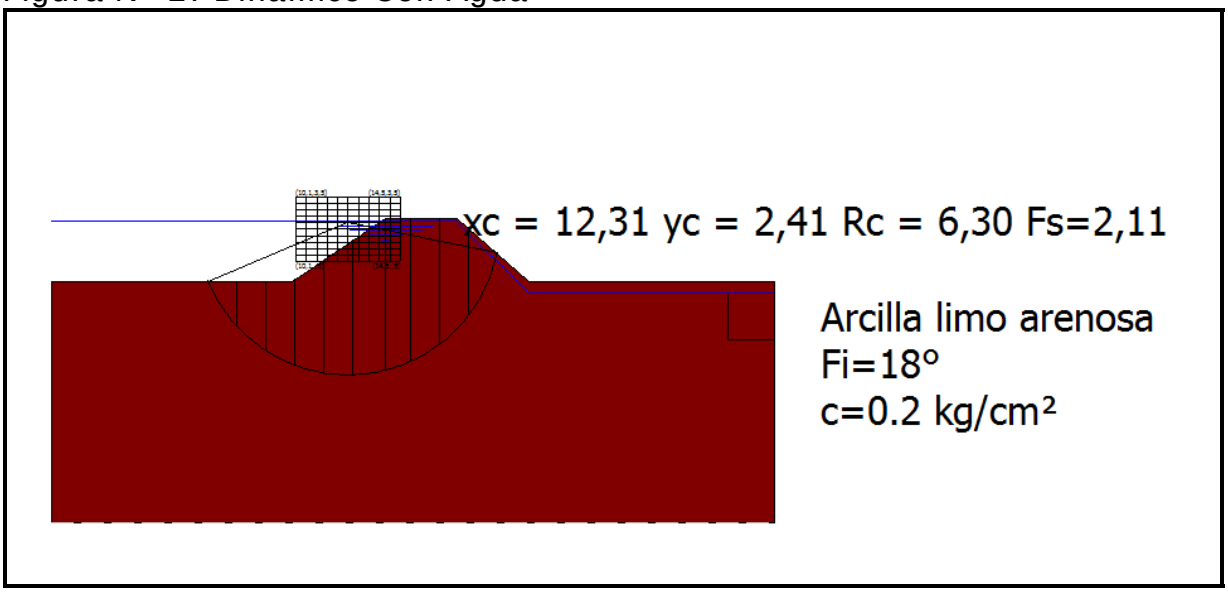
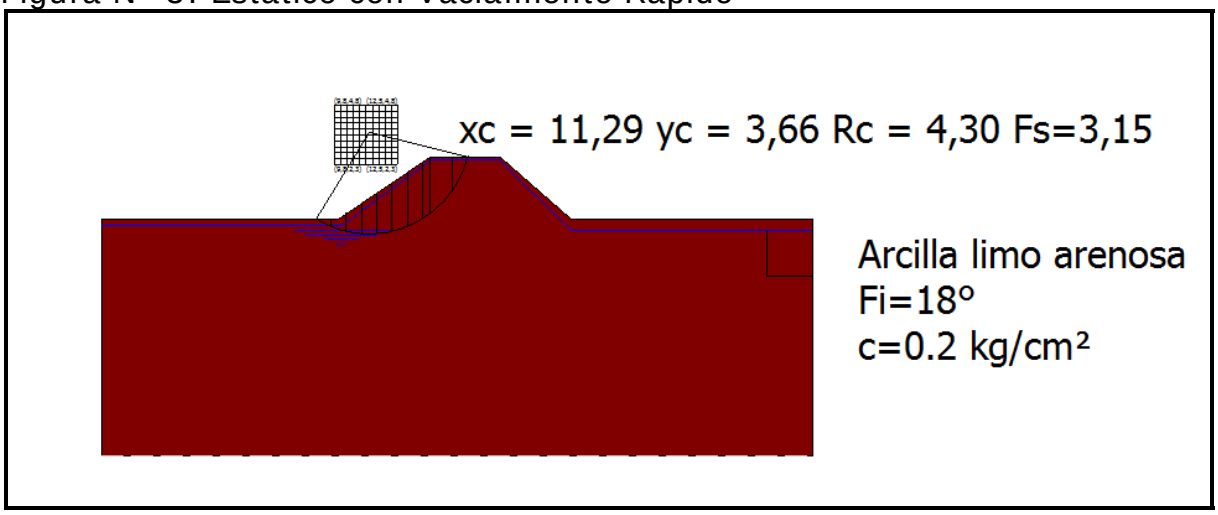


Figura Nº 3: Estático con Vaciamiento Rápido



TALUD AGUAS ABAJO

Figura Nº 4: Estático Sin Agua

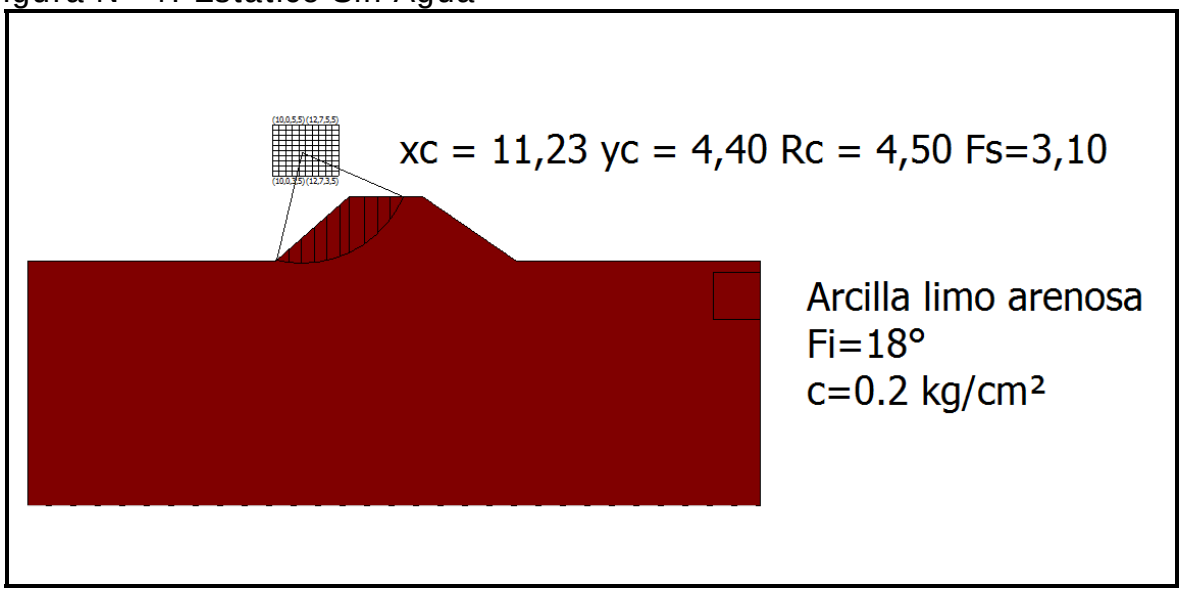
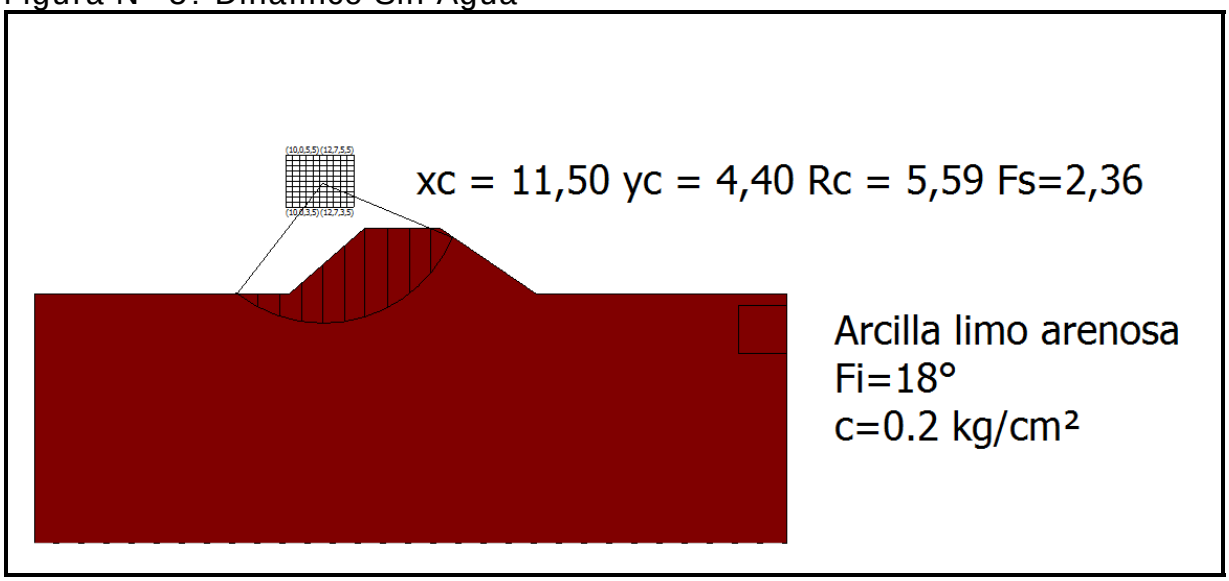


Figura Nº 5: Dinámico Sin Agua



- **Conclusiones**

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque Millahue sufrió graves daños debido al terremoto del año 2010. Los daños correspondieron a grietas longitudinales en el coronamiento con longitudes del orden de los 20 metros, en tres sectores diferentes. También se produjeron filtraciones al pie del talud de aguas abajo.

ii) En el trascurso de la visita y de las conversaciones sostenidas con vecinos del sector se concluyó que se efectuaron reparaciones al muro, sin embargo se desconoce el tipo de reparaciones.

iii) En todo caso, el muro se observa sano, sin grietas ni deformaciones visibles.

iv) Por otra parte, para el nivel de aguas durante la visita (embalse a un 80% de su capacidad) se apreciaron filtraciones moderadas.

v) En relación a los factores de seguridad al deslizamiento es importante señalar que en la práctica de la ingeniería nacional es habitual considerar, como valores mínimos aceptables para los factores de seguridad, 1.5 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico. Lo anterior no significa que el uso de valores distintos a estos sea inadecuado, lo que deberá ser definido por el profesional responsable de cada proyecto.

vi) De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizado, se tiene lo siguiente:

- Talud Aguas Arriba: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

- Talud Aguas Abajo: los valores obtenidos son mayores a los mínimos habitualmente aceptados.

vii) Aún cuando el embalse Millahue se aprecia en buenas condiciones relativas, se propone restringir su llenado hasta el 70% de su altura máxima, considerada hasta nivel de vertedero, hasta que el propietario entregue el proyecto de reparación, firmado por un ingeniero civil competente y con dicho proyecto aprobado por la DGA.

47.6. Filtraciones

La metodología del cálculo de las filtraciones a través del método de Lane se puede consultar en el capítulo 4.2.3, mientras que en el siguiente cuadro se incluyen los resultados.

CUADRO 47-3
PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

Nombre Embalse	Material	Parámetros Para Fórmula de Lane						Riesgo de
		Lh	Lv	L´	C´	h	C´*h	Filtración
El Llano	Arcillosos	6,9	0	2,3	1	6,0	6,0	Si

47.7. Caudal Máximo en Vertedero

El embalse Milahue no tiene vertedero pues es alimentado por un canal y además no tiene cuenca aportante.

47.8. Análisis de Riesgos

Tal como se expuso en el Capítulo 4.2.5, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p x V x E

Con:

p: probabilidad de ocurrencia del evento
V: Vulnerabilidad del evento
E: Potencialidad de falla ocasionada por el evento

Para el análisis se han considerado 2 tipos de eventos:

- Riesgo por Sismo
- Riesgo por Escorrentía

De acuerdo con lo indicado anteriormente, el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se ha considerado como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

El riesgo del embalse corresponde al mayor riesgo individual. Los valores “p” y “V” son independientes por evento, y el valor “E” es idéntico para todos los eventos.

- **Evento Sísmico**

A continuación se incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la V Región, asociado a la aceleración máxima definida en el estudio de estabilidad.

- **Análisis Probabilístico de Riesgo Sísmico (según Labbé y Saragoni, 1976)**

Embalse: Millahue, VIII R.

Parámetros a y b de ecuación Log N = a - b*M

N= Número de Eventos sobre Magnitud M
M= Magnitud Richter del sismo.

Parámetros a y b por Zonas Geográfica

	a	b
Arica - Taltal	7,63	1,14
Taltal - Linares	6,41	0,99
Linares-Pto Aisén	6,68	1,03
Pto Aysén Cabo de Hornos	4,46	0,81

a= 6,68 **b=** 1,03

M Magnitud	N Sismos/Año	(1/N) Años
6	3,1623	0,3
6,5	0,9661	1,0
7	0,2951	3,4
7,5	0,0902	11,1
8	0,0275	36,3
8,5	0,0084	118,9
9	0,0026	389,0

Dado que de la norma 433 y de Saragoni (1993) se ha determinado un aceleración máxima de **0,4 g** es decir, **392,00** cm/seg^2, la magnitud correspondiente, suponiendo R (hipotenusa al epicentro) igual a 150 km, resulta:

A=(565898*e^(1,29*M))/(R+80)^3,24 **R= 150 km**

(sismo intraplaca) **M= 8,019**

A= 392,02

Por lo tanto, interpolando linealmente, el período de retorno para los sismos intraplaca en la zona en estudio es de:

1/N= 37,3 años

Por lo tanto, para un sismo de magnitud 8,019 que se asocia a una aceleración de 392,02 cm/seg^2, el perído de retorno asociado es de 37,3 años

Nota:

Ecuación atenuación del sismo

Se consideró la fórmula se Saragoni y Ruiz (2005), para sismo intraplaca. Esta es:

$$Amáx. = \frac{565898 * e^{(1.29*Ms)}}{(R + 80)^{3.24}} (cm/s^2)$$

Donde:
Ms: Magnitud Richter
R: Hipotenusa al epicentro

Así, la probabilidad de ocurrencia es de 1 en 37,3 años, o 0,027.

Es importante destacar que el cálculo anterior corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un sismo destructor en la zona donde se ubica el embalse, y no sobre la estructura del muro y su suelo de fundación en particular. Ello se puede ver con más detalle en el cálculo de estabilidad del embalse (aceleraciones).

En el siguiente cuadro se muestra el valor de la variable V para el evento sísmico considerado.

VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTO SÍSMICO

Vaciamiento en función de la traza de la falla	**Riesgo "p"**	**Valor adoptado**
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40	
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75	
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95	
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95	

- **Evento de Escorrentía**

Para determinar la falla frente a eventos de escorrentía se determina en primer lugar la capacidad efectiva de evacuación de crecidas, evaluada como la capacidad de evacuación multiplicada por 3 coeficientes de capacidad, coeficientes cuyo cálculo se indica:

Calidad de construcción	**C1**	**Valor adoptado**
Obra de hormigón armado	1	
Obra de albañilería	0,8	
Obra de tierra	0,6	

Estado de conservación	**C2**	**Valor adoptado**
Obra en óptimo estado	1	
Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8	
Obra en mal estado, no confiable	0,6	

Calidad del canal de descarga	C3	Valor adoptado
Canal revestido en hormigón	1	
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Nota: No dispone de vertedero.

Capacidad de Evacuación= 0 m^3/s (No dispone de vertedero)

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno (250, 500 y 1.000 años), determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro (se asume que en el embalse está lleno, sin capacidad de regulación):

Tabulación de probabilidades	Vulnerabilidad
Q af < Q normal máx	0,05
Q normal máx < Q af < Q max. último	0,05 a 0,95
Q af > Q máx. último	0,95

Probabilidad Ocurrencia	Crecida Pluvial (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,004 (T= 250 años)	-	
0,002 (T= 500 años)	-	
0,001 (T= 1.000 años)	-	

Nota: No tiene cuenca aportante.

- **Potencialidad de Falla**

La potencialidad de falla viene dada por:

Según la cercanía a la faja probable de Inundación	E1	Valor adoptado
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0	
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5	0,5
Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento	**E2**	**Valor adoptado**
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0	
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8	
En un cauce mayor	0,05 a 0,5	

Nota: No tiene cuenca aportante.

El valor de los daños aguas abajo viene dado por el mayor valor entre los factores E1 y E2:

Daños hacia aguas abajo	**Valor**
Efecto	0,5

- **Riesgo**

Probabilidad de Ocurrencia de Sismo= 0,027
Probabilidad de Falla por Escorrentía= No posee (No tiene cuenca aportante)

Así, se escoge el sismo como evento desencadenante, debido a que es el único que tiene una probabilidad asociada.

El Riesgo Total viene dado por la multiplicación de los siguientes valores:

Probabilidad de Ocurrencia por Sismo= 0,027
Vulnerabilidad Frente al Sismo= 0,05
Potencialidad de Falla= 0,5

Riesgo Total= 0,027 x 0,05 x 0,5= 0,07 %

48. EMBALSE EL CACIQUE

48.1. Ficha de Catastro y Registro Fotográfico

A continuación se incluye la ficha de catastro y un registro fotográfico del embalse El Cacique.

FICHA DE CATASTRO

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

EMBALSE COLAPSADO EN VARIOS SECTORES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse El Cacique		Nº de ficha	43
Propietario	Forestal Río Grande S.A.		Fecha (dd/mm/año)	17/9/2014; 11:45 hrs.
	Panamericana Norte 986, Chillán			
	Rigoberto Rojo Guerra			
Año de construcción	1978		Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Reparación (SI) (NO)	NO REPARADO		Capacidad > 50.000 m3	Sí
Año de reparación			Altura del muro > 5 m	Sí
Cuenca / Código DGA	Río Itata/081			
Subcuenca / Código DGA	Itata Medio/0813			
Fuente del recurso	Estero Sin Nombre			

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VIII Región del Biobío	
Provincia	Ñuble	
Comuna	Pemuco	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 5.910.102	E= 752.818
Coordenadas UTM Centro		
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 5.910.524	E= 751.197
Datum	WGS-84, Huso 18	
Altitud m.s.n.m	157	

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	
Generación de energía	
Abastecimiento de agua	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	
Recreación	X
Otros usos	

4. TIPO DE EMBALSE

	("x")
Presa de tierra homogénea	X
Presa de material granular graduado	
Presa de enrocados (CFRD)	
Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)	
Presa de RCC	
Otros tipos	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento	1700 m
Ancho del coronamiento	3 a 4 m
Desarrollo del talud aguas abajo	18 m
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	no apreciable
Paramentos verticales	no
Ángulo talud de aguas abajo	25°
Ángulo talud de aguas arriba	30°

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	8
Profundidad máxima de agua en sector del muro	no medible
Área estimada o calculada de la poza (m2)	400.000
Ancho máximo de la poza (m)	1.300
Largo de la poza (m)	360
Volumen declarado o proyectado (m3)	2.000.000

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	
Identificación del punto de toma de muestra	
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	

Nota: Embalse colapsado, no se efectuó ensayo con Penetrómetro

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría	Geometría irregular, coronamiento de ancho variable
Compacidad del material estructural	Media
Uniformidad de los taludes	Taludes irregulares, erosionados, con daños
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Sí
Grietas visibles y su ubicación	Sí, falla generalizada sector Este del muro
Indicios de deslizamientos y ubicación	Sí, sector Este del muro
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No
Tipo de revestimiento del muro	Sin revestimiento

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")	*Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:*	("x")
Vertederos frontales	SIN VERTEDERO	Vertederos libres, sin control	NO HAY
Vertederos laterales		Vertederos controlados por compuertas	
Vertederos de Campana			

"x" indica localización y estructura del vertedero

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:		*Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:*	
Vertedero de pared delgada	SIN VERTEDERO	Rectangulares	NO HAY
Vertedero de pared gruesa		Trapezoidales	
Vertedero con perfil hidráulico		Triangulares	
		Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	SIN VERTEDERO
Material constructivo	
Estado de conservación y operatividad	
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE

Tipo de estructura	Tubería fierro fundido
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	No está en funcionamiento

10. CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE

Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce	Cauce natural, de vasta vegetación, i= 0,016, ancho medio del cauce 18 m aprox.
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1,5 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	200 m
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja, algunas casas
Distancia hacia zonas agrícolas	1 km (distancia estimada directamente entre el embalse y la zona agrícola)
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,7 km, Ruta 5
Área de riego servida por el tranque analizado	No aplica, uso recreacional

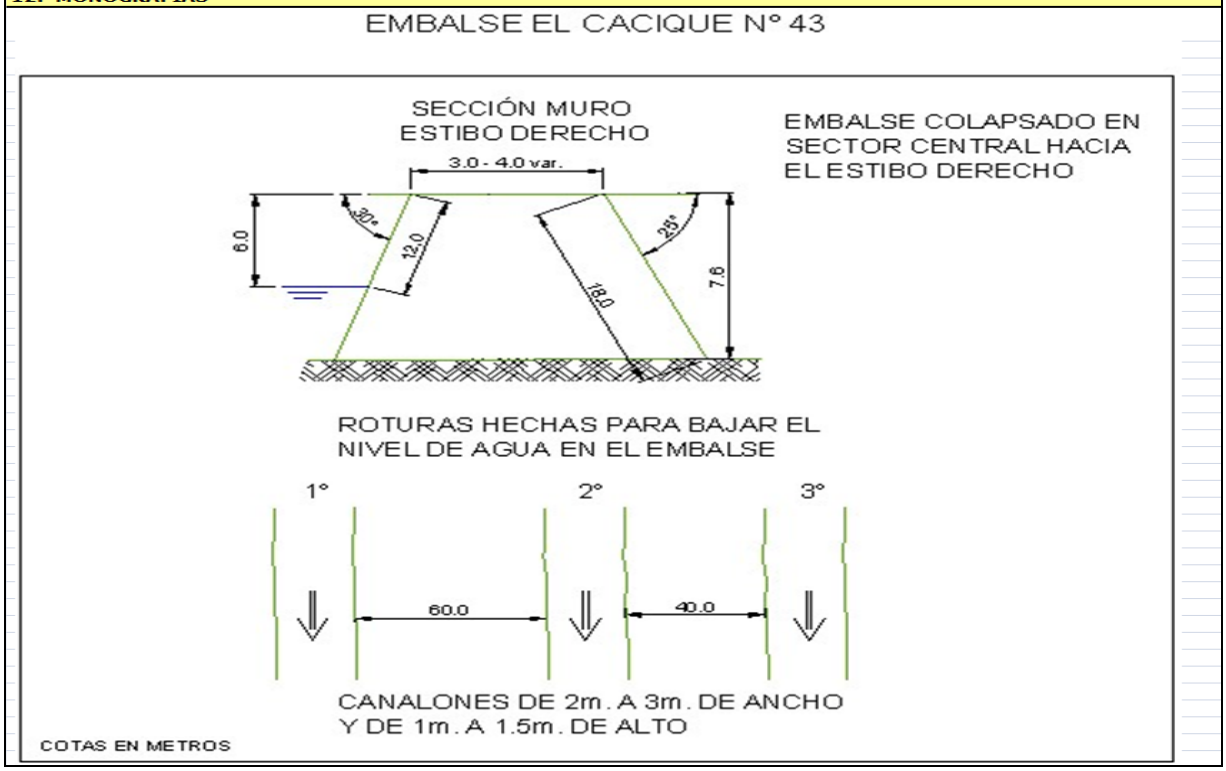
11. OBSERVACIONES

deslizamientos y fallas de

Embalse colapsado

Se construyeron 3 canalones de emergencia para mantener bajo el nivel de agua en el embalse.

12. MONOGRAFÍAS



EMBALSE CACIQUE (43)

MURO COLAPSADO EN VARIOS SECTORES

SECTORES COLAPSADOS EN PARTE CENTRAL DEL MURO

ZANJAS DE ALIVIO (PRIMERA ABERTURA) PARA DESCARGA DE AGUA DEL EMBALSE MIRADA DESDE EL PIE DEL MURO DE AGUAS ABAJO

ZANJA MIRADA HACIA AGUAS ABAJO

SEGUNDA ABERTURA DEL MURO

TERCERA ABERTURA DEL MURO

48.2. Antecedentes Obtenidos en la Visita. Ensayo con Penetrómetro

De la visita efectuada, en la cual se observaron cortes en diferentes sectores cercanos al embalse El Cacique, es posible establecer que los suelos donde se encuentra fundado, corresponden a arcilla arenosa, de color café con gravas dispersas. Son suelos de plasticidad media, baja permeabilidad y compacidad media a alta.

En cuanto a la presa misma, esta se encuentra formada por rellenos de suelos similares a los descritos en el párrafo anterior, es decir, arcillas arenosas con gravas dispersas. La compacidad que tienen los materiales colocados en el muro es media a alta, su plasticidad es media a baja y la permeabilidad asociada es baja.

El tranque El Cacique sufrió daños muy severos debido al terremoto del año 2010. Dichos daños consistieron en grandes grietas longitudinales en el coronamiento del muro, en toda la sección este del muro (30% de la longitud total) y el deslizamiento de grandes bloques del talud de aguas arriba hacia el lago. Debido a la magnitud de los daños, personal de la forestal a cargo del tranque decidió efectuar tres roturas en el muro. Cada rotura tiene unos 15 metros de longitud, con su cota de fondo la más oriental al nivel del fondo del embalse mientras que las otras dos levemente más arriba. Con las tres roturas se ha mantenido el nivel de aguas al mínimo durante los cuatro años que han transcurrido desde el terremoto.

En el transcurso de la visita se verificó que la situación del embalse es la misma de los años anteriores, no habiendo, aparentemente, ninguna intención de repararlo.

No se realizó el ensaye debido a que el tranque está colapsado en variados sectores, no siendo posible su utilización en estas condiciones.

48.3. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Hacia Aguas Abajo

El embalse de recreación El Cacique se encuentra en la comuna de Pemuco, provincia de Ñuble, Región del Biobío.

De acuerdo a la referencia [3], para llegar a él desde la localidad de Pemuco, se debe tomar la ruta N-85 en dirección al poniente; al llegar al cruce con la ruta N-755, tomar ésta en dirección al norte. Al cabo de 5km, se encontrará portón con candado, al que se debe ingresar. El camino interior del predio (propiedad de CELCO) lleva, luego de 10km en dirección oriente, al embalse.

La geometría en planta de este embalse es irregular, en que el único muro se encuentra por su borde norte, teniendo las siguientes características:

- Gran longitud: 1,34km, aproximadamente.
- Eje longitudinal con curvas y contracurvas.

Vista en planta del embalse El Cacique – Eje del muro y sentido pendiente del terreno aguas abajo

Dada la gran extensión del muro, tanto el nacimiento como el trayecto de una vía preferente de escurrimiento se verán fuertemente influenciados por la ubicación de la eventual falla en el muro.

Lo anterior, sumado al hecho de que la referencia [3] indica que las fallas más graves comprometen al muro en 200m de su longitud, hace que sea difícil detectar a priori la vía preferente de escurrimiento ante un eventual colapso.

Sin perjuicio de lo anterior, para los fines de realizar el trazado de una de las tantas alternativas para la vía preferente de escurrimiento, se tomará en consideración lo que la inspección visual de la imagen satelital indica como vía de escurrimiento preferente (ver fotograma adjunto).

El eje de cauce trazado parte, tal como se ha establecido, a los pies del tramo central del muro, y termina descargando a un estero con escorrentía oriente-poniente. La longitud del cauce es de 800m con una pendiente media estimada de 1,63% y tiene características de quebrada. El cauce en particular trazado, cruza en su trayecto terrenos con alta presencia vegetal de tipo arbustivo, y es rodeado por áreas forestales de gran densidad.

En general, independientemente del trazado del cauce, los terrenos ubicados aguas abajo del muro son de tipo boscoso de alta densidad, ya que se trata de plantaciones forestales.

En términos de zonas habitadas o con infraestructura vial (o de otra clase) importante, no existen áreas u obras de este tipo que pudieran verse afectadas en las inmediaciones del terreno aguas abajo del muro. Ni la ruta N-791 ni los sectores habitados aledaños a ella, ubicados al norte del estero mencionado al cual descarga la quebrada en estudio, se verían afectados por un eventual colapso del embalse, ya que su cota de terreno es superior a la cota del lecho del estero.

No obstante, es importante destacar que el estero al cual descargarían las aguas del embalse El Cacique, es un afluente del río Palpal, el cual a su vez cruza bajo la ruta 5. Sin embargo, este cruce se ubica a 17km aguas abajo de la descarga del embalse al estero, por lo que el efecto amortiguador de dichos cursos se estima suficiente como para no considerar en riesgo dicha autopista. En el siguiente fotograma Google Earth se muestra el embalse y su contexto respecto del terreno de aguas abajo.

Fotograma Google Earth – Ubicación General Embalse El Cacique y zonas aledañas de aguas abajo

A continuación se entregan los parámetros específicos de caracterización del cauce principal aguas abajo del embalse El Cacique:

CUADRO 48-1
CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y USO DE SUELOS AGUAS ABAJO – EMBALSE EL CACIQUE

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Nombre del embalse o tranque		El Cacique	---
CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL CAUCE	Tipo de Cauce	Quebrada	---
	Tipo de Terreno	Vegetal de alta densidad arbustiva	---
	Pendiente Media	0,0163	m/m
	Ancho medio	18	m
DISTANCIAS A	Centros Poblados medidos por el Cauce	1,5	km
	Centros Poblados Perpendicular al Cauce	0,2	km
	Infraestructura Vial u Otra de Importancia	1,7	km
	Zonas Agrícolas	1	km
OTROS PARÁMETROS	Densidad Poblacional en cercanías del embalse	Baja	---

48.4. Caudales Máximos Instantáneos

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 4.2.1, a continuación se presentan los valores de los parámetros calculados con los cuales se calcularos los caudales máximos según diferentes métodos.

- **Antecedentes Morfológicos:**

Nombre	Características Cuenca Aportante				
	Area (km2)	Lcauce (km)	Cota max (m)	Cota min (m)	Dif Cota (m)
El Cacique	19,509	10,206	217	156	61

- **Tiempos de Concentración Calculados (hrs.)**

CHW	Kirpich	N.Españolas	tc adoptado
2,855	3,491	5,127	3,991

Los caudales máximos calculados son los que se incluyen en el Cuadro 48-2 siguiente.

CUADRO 48-2
CAUDALES MÁXIMOS CALCULADOS

Nº	T (años)	DGA-AC (Pluvial)	V-K MOD	RAC. MOD.	RACIONAL	HUS	ADOPTADO	MAX
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
43 Embalse El Cacique	2	9,22	13,39	11,72	7,94	15,46	14,42	15,46
	5	14,00	20,57	16,85	11,76	21,54	21,06	21,54
	10	17,07	24,91	19,70	15,32	25,51	25,21	25,51
	20	20,15	29,21	22,44	19,47	29,26	29,24	29,26
	25	21,00	30,61	23,34	19,84	30,25	30,43	30,61
	50	24,07	34,94	25,98	24,89	27,51	31,23	34,94
	100	26,98	39,53	28,75	30,30	37,75	38,64	39,53
	250	31,34	45,71	33,00	34,09	40,36	43,04	45,71
	500	34,46	50,26	35,95	38,00	43,78	47,02	50,26
	1000	37,58	54,81	38,90	41,91	47,20	51,00	54,81

48.5. Análisis de Estabilidad

En base a lo ya establecido se presentan las siguientes conclusiones:

i) El tranque El Cacique sufrió daños muy severos debido al terremoto del año 2010. Dichos daños consistieron en grandes grietas longitudinales en el coronamiento del muro, en toda la sección este del muro (30% de la longitud total) y el deslizamiento de grandes bloques del talud de aguas arriba hacia el lago.

ii) Debido a la magnitud de los daños, personal de la forestal a cargo del tranque decidió efectuar tres roturas en el muro. Cada rotura tiene unos 15 metros de longitud, con su cota de fondo la más oriental al nivel del fondo del embalse mientras que las otras dos levemente más arriba.

iii) Con las tres roturas se ha mantenido el nivel de aguas al mínimo durante los cuatro años que han transcurrido desde el terremoto.

iv) En el transcurso de la visita se verificó que la situación del embalse es la misma de los años anteriores, no habiendo, aparentemente, ninguna intención de repararlo.

48.6. Filtraciones

No se realizaron los cálculos debido a que el muro se encuentra colapsado.

48.7. Caudal Máximo en Vertedero

Se calculó la capacidad de cada uno de los canalones que existen hoy para desaguar las aguas, a saber.

			Longitud	Carga	Altura	Ancho	Pend.	Coef.	Altura	coef.	Diám.	**Caudal**	
	Ubicación		Vertedero	Máxima				Manning	Barrera	gasto		**(m3/s)**	
Nombre del Embalse	**Vertedero**	**Obra y Tipo de Vertedero**	L	h	H	B	i	n	a	m	D	**Q**	
El Cacique	3 canalones de desagüe			1,5		2,5	0,01	0,035				**8,30**	25

48.8. Análisis de Riesgos

No se ha realizado análisis de riesgo debido a que el muro del embalse se encuentra colapsado.