EMB-5186
v.1 c.1

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

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

INFORME FINAL
VOLUMEN 1: METODOLOGÍA
EMBALSES 1-25

REALIZADO POR:

ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L
CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO

S.I.T. Nº 209

SANTIAGO, 2009

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Industrial Sr. Sergio Bitar H.

Director General de Aguas
Abogado Sr. Rodrigo Weisner L.

Jefe Unidad de Fiscalización
Biólogo Marino Sr. Francisco Riestra Miranda

Inspector Fiscal
Ingeniero Agrónomo Sr. Guillermo Sepúlveda R.

ARRAU INGENIERIA E.I.R.L

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Sr. José Lagos R

Profesionales
Ingeniero en Medio Ambiente y Recursos Naturales Sr. Raimundo Barrios O. (Coordinador)
Ingeniero Civil Sr. Luis Arrau del C.
Ingeniero Civil Sr. Donaldo Astorga M.
Ingeniero Civil Sra. Milena Muñoz B.
Ingeniero Civil Sr. Felipe Espinoza C.

Técnicos
Ingeniero Rec. Nat. Renovables (E) Sr. Wilson Ureta P.
Técnico Sr Eduardo Sánchez S.
Técnico Sr Richard Carmona G.

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

VOLUMEN 1

PARTE A: ASPECTOS METODOLÓGICOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS
1.1 INTRODUCCIÓN
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS

2. ÁREA DE ESTUDIO

3. TRABAJOS DE TERRENO
3.1 METODOLOGÍA
3.2 FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES
- 3.2.1 Antecedentes Generales
- 3.2.2 Ubicación de la Presa
- 3.2.3 Uso o Destino del Embalse
- 3.2.4 Tipo de Embalse
- 3.2.5 Geometría de la Presa
- 3.2.6 Estimación Capacidad Máxima del Embalse
- 3.2.8 Características del Muro
- 3.2.8 Características Obras Evacuador de Crecidas
- 3.2.9 Características Obras de Entrega y Desagüe de Fondo
- 3.2.10 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Aguas Abajo
- 3.2.11 Monografía
- 3.2.12 Observaciones

4. ESTUDIO DE CRECIDAS
4.1 INTRODUCCIÓN
4.2 PERÍODOS DE RETORNO SEGÚN TIPO DE OBRA
4.3 CÁLCULO DE CRECIDAS
- 4.3.1 Tiempo de Concentración
- 4.3.2 Precipitaciones Máximas
- 4.3.3 Caudales de Crecidas Mediante la Fórmula Racional Modificada
- 4.3.4 Caudales de Crecidas Mediante la Relación de Verni y King Modificada
- 4.3.5 Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)
- 4.3.6 Estimación de Caudales de Deshielo Máximos Probables Método DGA

4.4 ANÁLISIS DE CURVA NÚMERO

4.5 VALIDACIÓN DE CAUDALES
4.5.1 Análisis de Frecuencia
4.5.2 Cuencas Controladas
4.5.3 Validación de Caudales en Embalses

5. ANÁLISIS DE LOS EMBALSES
5.1 INTRODUCCIÓN
5.2 ANCHO DEL CORONAMIENTO
5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA
5.3.1 Método de Bishop Simplificado
5.3.2 Factores de Seguridad
5.3.3 Condiciones de Análisis
5.3.4 Aplicación con el Software SLOPE/W
5.4 EVACUADOR DE CRECIDAS

6. SISMISIDAD
6.1 SISMICIDAD EN LA ZONA DE CHILE CENTRAL
6.2 COEFICIENTES SÍSMICOS ADOPTADOS

7. MÉTODO DE ANÁLISIS DE RIESGOS
7.1 BASE METODOLÓGICA HAZOP
7.2 ADAPTACIÓN DEL MÉTODO AL ANÁLISIS DE EMBALSES
7.2.1 Eventos Desencadenantes
7.2.2 Análisis de la Vulnerabilidad
7.2.2.1 Eventos Sísmicos
7.2.2.2 Eventos de Escorrentía
7.2.2.3 Evento de Piping
7.2.3 Efectos
7.2.3.1 Magnitud del vaciamiento
7.2.3.2 Criterio de Definición de Potencialidad de Ocurrencia de Efectos en el Valle

8. CONCLUSIONES

ANEXOS

ANEXO 3-1 VISITA ESPECIALISTA

ANEXO 5-1 CÁLCULO CAPACIDAD VERTEDERO

PLANOS

PLANO 1 CUENCAS APORTANTES A LOS EMBALSES

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

1. EMBALSE LOS SAPOS
2. EMBALSE LOS MAQUIS
3. EMBALSE PILAICITO
4. EMBALSE ROMERAL
5. EMBALSE PICARQUÍN
6. EMBALSE ESMERALDA
7. EMBALSE CHANCON
8. EMBALSE SAN ISIDRO
9. EMBALSE MILLAHUE
10. EMBALSE SAN HERNÁN (SAN JOSÉ LAS PATAGUAS)
11. EMBALSE IDAHUE
12. EMBALSE SAN VICENTE
13. EMBALSE COCAUQUEN O PAILIMO 1
14. EMBALSE PIEDRAS BLANCAS O PAILIMO 2
15. EMBALSE LA ROSA
16. EMBALSE ALCONES (EL SAUCE)
17. EMBALSE MALLERMO
18. EMBALSE AGUADILLA
19. EMBALSE LOS MAITENES
20. EMBALSE SAN GUILLERMO (SANTA MARTA)
21. EMBALSE POROTAL
22. EMBALSE YERBAS BUENAS (SANTA JULIA)
23. EMBALSE CARRIZAL
24. EMBALSE PIHUCHÉN
25. EMBALSE LA ESPERANZA

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

VOLUMEN 2

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

26. EMBALSE TIERRUCA
27. EMBALSE GUIDO SOTO
28. EMBALSE LOS NOVIOS
29. EMBALSE ALTO COLORADO
30. EMBALSE PAÑILONCO
31. EMBALSE RINCONADA (LA MACARENA)
32. EMBALSE SANTA ISABEL
33. EMBALSE CONVENTO VIEJO
34. EMBALSE LOLOL
35. EMBALSE CULENCO
36. EMBALSE PATAGUILLA
37. EMBALSE LOS NEGROS
38. EMBALSE EL GUAICO
39. EMBALSE EL HUIQUE
40. EMBALSE SANTA LUCIA (SANTA MARGARITA)
41. EMBALSE JAIME RAMIREZ
42. EMBALSE LA TROYA
43. EMBALSE NILAHUE
44. EMBALSE EL CARDONAL
45. EMBALSE LAGUNILLAS
46. EMBALSE LA GLORIA (LA CRUZ)
47. EMBALSE QUESERÍA
48. EMBALSE SALTO DE AGUA
49. EMBALSE CALLIHUE
50. EMBALSE PATAGUAS CERRO GUIRABO

PARTE A: ASPECTOS METODOLÓGICOS

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Código de Aguas, a la Dirección General de Aguas le corresponde la facultad de fiscalización en diferentes campos de acción en el manejo de los recursos hídricos. En forma específica, 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 o cuyo muro tenga más de 5 metros de altura. (LIBRO TERCERO, TÍTULO I DE LA CONSTRUCCIÓN DE CIERTAS OBRAS HIDRÁULICAS).

Además, en ese mismo Código, en su artículo 307, se señala que la Dirección General de Aguas, inspeccionará las obras mayores, cuyo deterioro o eventual destrucción pueda afectar a terceros, pudiendo ordenar su reparación y estableciendo, mediante resoluciones fundadas, normas transitorias de operación de las obras mientras no se efectúen las su reparaciones necesarias.

En este contexto legal, el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas, está iniciando un proceso de verificación del estado de las obras de embalses que pudieran presentar condiciones de riesgo en los sectores cercanos a éstas.

Para dicho proceso de verificación, se requiere conocer en que situación se encuentran las obras denominadas como Embalses Mayores, de acuerdo con lo señalado en la letra a) del artículo 294 del Código de Aguas, incluyendo, además, embalses cuya altura o capacidad no cabe en esa definición, pero que podrían generar potencial peligro para asentamientos humanos.

Por lo anterior, se plantea la realización de este estudio de Catastro de Embalses, con la finalidad de generar una base de información actualizada, orientada a apoyar la toma de decisiones por parte de la Dirección General de Aguas.

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.

El alcance general que tiene el catastro de embalses, es la recolección de las características físicas de las obras e hidrografías de los cuerpos de agua artificiales, mediante la visita a terreno de profesionales expertos; la medición de algunas dimensiones típicas de dichas obras, y la obtención de información mediante la entrevista a sus propietarios y/o beneficiarios.

El presente trabajo, además de lo último señalado, se evaluó, con datos obtenidos directamente en terreno, riesgos asociados a cada embalse a través de la aplicación de ciertas metodologías conocidas para estos efectos.

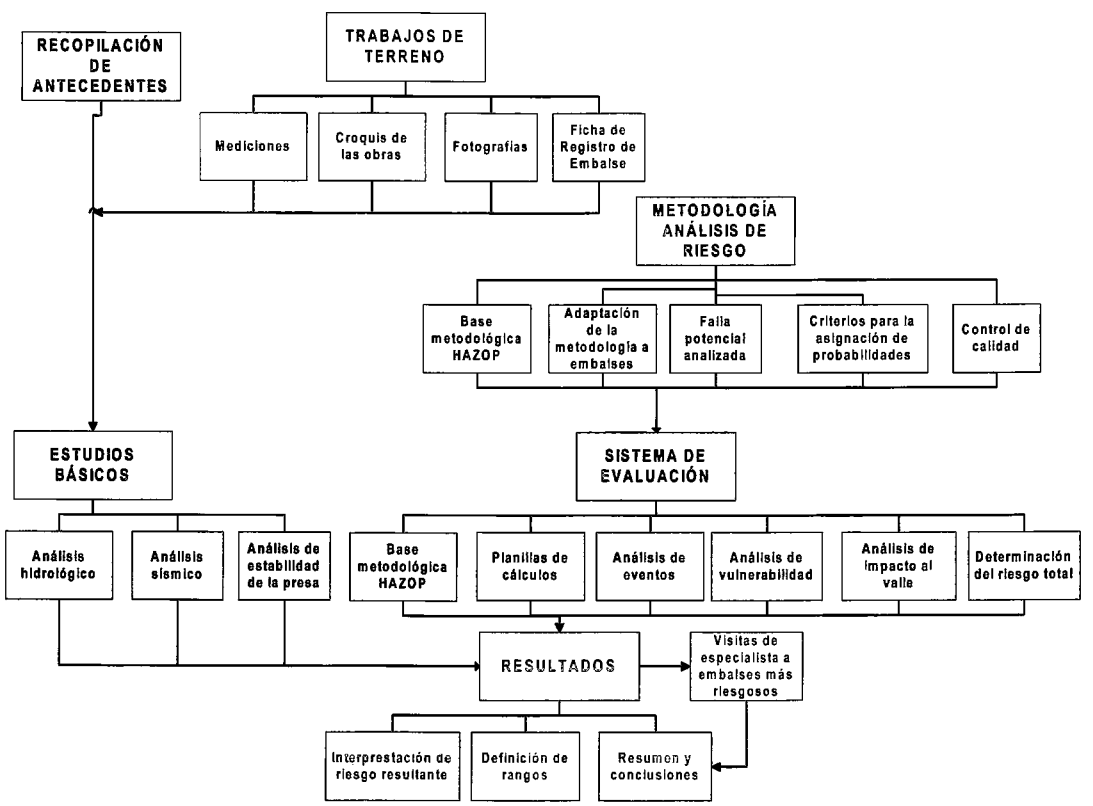
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El ***Objetivo General*** de este estudio es realizar un catastro de los embalses orientado a prevenir que el deterioro o eventual destrucción de estas obras pueda afectar la seguridad de terceros, según lo indica el artículo 307 del Código de Aguas.
Los ***Objetivos Específicos*** son los siguientes:

- Recopilación y análisis de antecedentes.
- Inspección en terreno del número de embalses ofertados.
- Evaluación del riesgo asociado a cada embalse.
- Generar información actualizada del estado de cada embalse, orientada a priorizar los casos de mayor riesgo y a la toma de decisiones.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS

En forma simplificada y resumida, la metodología de trabajo se resume en el esquema siguiente. En esta figura se pueden observar todos y cada uno de los elementos que componen el trabajo a desarrollar, tales como: recopilación de antecedentes, trabajos de terreno, estudios básicos, análisis de riesgo, sistema de evaluación, y resultados.



1.4 CONTENIDO DEL INFORME

El informe contiene dos volúmenes que se describen a continuación:

- Volumen I:
  - Parte A:
    - Informe Metodológico, donde se describen los Objetivos, Área de estudio, Trabajos de terreno, Estudio de Crecidas, Análisis de los Embalses, Sismicidad y Análisis de Riesgos.
    - Anexos
  - Parte B:
    - Embalses 1 – 20, se presenta una completa descripción de 20 Embalses Visitados.
    -
- Volumen II:
  - Parte B: Embalses 21 - 50, se presenta una completa descripción de 30 Embalses Visitados.

CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDIO

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Esta región se extiende entre los paralelos 33°51' y los 35°01' de latitud sur y desde el meridiano 70°02' de longitud oeste hasta el océano Pacífico. Su límite oeste es el océano Pacífico; el este es la frontera con Argentina en la Cordillera de los Andes; el norte, se enfrenta con la V Región de Valparaíso y con la Región Metropolitana de Santiago, y al sur, con la VII Región del Maule.

La superficie de esta región es de 16.387 km^2. Se encuentra dividida en tres provincias y treinta y tres comunas. La capital de esta región es Rancagua, que se encuentra en la Provincia de Cachapoal.

En el cuadro siguiente se consignan los datos principales de la VI Región.

CUADRO 2-1
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA VI REGIÓN

PROVINCIA	SUPERFICIE (km^2)	POBLACIÓN (hab.)	COMUNAS
Cachapoal	7.384	542.901	Las Cabras, Coltauco, Doñihue, Rancagua, Graneros, Mostazal, Codegua, Machalí, Olivar, Requínoa, Rengo, Malloa, Quinta de Tilcoco, Coinco, San Vicente, Peumo y Pichidegua.
Colchagua	5.678	196.566	San Fernando, Chimbarongo, Placilla, Nancagua, Chépica, Santa Cruz, Palmilla, Peralillo, Lolol y Pumanque.
Cardenal Caro	3.324,8	41.160	Navidad, Litueche, La Estrella, Pichilemu, Marchihue y Paredones.

Los embalses que forman parte de este estudio presentan en el Cuadro 2-2 y su ubicación espacial en la Figura 2-1.

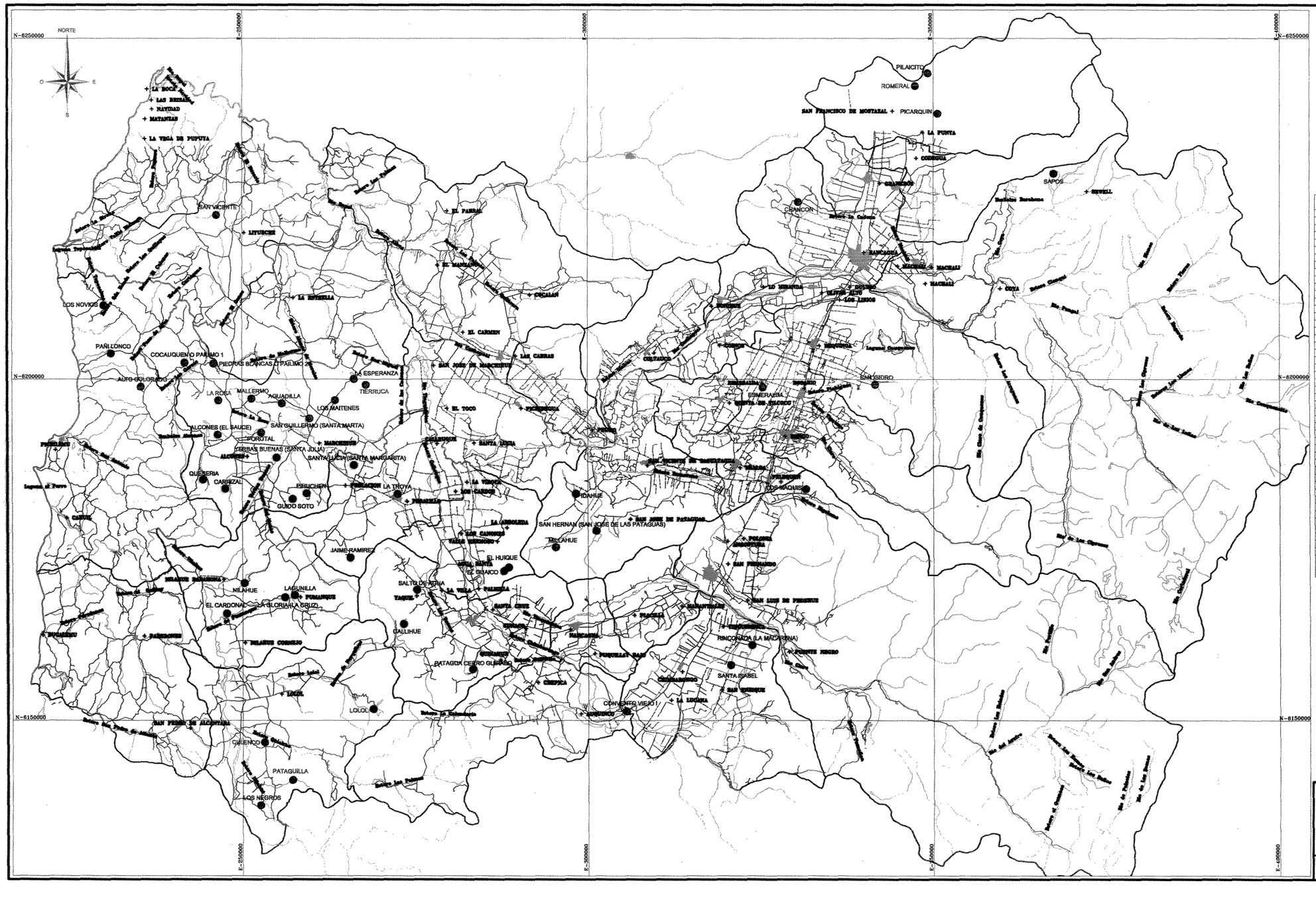
CUADRO 2-2
LISTADO EMBALSES PRIORIZADOS
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

Nº	NOMBRE EMBALSE	PROVINCIA	COMUNA	COORDENADAS UTM	
				NORTE	ESTE
1	Sapos	Cachapoal	Machali	6.230.229	367.337
2	Los Maquis	Cachapoal	Malloa	6.182.844	331.555
3	Pilaicito	Cachapoal	Mostazal	6.244.890	349.185
4	Romeral M1	Cachapoal	Mostazal	6.243.049	347.347
5	Picarquín	Cachapoal	Mostazal	6.238.987	350.614
6	Esmeralda	Cachapoal	Quinta de Tilcoco	6.198.838	325.306
7	Chancón	Cachapoal	Rancagua	6.226.085	330.426
8	San Isidro	Cachapoal	Requínoa	6.199.203	341.608
9	Millahue	Cachapoal	San Vicente	6.175.352	295.370
10	San José de Las Pataguas	Cachapoal	San Vicente	6.176.741	301.185
11	Idahue	Cachapoal	San Vicente	6.182.993	298.002
12	San Vicente	Cardenal Caro	Litueche	6.224.151	246.263

CUADRO 2-2
LISTADO EMBALSES PRIORIZADOS
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

Nº	NOMBRE EMBALSE	PROVINCIA	COMUNA	COORDENADAS UTM	
				NORTE	ESTE
13	Cocauquén o Pailimo I	Cardenal Caro	Marchigüe	6.202.442	241.686
14	Piedras Blancas o Pailimo II	Cardenal Caro	Marchigüe	6.202.292	245.859
15	La Rosa	Cardenal Caro	Marchigüe	6.196.899	246.563
16	Alcones	Cardenal Caro	Marchigüe	6.191.839	246.460
17	Mallermo	Cardenal Caro	Marchigüe	6.197.160	251.383
18	Aguadilla	Cardenal Caro	Marchigüe	6.196.467	255.791
19	Los Maitenes	Cardenal Caro	Marchigüe	6.196.928	263.510
20	San Guillermo	Cardenal Caro	Marchigüe	6.194.250	259.764
21	Porotal	Cardenal Caro	Marchigüe	6.192.137	252.772
22	Yerbas Buenas	Cardenal Caro	Marchigüe	6.188.470	254.996
23	Carrizal	Cardenal Caro	Marchigüe	6.183.922	247.530
24	Pihuchén	Cardenal Caro	Marchigüe	6.183.235	259.332
25	La Esperanza	Cardenal Caro	Marchigüe	6.200.007	266.241
26	Tierruca	Cardenal Caro	Marchigüe	6.199.172	266.942
27	Guido Soto	Cardenal Caro	Marchigüe	6.182.397	257.311
28	Los Novios	Cardenal Caro	Pichilemu	6.210.881	229.965
29	Alto Colorado	Cardenal Caro	Pichilemu	6.198.892	235.339
30	Pañi Lonco	Cardenal Caro	Pichilemu	6.203.769	231.006
31	Rinconada	Colchagua	Chimbarongo	6.161.018	323.696
32	Santa Isabel	Colchagua	Chimbarongo	6.158.082	320.599
33	Convento Viejo I	Colchagua	Chimbarongo	6.151.323	305.494
34	Lolol	Colchagua	Lolol	6.151.651	268.929
35	Culenco	Colchagua	Lolol	6.146.761	253.163
36	Pataguilla	Colchagua	Lolol	6.141.301	257.202
37	Los Negros	Colchagua	Lolol	6.137.604	252.592
38	El Guaico	Colchagua	Palmilla	6.171.836	287.841
39	El Huique	Colchagua	Palmilla	6.172.368	288.543
40	Santa Lucía	Colchagua	Peralillo	6.187.356	266.233
41	Jaime Ramírez	Colchagua	Peralillo	6.173.801	265.684
42	La Troya	Colchagua	Peralillo	6.183.149	272.515
43	Nilahue	Colchagua	Pumanque	6.170.076	250.295
44	El Cardonal	Colchagua	Pumanque	6.165.269	247.709
45	Lagunilla	Colchagua	Pumanque	6.168.284	257.536
46	La Gloria	Colchagua	Pumanque	6.167.985	256.132
47	Quesería	Colchagua	Pumanque	6.185.224	244.283
48	Salto De Agua	Colchagua	Santa Cruz	6.169.067	275.273
49	Callihue	Colchagua	Santa Cruz	6.163.630	273.174
50	Patagua Cerro Guirabo	Colchagua	Santa Cruz	6.157.462	283.298

NOTA: La ubicación en coordenadas UTM (datum WGS84) corresponde a la registrada en terreno en el centro de cada muro de embalse.


NORTE
N-6250000
N-6200000
N-6150000
E-550000
E-500000
E-450000
E-400000
LA ROCA
LAS HERAS
NAVIDAD
MATANZAS
LA VEGA DE PUPUYA
SAN VICENTE
LITUECHE
LOS NOVIOS
PAILLONCO
COCAUQUEN O PAILIMO 1
PIEDRAS BLANCAS O PAILIMO 2
AUTO GOLORADO
LA ESPERANZA
TIERRUCA
LA ROCA
MALLERMO
AGUADILLA
LOS MAITENES
SANTGUILLERMO (SANTA MARTA)
ALCONES (EL SAUCE)
FOROTAL
VERBAS BUENAS (SANTA JULIA)
SANTA LUCIA (SANTA MARGARITA)
QUEBRADA
CARRIZAL
PIRUCHEN
GUIDO SOTO
LA TROYA
LA ESTRELLA
EL PARRAL
EL MANZANO
CHOLAN
EL CARMEN
LAS CABRAS
SAN JOSE DE MARCHIHUE
EL TOCO
PICHIRROPA
CALLEQUE
SANTA LUCIA
LA VINOCO
LOS CARROS
LA ARBOLEDA
LOS CANELOS
VALLE HERMOSO
JAIME RAMIREZ
EL HUIQUE
EL GUAICO
SALTOS DE ITATA
LA VEGA
PALMILLA
SANTA CRUZ
MILAHUE
LAGUNILLA
PUMANQUE
EL CARDONAL
LA GLORIA (LA CRUZ)
GAULIHUE
PATAGUA CERRO GUINDOS
CHEPICA
LOLOL
SAN PEDRO DE ALCANTARA
QUIENCO
PATAGUILLA
LOS NEGROS
PILAICITO
ROMERAL
SAN FRANCISCO DE MOSTAZAL
PICARQUIN
LA PUNTA
CODEGUA
CRANCOR
RANCAGUA
MACHALI
LA MORERA
LOS LIRIOS
DURAZNO
COLTAUCO
ESMERALDA
SANTA ELVIRA
SAN ISIDRO
SAPOS
SEWELL
DUTA
IDAHUE
SAN HERNAN (SAN JOSE DE LAS PATAGUAS)
LOS QUINOS
LOS RAQUIS
SAN FERNANDO
SAN LUIS DE PEUMO
PEUMO
PICHIDEGUA
RINCONADA (LA MACARENA)
EL PUENTE NEGRO
SANTA ISABEL
EL SAUCE
LA LECHERA
CONVENTO VIEJO I
LOS QUINCHOS
Estero Lo Valdivia
Estero Los Perros
Estero Las Cadenas
Estero Las Nieves
Estero Las Cabras
Estero Las Garzas
Estero Las Rosas
Estero Las Rosas
Estero Las Ros

CAPÍTULO 3

TRABAJOS DE TERRENO

3. TRABAJOS DE TERRENO

3.1 METODOLOGÍA

La planificación del trabajo en terreno consideró la visita a cada sitio de embalse. Para ello se dispuso de equipos de trabajo a cargo de un Ingeniero de experiencia en diseños de presas.

El resumen metodológico se presenta a continuación:

➢ **Aspectos cartográficos**

- Se confeccionó un plano de trabajo escala 1:500.000 de la VI Región, Datum WGS 84, con la ubicación de los 50 sitios de embalses a estudiar.

- Se ubicaron en las cartas 1:50.000 del IGM cada uno de los embalses.

- También se determinó la ubicación de los embalses en las imágenes satelitales de Google Earth.

➢ **Obtención de los datos característicos de cada embalse**

En terreno se completaron las "FICHAS DE REGISTRO DE EMBALSES", las que contienen la información básica para identificar las obras. Estas fichas se encuentran disponibles para cada uno de los embalses en la parte B: Catastro de Embalses.

➢ **Mediciones**

Con el fin de poder caracterizar algunos parámetros hidráulicos y definir la geometría del embalse fue necesario realizar algunas mediciones en terreno para el llenado de las planillas de catastro de embalses y la confección de los croquis de las obras.

Las medidas principales que fueron tomadas en terreno y el método para cada caso son las presentadas en el Cuadro 3.1-1.

CUADRO 3.1-1
MEDICIONES A EFECTUAR EN TERRENO

MEDICIÓN	UNIDAD	MÉTODO
Ancho de coronamiento	m	Huincha
Largo talud de aguas arriba	m	Huincha
Largo talud de aguas abajo	m	Huincha
Ancho de la obra de evacuación	m	Huincha
Desnivel nominal obras de evacuación	m	Eclímetro con la ayuda de un jalón
Desnivel entre umbral vertiente y punto más bajo del muro	m	Eclímetro con la ayuda de un jalón
Angulo del talud de aguas arriba	°	Medición del ángulo desde el eclímetro apoyado sobre un jalón en la superficie del talud
Angulo del talud de aguas abajo	°	Medición del ángulo desde el eclímetro apoyado sobre un jalón en la superficie del talud

- **Croquis del muro, embalse y obras de evacuación**

  Se confeccionaron croquis de planta de las presas visitadas, con todos los detalles respecto de su operatividad. En particular se colocaron en las plantas, la forma del muro, la ubicación de sus obras de evacuación y datos respecto a fallas, filtraciones, etc.

  Se incluyeron también fotografías satelitales Google Earth, las que permiten tener una visión en planta de la ubicación de cada embalse.

  Conjuntamente con lo anterior, se confeccionaron croquis de la sección transversal del muro, en la cual se expusieron todos los detalles de formas y niveles relativos a éste.

  También se incluyeron croquis de las obras de evacuación, en la cual se muestran los tipos de obras, dimensiones relativas y sus desniveles.

- **Fotografías**

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

  Las fotografías fueron tomadas para todos los embalses por igual, de modo de facilitar la identificación y comparación entre las distintas obras.

  La toma de fotografías se realizó desde distintos ángulos con el fin de poder caracterizar la obra completa. También se tomaron fotografías complementarias que permitieron tener una visión de los alrededores con el fin de poder apreciar otros tipos de influencia, especialmente en el sector de aguas arriba del embalse.

- **Análisis del emplazamiento**

  Se analizaron en terreno el sitio en 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.

- **Selección de Embalses Críticos**

  A partir de los antecedentes recabados se determinó la existencia de 10 embalses para los cuales se realizó una segunda visita de mayor profundidad. Esta visita la realizó el Coordinador del Proyecto en conjunto con el especialista en presas Ingeniero Civil Donaldo Astorga M. El contenido de este informe específico se adjunta como Anexo 3-1, y su contenido fue incorporado en las fichas de embalse propiamente tales.

3.2 FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

3.2.1 Antecedentes Generales

Esta primera parte de la ficha tuvo como objetivo identificar el embalse con su nombre, el propietario al cual pertenece, el año de su construcción, la cuenca y subcuenca en la cual se ubica con su respectivo código de las Dirección General de Aguas y la identificación de la fuente del recurso que se almacena en el tranque. Los datos son los siguientes:

- Nombre de la presa
- Propietario
- Año de construcción
- Cuenca / Código DGA
- Subcuenca / Código DGA
- Fuente del recurso

Además de lo anterior, se identificó cada ficha con un código y la fecha de su realización.

3.2.2 Ubicación de la Presa

Contiene ubicación general, la región, provincia y comuna en donde se localiza la obra. Para su ubicación específica, se registró por medio de un GPS Navegador las coordenadas UTM y con altímetro de precisión la altura sobre el nivel medio del mar, ambas mediciones se realizaron lo más cercana al eje del cauce, inmediatamente aguas abajo del muro exterior del tranque. Los datos que se registraron fueron:

- Región
- Provincia
- Comuna
- Coordenadas UTM norte y este y Datum
- Altitud

3.2.3 Uso o Destino del Embalse

Se identificó el uso o destino que se da a la obra, en general se pueden identificar los siguientes usos:

- Riego
- Generación de energía
- Abastecimiento de agua potable / saneamiento
- Relaves
- Sedimentación
- Control de crecidas
- Recreación
- Otros usos

3.2.4 Tipo de Embalse

Desde el punto de vista de los materiales empleados en su construcción, las presas pueden construirse de materiales granulares e impermeables (arcillas), de enrocados, hormigón convencional, hormigón rodillado (RCC), etc.

Las presas de materiales granulares son aquellas construidas de materiales excavados o de deposición industrial. Se distinguen en presas de tierra homogénea y de material graduado, en donde los componentes básicos son el núcleo impermeable, espaldones de aguas arriba y aguas abajo, filtros, drenes.

Las presas de enrocados con pantalla impermeable en la cara de aguas arriba (CFRD). La pantalla más usada en una losa de hormigón.

Las presas de hormigón son presas construidas de hormigón armado o sin armar.

Las presas de RCC (Roll Compacted Concrete) son presas construidas con un hormigón de bajo contenido de cemento Portland y bajo contenido de agua, de modo que no presenta asentamiento y se compacta con rodillos vibratorios.

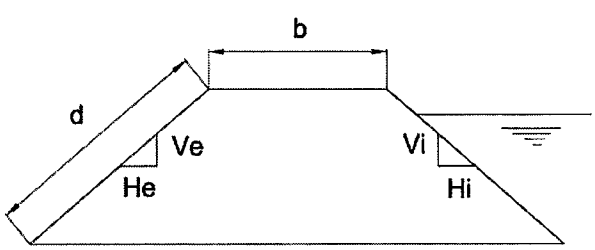
De acuerdo a lo anterior, se identificó el tipo de presa, según la siguiente clasificación:

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

3.2.5 Geometría de la Presa

En aquellos casos de cuerpos prismáticos interesa definir de la mejor manera posible la geometría del muro. Para ello se midieron con huincha la longitud y ancho del coronamiento y la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida. Sobre el talud de aguas abajo, se realizaron mediciones del desarrollo, desde el borde del coronamiento hasta el eje del cauce en su punto más bajo. Con eclímetro se midió la inclinación del talud de aguas arriba y el talud de aguas abajo. En aquellos casos de cuerpos de paramentos verticales, se midió directamente la altura con huincha.

De esta manera con relaciones trigonométricas se pudo caracterizar la geometría completa de la estructura.



b = ancho de coronamiento
d = desarrollo del talud
Hi/Vi=relación Horizontal/Vertical del talud interno
He/Ve=relación Horizontal/Vertical del talud externo

Con huincha
- Longitud del coronamiento
- Ancho del coronamiento
- Desarrollo del talud aguas abajo
- Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida
- Paramentos verticales

- Con eclímetro
  - Ángulo talud de aguas abajo
  - Ángulo talud de aguas arriba
- Fotografías

3.2.6 Estimación Capacidad Máxima del Embalse

Para definir el tamaño del embalse, se requirió la siguiente información:

- Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente)
- Profundidad máxima de agua en sector del muro
- Área estimada o calculada de la poza
- Ancho máximo de la poza
- Largo de la poza
- Volumen declarado o proyectado

3.2.7 Características del Muro

Se determinaron las características de los materiales de construcción del muro con el fin de caracterizar el material en cuanto a su granulometría y su plasticidad. Pare ello se extrajeron muestras representativas del material de la presa en una profundidad tal que no se vea influenciada por la capa vegetal actual o por carpetas de camino sobre el embalse. Estas muestras se guardaron en bolsas de polietileno transparente y se rotularon para su posterior inspección por los especialistas.

Se realizaron las siguientes actividades:

- 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 adjunta)

Otros de los temas relacionados con la caracterización del muro tienen relación con el estado del muro y la calidad de construcción. Para ello se realizó un recorrido a lo largo de la presa, con el fin de definir y caracterizar cualquier aspecto relevante que permita formarse una opinión respecto a la compacidad del material constituyente, a la uniformidad de la geometría de construcción y a cualquier anomalía producida por causa de fuerzas externas o internas, tales como grietas, socavones, etc.

Se dio preferencia a visualizar lo siguiente:

- Regularidad de la geometría actual

- 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 en relación al coronamiento
- Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie

3.2.8 Características Obras Evacuador de Crecidas

El vertedero es una estructura hidráulica destinada a permitir el pase, libre o controlado, del agua en los escurrimientos superficiales, el cual tiene por finalidad garantizar la seguridad de la estructura hidráulica, al no permitir la elevación del nivel, aguas arriba, por encima del nivel máximo.

Se definieron las características de la obra de evacuación de crecidas, su estructuración y material constructivo y su capacidad máxima de porteo. En el caso de no existir planos de diseño se dibujó en las fichas de catastro un croquis con las dimensiones medidas en terreno.

En las presas con vertederos controlados por compuertas se verificó el estado de la maniobrabilidad analizando los sistemas de accionamiento de éstas.

Los vertederos pueden ser clasificados de varias formas:

- Por su localización en relación a la estructura principal:
  - Vertederos frontales
  - Vertederos laterales
  - Vertederos de campana o tulipa; el cual se sitúa fuera de la presa y la descarga puede estar fuera del cauce aguas abajo
- Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:
  - 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 descritos en las fichas de catastro son:

- Tipo de vertedero
- Material constructivo
- Estado de conservación y operatividad
- Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)

- Fotografías

3.2.9 Características Obras de Entrega y Desagüe de Fondo

La obra de entrega corresponde a la estructura que entrega las aguas a riego o directamente al cauce.

La obra de descarga de fondo o desagüe es una estructura hidráulica cuya función principal es permitir el vaciado del embalse para efectuar operaciones de mantenimiento en la presa y reducir el volumen de material sólido depositado en proximidad de la presa. Dado que el agua sale de la presa con una presión considerable, si el chorro no es controlado adecuadamente puede provocar erosiones localizadas peligrosas para la estabilidad de la presa misma.

Respecto a estos temas se determinó el tipo de estructura y su funcionamiento actual en los casos de ser ello posible.

3.2.10 Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Aguas Abajo

Interesa caracterizar el valle aguas abajo de la presa, tanto desde el punto de vista del cauce de descarga, como del uso del suelo, cercanía de sitios habitados, densidad de población; y existencia y cercanía de infraestructura. El objetivo de estos datos fue analizar el potencial riesgo de las personas o instalaciones ante una falla o ruptura de la presa.

Se investigó también si en los márgenes del embalse existen terrenos con riesgo de inestabilidad que pudiesen provocar deslizamientos en las laderas al variar rápidamente el nivel del agua, con posibilidad de graves daños en los terrenos, vías de comunicación, viviendas o servicios situados fuera del embalse, así como la obstrucción de éste por la masa deslizada, o generación de ondas en el embalse.

Los datos requeridos fueron:

- Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce
- Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce
- Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce
- Densidad de población en las cercanías del tranque
- Distancia hacia zonas agrícolas
- Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia
- Área de riego servida por el tranque analizado

3.2.11 Monografía

Se contempló la confección de un croquis a mano alzada para cada tranque, en el que se muestra principalmente:

- Planta del muro (forma y dimensiones)
- Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes respecto a la horizontal.
- Croquis de la obra de evacuación y dimensiones.

- Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material
- Otros aspectos de importancia.

3.2.12 Observaciones

Dentro de las fichas de catastro se agregaron observaciones respecto de cualquier otro dato de importancia en relación al tanque que no haya sido incluido en esta minuta, tales como: rutas de accesos principales y alternativas, nombre personas encargadas de su operación, accidentes ocurridos en la presa, reparaciones realizadas, etc.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO DE CRECIDAS

4. ESTUDIO DE CRECIDAS

4.1 INTRODUCCIÓN

El objeto de esta sección es determinar los caudales de las crecidas afluentes en cada uno de los embalses para diferentes períodos de retorno. En este caso se han evaluado métodos indirectos, que basados en precipitaciones extremas permiten estimar las crecidas pluviales o caudales máximos en la cuenca.

Sobre la base de la cartografía existente (ver Plano 1, Cuencas Aportante a los Embalses), se determinaron algunas características de las cuencas, tales como: límites de la cuenca, área, longitud del cauce principal, altura media, pendiente media del cauce, etc., antecedentes necesarios para el estudio de las crecidas pluviales.

Para determinar los caudales de crecidas pluviales asociados a los períodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años se utilizaron tres métodos: Método de la fórmula Racional Modificada, Fórmula de Verni King Modificada y el Método DGA-AC. Para determinar los caudales de crecidas en períodos de deshielo asociados a los mismos períodos de retorno, se utilizó el método DGA-AC.

Para determinar las crecidas para períodos de retorno mayores a 100 años, se extrapolaron los caudales obtenidos a través de la función que mejor ajusta la curva de caudales hasta 100 años.

4.2 PERÍODOS DE RETORNO SEGÚN TIPO DE OBRA

Para efectos de este estudio se consideran tres categorías de embalses. Para analizar los caudales de crecidas de los embalses en función de la categoría de la obras, se consideran los siguientes períodos de retorno para definir el caudal de diseño.

CUADRO 4.2-1
CATEGORÍA DE EMBALSES Y PERÍODOS DE RETORNO PARA ANÁLISIS DE CRECIDAS

CATEGORÍA[1]	DESCRIPCIÓN	PERÍODOS DE RETORNO T(años)
Categoría A	Embalses Pequeños, de altura de muro máxima mayor a 5 m e inferior a 12 m, o bien de capacidad superior a 50.000 m^3 e inferior a 1.500.000 m^3.	250
Categoría B	Embalses Medianos, de altura de muro máxima mayor o igual a 12 m e inferior a 30 m, o bien de capacidad igual o superior a 1.500.000 m^3 e inferior a 60.000.000 m^3.	500
Categoría C	Embalses Grandes, de altura máxima de muro igual o superior a 30 m, o bien de capacidad igual o superior a 60.000.000 m^3.	1.000

Para embalses de altura de muro menor a 5 m, se usó crecida de diseño de T= 250 años.

[1]De acuerdo con el Reglamento de Obras Mayores, el cual al día de hoy no está aprobado pero que se puede usar como una norma referencial.

4.3 CÁLCULO DE CRECIDAS

Para calcular el área aportante pluvial es necesario definir en primer lugar la ubicación de la línea de nieves, entendiendo que en este caso corresponde a la cota promedio durante eventos de tormentas, donde se produce la interfase lluvia-nieve.

Por otra parte, la línea de nieves que define el área nival de una cuenca, también presenta variaciones temporales durante el año hidrológico, por lo que se hace necesario definir una línea de nieves promedio.

En el estudio Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1995, se indica que las líneas de nieve promedio para la zona comprendida entre la RM y VII Región, son las que se indican en el cuadro siguiente:

CUADRO 4.3-1
LÍNEA DE NIEVES PROMEDIO **(m.s.n.m)**

Latitud (°)	Peña-Vidal	Escobar-Vidal
33,0	1.940	2.520
33,5	1.870	2.410
34,0	1.780	2.300
34,5	1.640	2.130
35,0	1.470	1.980
35,5	1.300	1.820

En lo referente a cálculo de crecidas, los valores obtenidos por Peña y Vidal están recomendados para definir área nival, por su parte los valores de Escobar y Vidal se utilizan para definir el área pluvial.

Al respecto en el presente informe se ha definido una cota de línea de nieve promedio de 1.640 m.s.n.m. A continuación se presentan las principales características de cada cuenca útiles para definir el tiempo de concentración de cada una y así continuar el estudio de crecidas.

CUADRO 4.3-2
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS CUENCAS

NOMBRE EMBALSE	Hg (m)	L (Km)	área (km^2)	Pendiente del cauce (%)	H máx (m)
Sapos	223,60	5,36	5,56	31,36	792,11
Los Maquis	71,14	3,22	2,81	16,28	661,54
Pilaicito	368,55	19,62	59,91	15,94	1112,98
Romeral	6,51	1,08	1,28	4,87	215,51
Picarquín	393,33	7,72	14,75	30,63	1875,42
Esmeralda	16,35	3,86	2,07	1,03	33,85
Chancón	177,81	5,37	11,78	16,74	1137,10

NOMBRE EMBALSE	Hg (m)	L (Km)	área (km^2)	Pendiente del cauce (%)	H máx (m)
San Isidro	636,73	8,96	20,95	21,68	1351,73
Millahue	109,34	7,77	34,51	10,69	966,72
San Hernán (San José De Las Pataguas)	454,41	6,33	19,73	14,06	847,36
Idahue	31,85	6,25	16,46	11,29	584,63
San Vicente	28,20	5,78	8,73	6,62	83,08
Cocauquen o Pailimo 1	43,85	7,86	25,39	13,70	286,12
Piedras Blancas o Pailimo 2	15,49	1,86	2,01	10,56	100,41
La Rosa	114,80	3,93	5,11	13,02	216,72
Alcones (El Sauce)	49,21	11,42	59,54	3,54	366,64
Mallermo	11,95	3,14	3,61	3,66	43,77
Aguadilla	24,12	5,37	7,15	2,70	76,01
Los Maitenes	39,66	1,65	1,83	7,52	222,31
San Guillermo (Santa Marta)	6,25	1,40	0,78	3,96	26,26
Porotal	7,64	2,21	3,69	6,58	52,69
Yerbas Buenas (Santa Julia)	16,76	8,62	20,67	1,04	197,56
Carrizal	155,36	9,53	18,15	15,90	408,63
Pihuchén	10,01	1,02	0,68	1,69	40,90
La Esperanza	46,58	6,23	6,83	5,64	153,25
Tierruca	20,51	5,40	16,83	2,93	321,38
Guido Soto	35,23	2,50	3,37	2,16	260,63
Los Novios	10,42	1,05	0,55	3,79	32,18
Alto Colorado	43,88	1,04	1,02	5,86	100,32
Pañilonco	98,27	5,95	12,06	10,40	182,31
Rinconada (La Macarena)	15,56	2,44	2,11	1,35	46,19
Santa Isabel	47,65	8,17	5,90	1,27	107,44
Convento Viejo	78,30	39,78	636,92	7,80	1810,20
Lolol	68,70	5,34	20,68	10,01	332,72
Culenco	17,52	4,34	4,33	4,93	425,35
Pataguilla	74,02	3,05	5,78	14,91	322,58
Los Negros	307,47	2,32	4,89	18,92	601,42
El Guaico	268,80	1,56	1,32	15,75	387,43
El Huique	176,76	1,74	1,49	16,66	615,20
Santa Lucia (Santa Margarita)	13,10	0,85	0,35	1,92	18,71
Jaime Ramírez	248,68	2,50	3,05	20,27	651,70
La Troya	4,11	2,96	2,89	0,71	4,36
Nilahue	22,97	5,09	11,05	5,70	239,37
El Cardonal	26,20	1,10	0,75	5,02	104,58
Lagunillas	27,13	1,88	1,10	3,79	149,14
La Gloria (La cruz)	63,97	3,84	10,87	3,74	383,31

NOMBRE EMBALSE	Hg (m)	L (Km)	área (km^2)	Pendiente del cauce (%)	H máx (m)
Quesería	60,83	1,68	1,66	8,79	228,61
Salto De Agua	329,88	5,89	6,83	17,23	643,13
Callihue	27,45	4,46	5,71	11,37	314,14
Pataguas Cerro Guirabo	13,44	2,22	2,45	3,00	319,90

4.3.1 Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se puede utilizar la formula del California División of Highways and Public Works de EEUU y Giandotti, cuyas expresiones se señalan a continuación.

- Fórmula de California:

$$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

- Fórmula de Giandotti:

$$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con\ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

- Fórmula de Ventura - Heras:

$$tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$$

- Fórmula de Témez:

$$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx = Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².

J = Pendiente del cauce (%).
Hg = Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

Luego de analizar los respectivos tiempos de concentración de las cuencas y considerando que la expresión de Giandotti y de california son las que entregan los valores más altos y ventura-veras los más bajos, es preferible tomar el lado seguro de las estimaciones y por lo tanto de acuerdo a las características de la zonas y a la experiencia del consultor, se han considerado tiempos de concentración aproximados a los arrojados por Temez.

CUADRO 4.3.1-1
ESTIMACIONES DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LAS CUENCAS

NOMBRE EMBALSE	california	giandotti	ventura -heras	temez	Tc (h)
Los Maquis	0,30	1,71	0,02	0,43	0,43
Pilaicito	1,99	3,93	0,10	1,66	1,5
Romeral	0,13	3,01	0,03	0,24	0,24
Picarquín	0,55	1,70	0,03	0,73	0,73
Esmeralda	1,17	3,57	0,07	0,82	0,82
Chancón	0,44	2,04	0,04	0,62	0,5
San Isidro	0,75	1,57	0,05	0,87	0,8
Millahue	0,72	4,20	0,09	0,90	0,90
San Hernán (San José De Las Pataguas)	0,60	1,60	0,06	0,73	0,73
Idahue	0,68	5,67	0,06	0,75	0,75
San Vicente	1,31	2,81	0,06	0,78	0,78
Cocauquén o Pailimo 1	1,17	6,03	0,07	0,86	0,86
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,33	2,69	0,02	0,31	0,31
La Rosa	0,58	1,74	0,03	0,52	0,52
Alcones (El Sauce)	1,63	8,55	0,21	1,47	1,47
Mallermo	0,83	4,45	0,05	0,56	0,56
Aguadilla	1,25	4,77	0,08	0,88	0,88
Los Maitenes	0,21	1,56	0,02	0,30	0,30
San Guillermo (Santa Marta)	0,40	2,81	0,02	0,30	0,30
Porotal	0,52	4,97	0,04	0,38	0,38
Yerbas Buenas (Santa Julia)	1,49	9,50	0,22	1,50	1,50
Carrizal	1,27	3,14	0,05	0,97	0,97
Pihuchén	0,23	1,91	0,03	0,28	0,28
La Esperanza	1,13	3,63	0,06	0,86	0,86
Tierruca	0,72	6,76	0,12	0,87	0,87
Guido Soto	0,32	2,33	0,06	0,52	0,52
Los Novios	0,26	1,76	0,02	0,24	0,24
Alto Colorado	0,17	1,06	0,02	0,22	0,22

NOMBRE EMBALSE	california	giandotti	ventura -heras	temez	Tc (h)
Pañilonco	1,00	2,88	0,05	0,74	0,74
Rinconada (La Macarena)	0,61	3,00	0,06	0,55	0,6
Santa Isabel	1,77	3,98	0,11	1,39	1,39
Convento Viejo	3,72	22,69	0,45	3,23	3,23
Lolol	0,70	3,95	0,07	0,68	0,68
Culenco	0,50	4,43	0,05	0,67	0,6
Pataguilla	0,37	2,06	0,03	0,42	0,42
Los Negros	0,21	0,88	0,03	0,33	0,3
El Guaico	0,16	0,53	0,01	0,25	0,2
El Huique	0,15	0,70	0,01	0,27	0,2
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,25	1,26	0,02	0,23	0,23
Jaime Ramírez	0,23	0,85	0,02	0,34	0,34
La Troya	1,89	6,93	0,10	0,72	1,01
Nilahue	0,76	5,46	0,07	0,73	0,73
El Cardonal	0,18	1,25	0,02	0,24	0,24
Lagunillas	0,29	1,69	0,03	0,38	0,32
La Gloria (La cruz)	0,45	2,96	0,09	0,64	0,64
Quesería	0,21	1,23	0,02	0,29	0,29
Salto De Agua	0,61	1,33	0,03	0,67	0,67
Callihue	0,58	3,88	0,04	0,58	0,58
Pataguas Cerro Guirabo	0,26	3,27	0,05	0,44	0,44

4.3.2 Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991", en la cual se señala la siguiente expresión para el cálculo de la precipitación en 24 h y período de retorno T años:

$$P_{24}^{T} = 1{,}1 \cdot CF_T \cdot P_{24}^{T=10}$$

Donde:

P_{24}^{T} Precipitación en 24 h y período de retorno T años.
CF_T Coeficiente de frecuencia de un período T años.
$P_{24}^{T=10}$ Precipitación máxima en 24 h y período de retorno 10 años, obtenida del plano de isoyetas.

Para determinar precipitaciones máximas de duraciones menores a 24 horas se emplea la siguiente expresión:

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

Donde:

P_t^T Precipitación máxima en t horas y período de retorno T años.
CD_t Coeficiente de Duración para t horas (entre 1 y 24 h)
CF_T Coeficiente de frecuencia de un período T años.
$P_{24}^{T=10}$ Precipitación máxima en 24 h y período de retorno 10 años, obtenida del plano de isoyetas.

El coeficiente de frecuencia se obtuvo de la publicación de la DGA del año 1991 señalado anteriormente, que para la VI Región se divide en tres zonas homogéneas, las cuales se detallan a continuación.

CUADRO 4.3.2-1
COEFICIENTES DE FRECUENCIA SEGÚN ZONA HOMOGÉNEA VI REGIÓN

Zona del estudio DGA	Nombre	Coeficiente de Frecuencia				
		T = 2	T = 5	T = 20	T = 50	T = 100
VI.1	Río Coya	0,639	0,857	1,136	1,313	1,446
VI.2	Río Cachapoal	0,644	0,859	1,133	1,305	1,434
VI.3	Estero Nilahue	0,613	0,845	1,15	1,364	1,495

Los coeficientes de duración que son representativos de la VI Región corresponden a las localidades de Rapel y San Fernando y cuyos valores se consignan en el siguiente cuadro.

CUADRO 4.3.2-2
COEFICIENTES DE DURACIÓN (CD)

t (hr)	RAPEL	SAN FERNANDO
1	0,147	0,127
2	0,233	0,213
4	0,337	0,346
6	0,465	0,428
8	0,558	0,510
10	0,640	0,587
12	0,709	0,659
14	0,787	0,734
18	0,907	0,830
24	1,000	1,000

Fuente: Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el País. Caudales Máximos y Mínimos. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1995.

La intensidad de la precipitación corresponde a la razón entre la precipitación durante un determinado período y el período. Para su cálculo se utiliza la expresión siguiente:

$$i_t^T = \frac{P_t^T}{t}$$

Donde:

P_t^T	Precipitación máxima en t horas y período de retorno T años.
t	Período de tiempo de t h.

A partir de dicha información, se aplicaron fórmulas de precipitación – escorrentía para caudales máximos, tales como la Fórmula Racional o la Fórmula de Verni y King Modificada, y el Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC).

4.3.3 Caudales de Crecidas Mediante la 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. 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:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^T	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

Por otra parte, el coeficiente de escorrentía a utilizar dependerá del período de retorno T y de la ubicación geográfica. Estos coeficientes se obtienen del resultado de los análisis de frecuencia realizados con la información de 130 estaciones limnigráficas ubicadas entre la III y la IX región de Chile.

Para la VI Región, la estimación de los coeficientes de escorrentía se presentan en el cuadro siguiente.

CUADRO 4.3.3-1
COEFICIENTES DE FÓRMULAS EMPÍRICAS C(T) / C(T=10)

T años	C(T) / C(T=10) VI REGIÓN
2	0,63
5	0,85
10	1,00
20	1,15
25	1,20
50	1,33
100	1,55

Fuente: Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el País. Caudales Máximos y Mínimos. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1995.

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

$$Q(T) = \frac{C(T)}{C(T=10)} \cdot C(10) \cdot \frac{P_{tc}^{T}}{tc} \cdot \frac{Ap}{3,6}$$

4.3.4 Caudales de Crecidas Mediante la Relación de Verni y King Modificada

Esta fórmula corresponde a una versión modificada de la ecuación original, para tomar en cuenta que el coeficiente C = 0,00618 de dicha ecuación en la realidad depende del período de retorno y de las características de la zona donde se aplica. Su expresión es la siguiente:

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

La relación de Verni y King modificada permite determinar los caudales de crecidas sobre la base de la precipitación media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

Donde:

C(T)	Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
P_{24}^{T}	Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T (años)
Ap	Área pluvial (km^2)

El coeficiente empírico varía según la región del país. En este caso para la VI Región se tiene:

CUADRO 4.3.4-1
COEFICIENTES PARA FÓRMULA VERNI Y KING MODIFICADA -VI REGIÓN

Período de Retorno (años)	C(T)
2	0,47
5	0,60
10	0,68
20	0,77
25	0,80
50	0,87
100	1,00

El factor de frecuencia C(T)/C(10), es el mismo que en el caso del método racional presentado en Cuadro 4.3.3-1

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

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

En la siguiente tabla se presentan las zonas asociadas a cada uno de los sitios de embalse a fin de definir los coeficientes de frecuencia y de duración, el hecho de que una zona sea referencia de un determinado punto no quiere decir que se encuentre dentro de ella, sino que es la zona más característica o cercana al punto de interés para efecto de la definición de los respectivos coeficientes. También en base a las isoyetas se estima la precipitación máxima en 24 h. De período de retorno 10 años.

FIGURA 4.3.4-1
CURVA DE COEFICIENTES DE FRECUENCIA

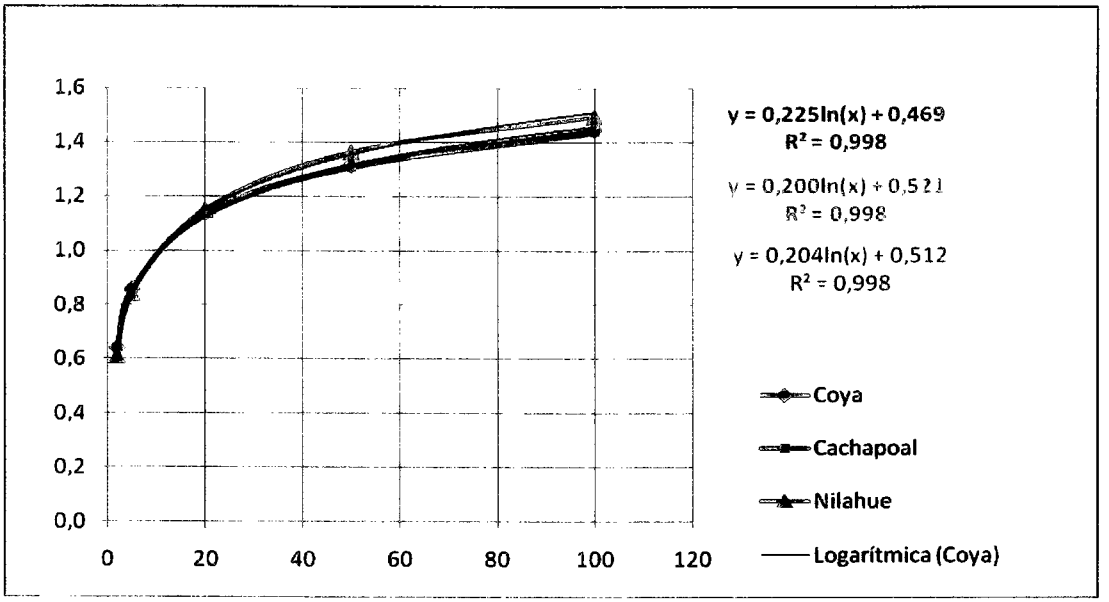
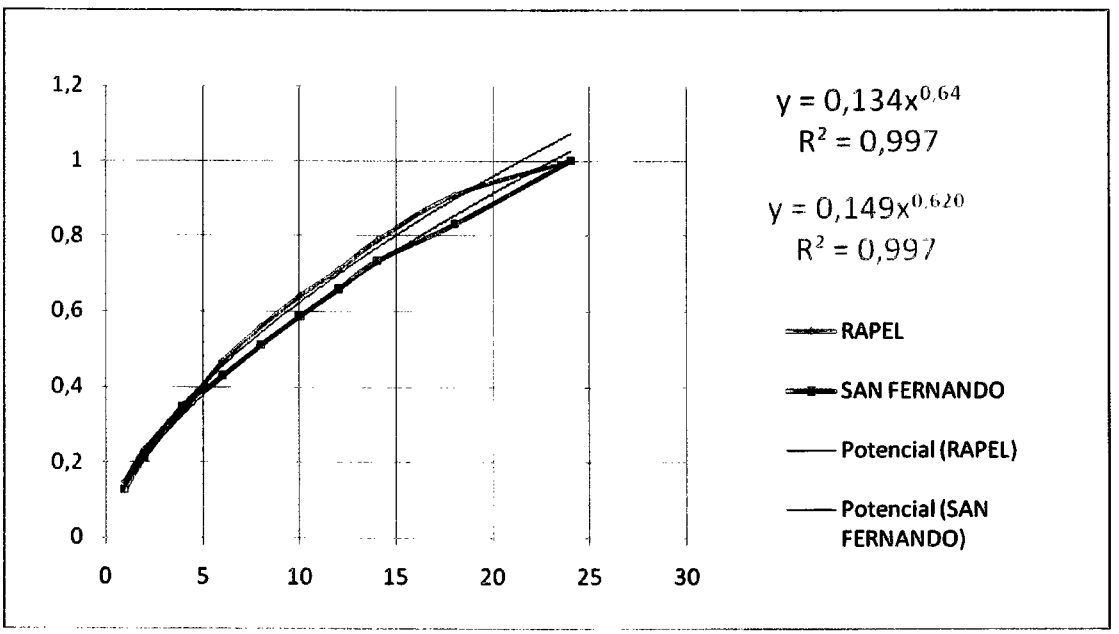


FIGURA 4.3.4-2
CURVA DE COEFICIENTES DE DURACIÓN



A partir de las curvas señaladas precedentemente se extrapolan los coeficientes para períodos de retorno no indicados.

CUADRO 4.3.4-2
COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HRS. EN T=10 AÑOS. Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

N°	NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 hrs,T=10)	Zona CF
2	Los Maquis	San Fernando	0,088	83,7	Cachapoal
3	Pilaicito	Rapel	0,192	140	Coya
4	Romeral	Rapel	0,062	120	Coya
5	Picarquín	Rapel	0,123	140	Coya
6	Esmeralda	San Fernando	0,120	80	Cachapoal
7	Chancón	Rapel	0,097	100	Coya
8	San Isidro	San Fernando	0,119	120	Cachapoal
9	Millahue	San Fernando	0,126	120	Cachapoal
10	San Hernán (San José De Las Pataguas)	San Fernando	0,113	121,4	Cachapoal
11	Idahue	San Fernando	0,115	90	Cachapoal
12	San Vicente	Rapel	0,128	108,1	Cachapoal
13	Cocauquén o Pailimo 1	Rapel	0,136	100	Nilahue
14	Piedras Blancas o Pailimo 2	Rapel	0,072	100	Nilahue
15	La Rosa	Rapel	0,099	80	Nilahue
16	Alcones (El Sauce)	Rapel	0,189	90	Nilahue
17	Mallermo	Rapel	0,103	77,1	Nilahue
18	Aguadilla	Rapel	0,138	77,1	Nilahue
19	Los Maitenes	Rapel	0,071	114	Cachapoal
20	San Guillermo (Santa Marta)	Rapel	0,070	107,1	Cachapoal
21	Porotal	Rapel	0,082	90	Cachapoal
22	Yerbas Buenas (Santa Julia)	Rapel	0,192	122,5	Cachapoal
23	Carrizal	Rapel	0,146	100	Nilahue
24	Pihuchén	Rapel	0,067	122,5	Cachapoal
25	La Esperanza	Rapel	0,135	90	Cachapoal
26	Tierruca	Rapel	0,137	90	Cachapoal
27	Guido Soto	Rapel	0,099	122,5	Cachapoal
28	Los Novios	Rapel	0,062	100	Nilahue
29	Alto Colorado	Rapel	0,059	102,8	Nilahue
30	Pañilonco	Rapel	0,123	110	Nilahue
31	Rinconada (La Macarena)	San Fernando	0,102	90	Cachapoal
32	Santa Isabel	San Fernando	0,160	100	Cachapoal
33	Convento Viejo	San Fernando	0,253	112,6	Cachapoal
34	Lolol	San Fernando	0,109	116,7	Nilahue
35	Culenco	San Fernando	0,102	115	Nilahue
36	Pataguilla	San Fernando	0,084	112,6	Nilahue
37	Los Negros	San Fernando	0,070	115	Nilahue

N°	NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 hrs,T=10)	Zona CF
38	El Guaico	San Fernando	0,056	120	Cachapoal
39	El Huique	San Fernando	0,056	120	Cachapoal
40	Santa Lucia (Santa Margarita)	Rapel	0,061	122,5	Cachapoal
41	Jaime Ramírez	San Fernando	0,075	120	Nilahue
42	La Troya	San Fernando	0,150	107	Cachapoal
43	Nilahue	San Fernando	0,113	104,6	Nilahue
44	El Cardonal	San Fernando	0,062	104,6	Nilahue
45	Lagunillas	San Fernando	0,072	104	Nilahue
46	La Gloria (La cruz)	San Fernando	0,105	104	Nilahue
47	Quesería	San Fernando	0,069	100	Nilahue
48	Salto De Agua	San Fernando	0,108	120	Nilahue
49	Callihue	San Fernando	0,100	120	Nilahue
50	Pataguas Cerro Guirabo	San Fernando	0,086	123	Cachapoal

CUADRO 4.3.4-3
CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

T= 2 AÑOS

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Los Maquis	0,47	Cachapoal	0,644	5,21	1,14	4,48
Pilaicito	0,47	Coya	0,639	18,85	31,52	98,30
Romeral	0,47	Coya	0,639	5,19	0,88	3,61
Picarquín	0,47	Coya	0,639	12,08	9,18	31,80
Esmeralda	0,47	Cachapoal	0,644	6,82	0,82	2,24
Chancón	0,47	Coya	0,639	6,81	4,97	20,97
San Isidro	0,47	Cachapoal	0,644	10,10	10,43	34,52
Millahue	0,47	Cachapoal	0,644	10,73	16,18	53,99
San Hernán (San José De Las Pataguas)	0,47	Cachapoal	0,644	9,72	10,04	34,33
Idahue	0,47	Cachapoal	0,644	7,33	5,90	20,92
San Vicente	0,47	Cachapoal	0,644	9,81	4,24	14,26
Cocauquén o Pailimo 1	0,47	Nilahue	0,613	9,17	9,27	35,23
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,47	Nilahue	0,613	4,84	0,99	4,13
La Rosa	0,47	Nilahue	0,613	5,34	1,71	6,89
Alcones (El Sauce)	0,47	Nilahue	0,613	11,48	17,22	60,72
Mallermo	0,47	Nilahue	0,613	5,38	1,21	4,56
Aguadilla	0,47	Nilahue	0,613	7,15	2,20	7,60
Los Maitenes	0,47	Cachapoal	0,644	5,70	1,14	4,54

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
San Guillermo (Santa Marta)	0,47	Cachapoal	0,644	5,34	0,50	1,82
Porotal	0,47	Cachapoal	0,644	5,23	1,58	6,59
Yerbas Buenas (Santa Julia)	0,47	Cachapoal	0,644	16,62	10,57	29,92
Carrizal	0,47	Nilahue	0,613	9,85	6,90	24,10
Pihuchén	0,47	Cachapoal	0,644	5,83	0,52	1,87
La Esperanza	0,47	Cachapoal	0,644	8,62	2,72	8,99
Tierruca	0,47	Cachapoal	0,644	8,71	6,02	22,01
Guido Soto	0,47	Cachapoal	0,644	8,57	2,14	7,31
Los Novios	0,47	Nilahue	0,613	4,17	0,32	1,24
Alto Colorado	0,47	Nilahue	0,613	4,06	0,56	2,42
Pañilonco	0,47	Nilahue	0,613	9,15	5,42	19,53
Rinconada (La Macarena)	0,47	Cachapoal	0,644	6,48	0,97	2,98
Santa Isabel	0,47	Cachapoal	0,644	11,34	2,73	6,29
Convento Viejo	0,47	Cachapoal	0,644	20,14	194,51	518,07
Lolol	0,47	Nilahue	0,613	8,59	9,37	33,90
Culenco	0,47	Nilahue	0,613	7,89	2,32	7,42
Pataguilla	0,47	Nilahue	0,613	6,35	2,92	11,49
Los Negros	0,47	Nilahue	0,613	5,42	2,59	11,54
El Guaico	0,47	Cachapoal	0,644	4,78	0,91	4,11
El Huique	0,47	Cachapoal	0,644	4,78	1,02	4,64
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,47	Cachapoal	0,644	5,26	0,29	1,03
Jaime Ramírez	0,47	Nilahue	0,613	6,05	1,80	7,09
La Troya	0,47	Cachapoal	0,644	11,36	1,58	4,24
Nilahue	0,47	Nilahue	0,613	8,00	4,71	15,73
El Cardonal	0,47	Nilahue	0,613	4,35	0,44	1,79
Lagunillas	0,47	Nilahue	0,613	5,08	0,62	2,28
La Gloria (La cruz)	0,47	Nilahue	0,613	7,38	4,61	16,38
Quesería	0,47	Nilahue	0,613	4,67	0,84	3,44
Salto De Agua	0,47	Nilahue	0,613	8,70	3,66	11,67
Callihue	0,47	Nilahue	0,613	8,11	3,13	10,35
Pataguas Cerro Guirabo	0,47	Cachapoal	0,644	7,49	1,63	5,46

CUADRO 4.3.4-4
CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

T= 5 AÑOS

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Los Maquis	0,6	Cachapoal	0,859	6,95	1,63	7,63
Pilaicito	0,6	Coya	0,857	25,29	45,36	168,31
Romeral	0,6	Coya	0,857	6,96	1,27	6,18
Picarquín	0,6	Coya	0,857	16,20	13,22	54,45
Esmeralda	0,6	Cachapoal	0,859	9,10	1,17	3,82
Chancón	0,6	Coya	0,857	9,14	7,15	35,90
San Isidro	0,6	Cachapoal	0,859	13,47	14,90	58,78
Millahue	0,6	Cachapoal	0,859	14,31	23,13	91,94
San Hernán (San José De Las Pataguas)	0,6	Cachapoal	0,859	12,96	14,35	58,46
Idahue	0,6	Cachapoal	0,859	9,78	8,44	35,62
San Vicente	0,6	Cachapoal	0,859	13,09	6,06	24,28
Cocauquén o Pailimo 1	0,6	Nilahue	0,845	12,64	13,80	61,99
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,6	Nilahue	0,845	6,67	1,48	7,26
La Rosa	0,6	Nilahue	0,845	7,36	2,55	12,12
Alcones (El Sauce)	0,6	Nilahue	0,845	15,83	25,63	106,85
Mallermo	0,6	Nilahue	0,845	7,41	1,80	8,03
Aguadilla	0,6	Nilahue	0,845	9,85	3,28	13,37
Los Maitenes	0,6	Cachapoal	0,859	7,60	1,63	7,72
San Guillermo (Santa Marta)	0,6	Cachapoal	0,859	7,12	0,71	3,10
Porotal	0,6	Cachapoal	0,859	6,98	2,26	11,22
Yerbas Buenas (Santa Julia)	0,6	Cachapoal	0,859	22,17	15,11	50,94
Carrizal	0,6	Nilahue	0,845	13,58	10,27	42,41
Pihuchén	0,6	Cachapoal	0,859	7,77	0,75	3,18
La Esperanza	0,6	Cachapoal	0,859	11,50	3,89	15,30
Tierruca	0,6	Cachapoal	0,859	11,61	8,60	37,49
Guido Soto	0,6	Cachapoal	0,859	11,44	3,06	12,44
Los Novios	0,6	Nilahue	0,845	5,74	0,47	2,18
Alto Colorado	0,6	Nilahue	0,845	5,60	0,84	4,27
Pañilonco	0,6	Nilahue	0,845	12,61	8,06	34,37
Rinconada (La Macarena)	0,6	Cachapoal	0,859	8,65	1,39	5,08
Santa Isabel	0,6	Cachapoal	0,859	15,13	3,90	10,71
Convento Viejo	0,6	Cachapoal	0,859	26,87	278,01	882,16
Lolol	0,6	Nilahue	0,845	11,84	13,95	59,65
Culenco	0,6	Nilahue	0,845	10,87	3,46	13,06
Pataguilla	0,6	Nilahue	0,845	8,75	4,35	20,21

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Los Negros	0,6	Nilahue	0,845	7,48	3,85	20,31
El Guaico	0,6	Cachapoal	0,859	6,37	1,31	6,99
El Huique	0,6	Cachapoal	0,859	6,37	1,45	7,90
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,6	Cachapoal	0,859	7,01	0,42	1,75
Jaime Ramírez	0,6	Nilahue	0,845	8,34	2,68	12,47
La Troya	0,6	Cachapoal	0,859	15,16	2,26	7,22
Nilahue	0,6	Nilahue	0,845	11,02	7,02	27,67
El Cardonal	0,6	Nilahue	0,845	5,99	0,66	3,14
Lagunillas	0,6	Nilahue	0,845	7,00	0,92	4,02
La Gloria (La cruz)	0,6	Nilahue	0,845	10,18	6,87	28,82
Quesería	0,6	Nilahue	0,845	6,43	1,25	6,05
Salto De Agua	0,6	Nilahue	0,845	11,99	5,45	20,54
Callihue	0,6	Nilahue	0,845	11,17	4,65	18,22
Pataguas Cerro Guirabo	0,6	Cachapoal	0,859	10,00	2,33	9,29

CUADRO 4.3.4-5
CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

T= 10 AÑOS

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Los Maquis	0,68	Cachapoal	0,98	7,93	2,77	9,86
Pilaicito	0,68	Coya	0,98	28,91	77,50	218,13
Romeral	0,68	Coya	0,98	7,96	2,17	8,01
Picarquín	0,68	Coya	0,98	18,53	22,58	70,57
Esmeralda	0,68	Cachapoal	0,98	10,38	2,00	4,94
Chancón	0,68	Coya	0,98	10,45	12,21	46,52
San Isidro	0,68	Cachapoal	0,98	15,37	25,39	76,00
Millahue	0,68	Cachapoal	0,98	16,33	39,40	118,88
San Hernán (San José De Las Pataguas)	0,68	Cachapoal	0,98	14,78	24,44	75,59
Idahue	0,68	Cachapoal	0,98	11,15	14,38	46,06
San Vicente	0,68	Cachapoal	0,98	14,93	10,32	31,39
Cocauquén o Pailimo 1	0,68	Nilahue	0,99	14,80	24,29	82,31
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,68	Nilahue	0,99	7,81	2,61	9,64
La Rosa	0,68	Nilahue	0,99	8,63	4,49	16,09
Alcones (El Sauce)	0,68	Nilahue	0,99	18,54	45,14	141,87
Mallermo	0,68	Nilahue	0,99	8,68	3,16	10,66
Aguadilla	0,68	Nilahue	0,99	11,54	5,77	17,75
Los Maitenes	0,68	Cachapoal	0,98	8,67	2,78	9,99

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
San Guillermo (Santa Marta)	0,68	Cachapoal	0,98	8,12	1,22	4,00
Porotal	0,68	Cachapoal	0,98	7,96	3,85	14,50
Yerbas Buenas (Santa Julia)	0,68	Cachapoal	0,98	25,29	25,75	65,86
Carrizal	0,68	Nilahue	0,99	15,91	18,08	56,32
Pihuchén	0,68	Cachapoal	0,98	8,87	1,27	4,11
La Esperanza	0,68	Cachapoal	0,98	13,12	6,63	19,78
Tierruca	0,68	Cachapoal	0,98	13,25	14,66	48,47
Guido Soto	0,68	Cachapoal	0,98	13,05	5,21	16,09
Los Novios	0,68	Nilahue	0,99	6,73	0,83	2,90
Alto Colorado	0,68	Nilahue	0,99	6,56	1,48	5,67
Pañilonco	0,68	Nilahue	0,99	14,77	14,20	45,64
Rinconada (La Macarena)	0,68	Cachapoal	0,98	9,87	2,36	6,57
Santa Isabel	0,68	Cachapoal	0,98	17,26	6,65	13,85
Convento Viejo	0,68	Cachapoal	0,98	30,65	473,64	1140,61
Lolol	0,68	Nilahue	0,99	13,87	24,56	79,20
Culenco	0,68	Nilahue	0,99	12,74	6,09	17,34
Pataguilla	0,68	Nilahue	0,99	10,25	7,66	26,84
Los Negros	0,68	Nilahue	0,99	8,76	6,78	26,97
El Guaico	0,68	Cachapoal	0,98	7,27	2,22	9,04
El Huique	0,68	Cachapoal	0,98	7,27	2,48	10,21
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,68	Cachapoal	0,98	8,00	0,71	2,26
Jaime Ramírez	0,68	Nilahue	0,99	9,77	4,71	16,56
La Troya	0,68	Cachapoal	0,98	17,29	3,85	9,34
Nilahue	0,68	Nilahue	0,99	12,91	12,35	36,74
El Cardonal	0,68	Nilahue	0,99	7,02	1,15	4,17
Lagunillas	0,68	Nilahue	0,99	8,20	1,61	5,33
La Gloria (La cruz)	0,68	Nilahue	0,99	11,93	12,09	38,27
Quesería	0,68	Nilahue	0,99	7,53	2,20	8,04
Salto De Agua	0,68	Nilahue	0,99	14,05	9,60	27,27
Callihue	0,68	Nilahue	0,99	13,09	8,19	24,20
Pataguas Cerro Guirabo	0,68	Cachapoal	0,98	11,40	3,97	12,02

CUADRO 4.3.4-6
CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

T= 15 AÑOS

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Los Maquis	0,73	Cachapoal	1,06	8,58	3,29	11,49
Pilaicito	0,73	Coya	1,06	31,35	92,24	254,62
Romeral	0,73	Coya	1,06	8,63	2,58	9,35
Picarquín	0,73	Coya	1,06	20,09	26,88	82,38
Esmeralda	0,73	Cachapoal	1,06	11,28	2,39	5,78
Chancón	0,73	Coya	1,06	11,33	14,53	54,30
San Isidro	0,73	Cachapoal	1,06	16,69	30,29	88,86
Millahue	0,73	Cachapoal	1,06	17,74	46,99	139,00
San Hernán (San José De Las Pataguas)	0,73	Cachapoal	1,06	16,06	29,15	88,39
Idahue	0,73	Cachapoal	1,06	12,11	17,15	53,86
San Vicente	0,73	Cachapoal	1,06	16,22	12,31	36,70
Cocauquén o Pailimo 1	0,73	Nilahue	1,08	16,15	29,13	96,67
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,73	Nilahue	1,08	8,52	3,13	11,32
La Rosa	0,73	Nilahue	1,08	9,41	5,39	18,89
Alcones (El Sauce)	0,73	Nilahue	1,08	20,23	54,13	166,62
Mallermo	0,73	Nilahue	1,08	9,47	3,79	12,52
Aguadilla	0,73	Nilahue	1,08	12,59	6,92	20,85
Los Maitenes	0,73	Cachapoal	1,06	9,42	3,32	11,68
San Guillermo (Santa Marta)	0,73	Cachapoal	1,06	8,82	1,45	4,68
Porotal	0,73	Cachapoal	1,06	8,65	4,59	16,96
Yerbas Buenas (Santa Julia)	0,73	Cachapoal	1,06	27,47	30,71	77,02
Carrizal	0,73	Nilahue	1,08	17,35	21,69	66,14
Pihuchén	0,73	Cachapoal	1,06	9,63	1,52	4,81
La Esperanza	0,73	Cachapoal	1,06	14,25	7,91	23,13
Tierruca	0,73	Cachapoal	1,06	14,39	17,48	56,67
Guido Soto	0,73	Cachapoal	1,06	14,17	6,22	18,81
Los Novios	0,73	Nilahue	1,08	7,34	1,00	3,40
Alto Colorado	0,73	Nilahue	1,08	7,16	1,77	6,65
Pañilonco	0,73	Nilahue	1,06	15,88	16,72	52,83
Rinconada (La Macarena)	0,73	Cachapoal	1,06	10,72	2,82	7,68
Santa Isabel	0,73	Cachapoal	1,06	18,74	7,93	16,19
Convento Viejo	0,73	Cachapoal	1,06	33,15	562,00	1328,14
Lolol	0,73	Nilahue	1,08	15,14	29,45	93,01
Culenco	0,73	Nilahue	1,08	13,87	7,28	20,34
Pataguilla	0,73	Nilahue	1,08	11,16	9,17	31,47

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Los Negros	0,73	Nilahue	1,08	9,54	8,12	31,63
El Guaico	0,73	Cachapoal	1,06	7,90	2,65	10,57
El Huique	0,73	Cachapoal	1,06	7,90	2,95	11,94
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,73	Cachapoal	1,06	8,65	0,84	2,63
Jaime Ramírez	0,73	Nilahue	1,08	10,66	5,65	19,44
La Troya	0,73	Cachapoal	1,06	18,78	4,59	10,92
Nilahue	0,73	Nilahue	1,08	14,09	14,82	43,15
El Cardonal	0,73	Nilahue	1,08	7,66	1,38	4,90
Lagunillas	0,73	Nilahue	1,08	8,95	1,93	6,26
La Gloria (La cruz)	0,73	Nilahue	1,08	13,01	14,50	44,94
Quesería	0,73	Nilahue	1,08	8,22	2,64	9,44
Salto De Agua	0,73	Nilahue	1,08	15,33	11,51	32,02
Callihue	0,73	Nilahue	1,08	14,28	9,82	28,42
Pataguas Cerro Guirabo	0,73	Cachapoal	1,06	12,39	4,73	14,05

CUADRO 4.3.4-7
CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

T=20 AÑOS

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q (T) racional
Los Maquis	0,77	Cachapoal	1,13	9,15	3,75	12,88
Pilaicito	0,77	Coya	1,14	33,52	105,40	286,31
Romeral	0,77	Coya	1,14	9,22	2,95	10,52
Picarquín	0,77	Coya	1,14	21,55	30,85	92,96
Esmeralda	0,77	Cachapoal	1,13	12,00	2,71	6,47
Chancón	0,77	Coya	1,14	12,11	16,60	61,06
San Isidro	0,77	Cachapoal	1,13	17,77	34,42	99,49
Millahue	0,77	Cachapoal	1,13	18,83	53,23	155,21
San Hernán (San José De Las Pataguas)	0,77	Cachapoal	1,13	17,05	33,02	98,70
Idahue	0,77	Cachapoal	1,13	12,86	19,42	60,14
San Vicente	0,77	Cachapoal	1,13	17,22	13,95	40,98
Cocauquén o Pailimo 1	0,77	Nilahue	1,15	17,20	33,12	108,27
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,77	Nilahue	1,15	9,07	3,55	12,68
La Rosa	0,77	Nilahue	1,15	10,02	6,13	21,16
Alcones (El Sauce)	0,77	Nilahue	1,15	21,54	61,54	186,61
Mallermo	0,77	Nilahue	1,15	10,09	4,31	14,03
Aguadilla	0,77	Nilahue	1,15	13,41	7,87	23,35
Los Maitenes	0,77	Cachapoal	1,13	10,00	3,76	13,04

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q (T) racional
San Guillermo (Santa Marta)	0,77	Cachapoal	1,13	9,36	1,64	5,23
Porotal	0,77	Cachapoal	1,13	9,18	5,20	18,94
Yerbas Buenas (Santa Julia)	0,77	Cachapoal	1,13	29,17	34,79	86,00
Carrizal	0,77	Nilahue	1,15	18,48	24,66	74,08
Pihuchén	0,77	Cachapoal	1,13	10,23	1,72	5,37
La Esperanza	0,77	Cachapoal	1,13	15,13	8,96	25,83
Tierruca	0,77	Cachapoal	1,13	15,28	19,80	63,28
Guido Soto	0,77	Cachapoal	1,13	15,04	7,04	21,01
Los Novios	0,77	Nilahue	1,15	7,82	1,14	3,81
Alto Colorado	0,77	Nilahue	1,15	7,62	2,02	7,45
Pañilonco	0,77	Nilahue	1,15	17,16	19,36	60,04
Rinconada (La Macarena)	0,77	Cachapoal	1,13	11,41	3,20	8,60
Santa Isabel	0,77	Cachapoal	1,13	19,95	9,01	18,13
Convento Viejo	0,77	Cachapoal	1,13	35,34	639,92	1489,26
Lolol	0,77	Nilahue	1,15	16,12	33,49	104,18
Culenco	0,77	Nilahue	1,15	14,79	8,30	22,81
Pataguilla	0,77	Nilahue	1,15	11,90	10,44	35,30
Los Negros	0,77	Nilahue	1,15	10,18	9,25	35,48
El Guaico	0,77	Cachapoal	1,13	8,40	3,02	11,83
El Huique	0,77	Cachapoal	1,13	8,40	3,36	13,37
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,77	Cachapoal	1,13	9,23	0,96	2,95
Jaime Ramírez	0,77	Nilahue	1,15	11,35	6,43	21,78
La Troya	0,77	Cachapoal	1,13	19,99	5,22	12,23
Nilahue	0,77	Nilahue	1,15	15,00	16,85	48,33
El Cardonal	0,77	Nilahue	1,15	8,16	1,57	5,49
Lagunillas	0,77	Nilahue	1,15	9,53	2,20	7,02
La Gloria (La cruz)	0,77	Nilahue	1,15	13,85	16,49	50,33
Quesería	0,77	Nilahue	1,15	8,75	3,01	10,57
Salto De Agua	0,77	Nilahue	1,15	16,32	13,09	35,87
Callihue	0,77	Nilahue	1,15	15,21	11,17	31,83
Pataguas Cerro Guirabo	0,77	Cachapoal	1,13	13,19	5,38	15,73

CUADRO 4.3.4-8
CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

T=25 AÑOS

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q (T) racional
Los Maquis	0,8	Cachapoal	1,17	9,47	4,07	13,85
Pilaicito	0,8	Coya	1,16	34,22	112,39	303,75
Romeral	0,8	Coya	1,16	9,42	3,15	11,16
Picarquín	0,8	Coya	1,16	21,93	32,75	98,27
Esmeralda	0,8	Cachapoal	1,17	12,39	2,93	6,94
Chancón	0,8	Coya	1,16	12,37	17,70	64,78
San Isidro	0,8	Cachapoal	1,17	18,35	37,22	106,74
Millahue	0,8	Cachapoal	1,17	19,50	57,74	166,97
San Hernán (San José De Las Pataguas)	0,8	Cachapoal	1,17	17,65	35,82	106,17
Idahue	0,8	Cachapoal	1,17	13,31	21,07	64,69
San Vicente	0,8	Cachapoal	1,17	17,83	15,13	44,09
Cocauquén o Pailimo 1	0,8	Nilahue	1,19	17,79	35,91	116,40
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,8	Nilahue	1,19	9,39	3,85	13,63
La Rosa	0,8	Nilahue	1,19	10,37	6,64	22,75
Alcones (El Sauce)	0,8	Nilahue	1,19	22,29	66,71	200,63
Mallermo	0,8	Nilahue	1,19	10,44	4,67	15,08
Aguadilla	0,8	Nilahue	1,19	13,88	8,53	25,11
Los Maitenes	0,8	Cachapoal	1,17	10,35	4,08	14,03
San Guillermo (Santa Marta)	0,8	Cachapoal	1,17	9,69	1,78	5,62
Porotal	0,8	Cachapoal	1,17	9,51	5,65	20,37
Yerbas Buenas (Santa Julia)	0,8	Cachapoal	1,17	30,20	37,74	92,51
Carrizal	0,8	Nilahue	1,19	19,12	26,73	79,64
Pihuchén	0,8	Cachapoal	1,17	10,59	1,87	5,77
La Esperanza	0,8	Cachapoal	1,17	15,67	9,71	27,79
Tierruca	0,8	Cachapoal	1,17	15,82	21,48	68,08
Guido Soto	0,8	Cachapoal	1,17	15,58	7,64	22,60
Los Novios	0,8	Nilahue	1,19	8,09	1,23	4,09
Alto Colorado	0,8	Nilahue	1,19	7,89	2,19	8,01
Pañilonco	0,8	Nilahue	1,19	17,76	20,98	64,55
Rinconada (La Macarena)	0,8	Cachapoal	1,17	11,78	3,46	9,22
Santa Isabel	0,8	Cachapoal	1,17	20,60	9,74	19,45
Convento Viejo	0,8	Cachapoal	1,17	36,59	694,16	1602,05
Lolol	0,8	Nilahue	1,19	16,68	36,30	112,00
Culenco	0,8	Nilahue	1,19	15,31	9,00	24,52
Pataguilla	0,8	Nilahue	1,19	12,32	11,32	37,95

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q (T) racional
Los Negros	0,8	Nilahue	1,19	10,53	10,02	38,14
El Guaico	0,8	Cachapoal	1,17	8,68	3,26	12,70
El Huique	0,8	Cachapoal	1,17	8,68	3,63	14,34
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,8	Cachapoal	1,17	9,55	1,04	3,17
Jaime Ramírez	0,8	Nilahue	1,19	11,75	6,96	23,41
La Troya	0,8	Cachapoal	1,17	20,65	5,65	13,12
Nilahue	0,8	Nilahue	1,19	15,52	18,26	51,96
El Cardonal	0,8	Nilahue	1,19	8,44	1,71	5,90
Lagunillas	0,8	Nilahue	1,19	9,86	2,38	7,54
La Gloria (La cruz)	0,8	Nilahue	1,19	14,34	17,87	54,11
Quesería	0,8	Nilahue	1,19	9,06	3,26	11,37
Salto De Agua	0,8	Nilahue	1,19	16,89	14,18	38,56
Callihue	0,8	Nilahue	1,19	15,74	12,11	34,22
Pataguas Cerro Guirabo	0,8	Cachapoal	1,17	13,62	5,82	16,88

CUADRO 4.3.4-9
CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

T=50 AÑOS

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q (T) racional
Los Maquis	0,87	Cachapoal	1,31	10,61	5,09	16,87
Pilaicito	0,87	Coya	1,30	38,36	140,77	370,20
Romeral	0,87	Coya	1,30	10,55	3,94	13,60
Picarquín	0,87	Coya	1,30	24,57	41,02	119,77
Esmeralda	0,87	Cachapoal	1,31	13,88	3,67	8,45
Chancón	0,87	Coya	1,30	13,86	22,17	78,95
San Isidro	0,87	Cachapoal	1,31	20,54	46,56	129,97
Millahue	0,87	Cachapoal	1,31	21,83	72,24	203,31
San Hernán (San José De Las Pataguas)	0,87	Cachapoal	1,31	19,76	44,82	129,28
Idahue	0,87	Cachapoal	1,31	14,91	26,36	78,77
San Vicente	0,87	Cachapoal	1,31	19,96	18,93	53,68
Cocauquén o Pailimo 1	0,87	Nilahue	1,35	20,19	45,66	143,61
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,87	Nilahue	1,35	10,65	4,90	16,82
La Rosa	0,87	Nilahue	1,35	11,76	8,44	28,07
Alcones (El Sauce)	0,87	Nilahue	1,35	25,29	84,83	247,52
Mallermo	0,87	Nilahue	1,35	11,84	5,94	18,60
Aguadilla	0,87	Nilahue	1,35	15,74	10,85	30,97
Los Maitenes	0,87	Cachapoal	1,31	11,59	5,10	17,08

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q (T) racional
San Guillermo (Santa Marta)	0,87	Cachapoal	1,31	10,85	2,23	6,85
Porotal	0,87	Cachapoal	1,31	10,65	7,06	24,80
Yerbas Buenas (Santa Julia)	0,87	Cachapoal	1,31	33,81	47,21	112,64
Carrizal	0,87	Nilahue	1,35	21,69	33,99	98,26
Pihuchén	0,87	Cachapoal	1,31	11,85	2,34	7,03
La Esperanza	0,87	Cachapoal	1,31	17,54	12,15	33,84
Tierruca	0,87	Cachapoal	1,31	17,71	26,88	82,89
Guido Soto	0,87	Cachapoal	1,31	17,44	9,56	27,51
Los Novios	0,87	Nilahue	1,35	9,17	1,57	5,05
Alto Colorado	0,87	Nilahue	1,35	8,95	2,78	9,88
Pañilonco	0,87	Nilahue	1,35	20,14	26,68	79,63
Rinconada (La Macarena)	0,87	Cachapoal	1,31	13,19	4,33	11,23
Santa Isabel	0,87	Cachapoal	1,31	23,07	12,19	23,68
Convento Viejo	0,87	Cachapoal	1,31	40,97	868,46	1950,70
Lolol	0,87	Nilahue	1,35	18,92	46,16	138,18
Culenco	0,87	Nilahue	1,35	17,37	11,44	30,26
Pataguilla	0,87	Nilahue	1,35	13,98	14,39	46,82
Los Negros	0,87	Nilahue	1,35	11,94	12,75	47,06
El Guaico	0,87	Cachapoal	1,31	9,72	4,08	15,46
El Huique	0,87	Cachapoal	1,31	9,72	4,54	17,47
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,87	Cachapoal	1,31	10,70	1,30	3,86
Jaime Ramírez	0,87	Nilahue	1,35	13,33	8,86	28,89
La Troya	0,87	Cachapoal	1,31	23,12	7,06	15,97
Nilahue	0,87	Nilahue	1,35	17,61	23,22	64,10
El Cardonal	0,87	Nilahue	1,35	9,57	2,17	7,28
Lagunillas	0,87	Nilahue	1,35	11,19	3,03	9,31
La Gloria (La cruz)	0,87	Nilahue	1,35	16,26	22,72	66,76
Quesería	0,87	Nilahue	1,35	10,27	4,14	14,02
Salto De Agua	0,87	Nilahue	1,35	19,16	18,04	47,57
Callihue	0,87	Nilahue	1,35	17,85	15,40	42,21
Pataguas Cerro Guirabo	0,87	Cachapoal	1,31	15,25	7,28	20,55

CUADRO 4.3.4-10
CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

T=100 AÑOS

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) racional
Los Maquis	1	Cachapoal	1,45	11,74	6,63	21,46
Pilaicito	1	Coya	1,44	42,49	183,68	471,34
Romeral	1	Coya	1,44	11,69	5,14	17,32
Picarquín	1	Coya	1,44	27,22	53,52	152,49
Esmeralda	1	Cachapoal	1,45	15,36	4,78	10,75
Chancón	1	Coya	1,44	15,36	28,93	100,53
San Isidro	1	Cachapoal	1,45	22,74	60,70	165,36
Millahue	1	Cachapoal	1,45	24,16	94,18	258,66
San Hernán (San José De Las Pataguas)	1	Cachapoal	1,45	21,87	58,42	164,47
Idahue	1	Cachapoal	1,45	16,50	34,36	100,22
San Vicente	1	Cachapoal	1,45	22,09	24,67	68,30
Cocauquén o Pailimo 1	1	Nilahue	1,51	22,58	60,30	184,63
Piedras Blancas o Pailimo 2	1	Nilahue	1,51	11,91	6,47	21,62
La Rosa	1	Nilahue	1,51	13,16	11,15	36,08
Alcones (El Sauce)	1	Nilahue	1,51	28,28	112,03	318,22
Mallermo	1	Nilahue	1,51	13,25	7,85	23,92
Aguadilla	1	Nilahue	1,51	17,61	14,33	39,82
Los Maitenes	1	Cachapoal	1,45	12,83	6,65	21,73
San Guillermo (Santa Marta)	1	Cachapoal	1,45	12,01	2,91	8,71
Porotal	1	Cachapoal	1,45	11,78	9,21	31,55
Yerbas Buenas (Santa Julia)	1	Cachapoal	1,45	37,43	61,55	143,31
Carrizal	1	Nilahue	1,51	24,26	44,89	126,32
Pihuchén	1	Cachapoal	1,45	13,12	3,04	8,94
La Esperanza	1	Cachapoal	1,45	19,42	15,84	43,05
Tierruca	1	Cachapoal	1,45	19,60	35,04	105,46
Guido Soto	1	Cachapoal	1,45	19,31	12,46	35,00
Los Novios	1	Nilahue	1,51	10,26	2,07	6,49
Alto Colorado	1	Nilahue	1,51	10,01	3,67	12,71
Pañilonco	1	Nilahue	1,51	22,53	35,24	102,38
Rinconada (La Macarena)	1	Cachapoal	1,45	14,60	5,65	14,29
Santa Isabel	1	Cachapoal	1,45	25,53	15,89	30,13
Convento Viejo	1	Cachapoal	1,45	45,35	1132,17	2481,81
Lolol	1	Nilahue	1,51	21,16	60,96	177,65
Culenco	1	Nilahue	1,51	19,43	15,11	38,90
Pataguilla	1	Nilahue	1,51	15,63	19,01	60,20

NOMBRE EMBALSE	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) racional
Los Negros	1	Nilahue	1,51	13,36	16,83	60,50
El Guaico	1	Cachapoal	1,45	10,75	5,32	19,67
El Huique	1	Cachapoal	1,45	10,75	5,92	22,22
Santa Lucia (Santa Margarita)	1	Cachapoal	1,45	11,84	1,70	4,91
Jaime Ramírez	1	Nilahue	1,51	14,91	11,70	37,14
La Troya	1	Cachapoal	1,45	25,59	9,21	20,32
Nilahue	1	Nilahue	1,51	19,69	30,67	82,42
El Cardonal	1	Nilahue	1,51	10,71	2,86	9,36
Lagunillas	1	Nilahue	1,51	12,51	4,00	11,96
La Gloria (La cruz)	1	Nilahue	1,51	18,19	30,01	85,83
Quesería	1	Nilahue	1,51	11,49	5,47	18,03
Salto De Agua	1	Nilahue	1,51	21,43	23,82	61,16
Callihue	1	Nilahue	1,51	19,97	20,34	54,27
Pataguas Cerro Guirabo	1	Cachapoal	1,45	16,87	9,48	26,15

4.3.5 Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

El procedimiento es el siguiente:

- Según la ubicación geográfica y las características de las cuencas en estudio, se determina la región hidrológicamente homogénea a la que ella pertenece, que en este caso corresponde a latitudes entre 32 y 35°, y la correspondiente fórmula para período el Pluvial es la siguiente.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \cdot (Ap)^{0,915}$$

Donde:

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

Se obtienen la variable adimensional (QT/Q10) de acuerdo con la curva de frecuencia adimensional correspondiente a la región homogénea para aquel período de retorno de interés. Estos valores se encuentran en la página 3-62 del estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda. y sus valores se presentan en el Cuadro 4.3.2-2.

CUADRO 4.3.5-1
CURVA DE FRECUENCIA REGIONAL. CAUDALES MEDIOS MÁXIMOS DIARIOS

T	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1,00
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,10

- Se determina el caudal medio diario de período de retorno 10 años.
- Se obtienen el caudal medio diario asociado al período de retorno de interés multiplicando la razón Q_T/Q_{10} determinado anteriormente.

Para obtener el caudal instantáneo máximo, para un período de retorno T, se debe ubicar la zona homogénea a la cual pertenece la cuenca en análisis. En el caso, en la VI Región, la Zona Homogénea en Período de Deshielo corresponde a la "Wn" ya que se localiza entre la latitud mayor que 32°00' sur y 38°00' sur.

Por la falta de otros métodos de cálculo y debido a la pequeña extensión de algunas cuencas, para la obtención de resultados se consultó la frecuencia máxima Q(T)/Q(10).

- Finalmente la expresión queda de la siguiente forma:

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

CUADRO 4.3.5-2
CAUDALES MEDIOS MÁXIMOS DIARIOS (m^3/s)

Q medio diario máx (T), DGA-AC								
Embalse / T (años)	**2**	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**50**	**100**
Los Maquis	0,23	0,85	1,14	1,31	1,48	1,59	1,97	2,40
Pilaicito	22,34	44,95	60,74	69,51	78,36	84,43	104,48	127,56
Romeral	0,39	1,41	1,90	2,18	2,45	2,64	3,27	3,99
Picarquín	6,20	15,15	20,48	23,43	26,41	28,46	35,22	43,00
Esmeralda	0,15	0,58	0,78	0,89	1,01	1,09	1,35	1,64
Chancón	1,59	4,47	6,04	6,92	7,80	8,40	10,39	12,69

Q medio diario máx (T), DGA-AC								
San Isidro	5,03	12,32	16,64	19,05	21,47	23,14	28,63	34,95
Millahue	7,95	18,14	24,52	28,06	31,63	34,08	42,17	51,49
San Hernán (San José De Las Pataguas)	4,96	12,19	16,47	18,85	21,25	22,90	28,34	34,60
Idahue	1,50	4,18	5,65	6,46	7,28	7,85	9,71	11,86
San Vicente	1,58	4,51	6,10	6,98	7,87	8,48	10,49	12,81
Cocauquén o Pailimo 1	3,21	8,11	10,96	12,55	14,14	15,24	18,86	23,03
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,32	1,13	1,53	1,75	1,98	2,13	2,63	3,22
La Rosa	0,34	1,17	1,58	1,81	2,04	2,19	2,72	3,32
Alcones (El Sauce)	4,88	11,33	15,31	17,52	19,75	21,28	26,34	32,16
Mallermo	0,22	0,80	1,08	1,23	1,39	1,49	1,85	2,26
Aguadilla	0,41	1,35	1,83	2,09	2,36	2,54	3,14	3,84
Los Maitenes	0,45	1,58	2,14	2,45	2,76	2,97	3,68	4,49
San Guillermo (Santa Marta)	0,17	0,67	0,91	1,04	1,17	1,26	1,56	1,91
Porotal	0,38	1,31	1,77	2,02	2,28	2,46	3,04	3,71
Yerbas Buenas (Santa Julia)	5,34	13,00	17,57	20,10	22,66	24,42	30,21	36,89
Carrizal	2,36	6,25	8,45	9,67	10,90	11,75	14,54	17,75
Pihuchén	0,23	0,92	1,24	1,42	1,60	1,72	2,13	2,60
La Esperanza	0,67	2,11	2,85	3,26	3,68	3,96	4,91	5,99
Tierruca	1,53	4,25	5,74	6,57	7,41	7,98	9,88	12,06
Guido Soto	1,01	3,18	4,29	4,91	5,54	5,97	7,39	9,02
Los Novios	0,10	0,42	0,56	0,64	0,72	0,78	0,97	1,18
Alto Colorado	0,19	0,73	0,98	1,12	1,27	1,37	1,69	2,06
Pañilonco	2,25	6,12	8,27	9,47	10,67	11,50	14,23	17,37
Rinconada (La Macarena)	0,23	0,85	1,15	1,31	1,48	1,60	1,98	2,41
Santa Isabel	0,85	2,62	3,54	4,05	4,56	4,91	6,08	7,42
Convento Viejo	92,02	143,01	193,26	221,16	249,31	268,64	332,41	405,85
Lolol	4,52	11,18	15,11	17,29	19,49	21,00	25,99	31,73
Culenco	1,03	3,17	4,29	4,91	5,53	5,96	7,37	9,00
Pataguilla	1,25	3,72	5,03	5,76	6,49	6,99	8,65	10,57
Los Negros	1,15	3,49	4,72	5,40	6,08	6,56	8,11	9,90
El Guaico	0,40	1,44	1,94	2,23	2,51	2,70	3,34	4,08
El Huique	0,45	1,58	2,14	2,45	2,76	2,97	3,68	4,49
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,13	0,55	0,74	0,85	0,96	1,03	1,28	1,56
Jaime Ramírez	0,86	2,76	3,73	4,27	4,81	5,18	6,41	7,83
La Troya	0,55	1,85	2,50	2,87	3,23	3,48	4,31	5,26
Nilahue	1,75	4,89	6,61	7,57	8,53	9,19	11,37	13,89
El Cardonal	0,15	0,60	0,82	0,94	1,05	1,14	1,41	1,72
Lagunillas	0,21	0,80	1,09	1,24	1,40	1,51	1,87	2,28
La Gloria (La cruz)	1,69	4,75	6,41	7,34	8,27	8,91	11,03	13,47
Quesería	0,26	0,98	1,32	1,51	1,70	1,84	2,27	2,77

Q medio diario máx (T), DGA-AC								
Salto De Agua	1,81	5,16	6,98	7,99	9,00	9,70	12,00	14,66
Callihue	1,53	4,49	6,07	6,95	7,83	8,44	10,44	12,75
Pataguas Cerro Guirabo	0,77	2,52	3,40	3,90	4,39	4,73	5,86	7,15

CUADRO 4.3.5-3
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS (m^3/s)

Q medio instantáneo máx (T), DGA-AC								
Embalse / T (años)	**2**	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**50**	**100**
Los Maquis	0,28	1,01	1,36	1,56	1,76	1,89	2,34	2,86
Pilaicito	26,59	53,49	72,28	82,72	93,25	100,47	124,33	151,79
Romeral	0,46	1,68	2,26	2,59	2,92	3,15	3,89	4,75
Picarquín	7,38	18,03	24,37	27,88	31,43	33,87	41,91	51,17
Esmeralda	0,18	0,69	0,93	1,07	1,20	1,29	1,60	1,95
Chancón	1,89	5,32	7,19	8,23	9,28	10,00	12,37	15,10
San Isidro	5,99	14,66	19,81	22,67	25,55	27,53	34,07	41,60
Millahue	9,46	21,59	29,18	33,39	37,64	40,56	50,19	61,27
San Hernán (San José De Las Pataguas)	5,90	14,51	19,60	22,43	25,29	27,25	33,72	41,17
Idahue	1,79	4,97	6,72	7,69	8,67	9,34	11,56	14,11
San Vicente	1,88	5,37	7,26	8,30	9,36	10,09	12,48	15,24
Cocauquén o Pailimo 1	3,82	9,66	13,05	14,93	16,83	18,14	22,44	27,40
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,37	1,35	1,82	2,09	2,35	2,53	3,13	3,83
La Rosa	0,41	1,39	1,88	2,15	2,42	2,61	3,23	3,95
Alcones (El Sauce)	5,80	13,48	18,22	20,85	23,51	25,33	31,34	38,27
Mallermo	0,26	0,95	1,28	1,46	1,65	1,78	2,20	2,69
Aguadilla	0,49	1,61	2,18	2,49	2,81	3,02	3,74	4,57
Los Maitenes	0,54	1,88	2,54	2,91	3,28	3,53	4,37	5,34
San Guillermo (Santa Marta)	0,20	0,80	1,08	1,24	1,39	1,50	1,86	2,27
Porotal	0,46	1,56	2,10	2,41	2,71	2,92	3,62	4,42
Yerbas Buenas (Santa Julia)	6,35	15,47	20,90	23,92	26,96	29,05	35,95	43,90
Carrizal	2,81	7,44	10,06	11,51	12,97	13,98	17,30	21,12
Pihuchén	0,28	1,09	1,48	1,69	1,90	2,05	2,54	3,10
La Esperanza	0,80	2,51	3,39	3,88	4,38	4,72	5,84	7,13
Tierruca	1,83	5,06	6,83	7,82	8,82	9,50	11,76	14,35
Guido Soto	1,21	3,78	5,11	5,85	6,59	7,10	8,79	10,73
Los Novios	0,11	0,49	0,67	0,76	0,86	0,93	1,15	1,40
Alto Colorado	0,22	0,87	1,17	1,34	1,51	1,63	2,01	2,46
Pañilonco	2,68	7,28	9,84	11,27	12,70	13,68	16,93	20,67
Rinconada (La Macarena)	0,27	1,01	1,37	1,56	1,76	1,90	2,35	2,87
Santa Isabel	1,01	3,11	4,21	4,81	5,43	5,85	7,24	8,84

Q medio instantáneo máx (T), DGA-AC								
Convento Viejo	109,50	170,19	229,98	263,18	296,68	319,68	395,57	482,96
Lolol	5,38	13,31	17,98	20,58	23,20	25,00	30,93	37,76
Culenco	1,22	3,78	5,10	5,84	6,58	7,09	8,78	10,71
Pataguilla	1,48	4,43	5,99	6,85	7,72	8,32	10,30	12,57
Los Negros	1,37	4,15	5,61	6,42	7,24	7,80	9,65	11,79
El Guaico	0,48	1,71	2,31	2,65	2,99	3,22	3,98	4,86
El Huique	0,53	1,88	2,54	2,91	3,28	3,54	4,38	5,34
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,15	0,65	0,88	1,01	1,14	1,23	1,52	1,85
Jaime Ramírez	1,03	3,28	4,44	5,08	5,72	6,17	7,63	9,32
La Troya	0,66	2,21	2,98	3,41	3,84	4,14	5,13	6,26
Nilahue	2,08	5,82	7,87	9,01	10,15	10,94	13,54	16,53
El Cardonal	0,18	0,72	0,97	1,11	1,25	1,35	1,67	2,04
Lagunillas	0,25	0,96	1,29	1,48	1,67	1,80	2,22	2,71
La Gloria (La cruz)	2,01	5,65	7,63	8,73	9,85	10,61	13,13	16,03
Quesería	0,32	1,16	1,57	1,80	2,03	2,19	2,70	3,30
Salto De Agua	2,15	6,15	8,31	9,50	10,71	11,54	14,29	17,44
Callihue	1,82	5,35	7,22	8,27	9,32	10,04	12,42	15,17
Pataguas Cerro Guirabo	0,92	3,00	4,05	4,64	5,23	5,63	6,97	8,51

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CUADRO 4.3.5-4
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS (m^3/s)

NOMBRE EMBALSE	T (años)										
	2	5	10	15	20	25	50	100	200	500	1000
Los Maquis	1,14	1,63	2,77	3,29	3,75	4,07	5,09	6,63	7,146	8,444	9,425
Pilaicito	31,52	45,36	77,50	92,24	105,40	112,39	140,77	183,68	199,60	235,84	263,25
Romeral	0,88	1,27	2,17	2,58	2,95	3,15	3,94	5,14	5,61	6,62	7,39
Picarquín	9,18	13,22	22,58	26,88	30,85	32,75	41,02	53,52	57,73	68,19	76,10
Esmeralda	0,82	1,17	2,00	2,39	2,71	2,93	3,67	4,78	5,11	6,03	6,73
Chancón	4,97	7,15	12,21	14,53	16,60	17,70	22,17	28,93	31,44	37,14	41,46
San Isidro	10,43	14,90	25,39	30,29	34,42	37,22	46,56	60,70	65,82	77,71	86,70
Millahue	16,18	23,13	39,40	46,99	53,23	57,74	72,24	94,18	101,52	119,95	133,89
San Hernán (San José De Las Pataguas)	10,04	14,35	24,44	29,15	33,02	35,82	44,82	58,42	62,95	74,38	83,02
Idahue	5,90	8,44	14,38	17,15	19,42	21,07	26,36	34,36	37,04	43,76	48,85
San Vicente	4,24	6,06	10,32	12,31	13,95	15,13	18,93	24,67	26,59	31,42	35,07
Cocauquén o Pailimo 1	9,27	13,80	24,29	28,61	33,12	35,91	45,66	60,30	64,66	76,67	85,75
Piedras Blancas o Pailimo 2	0,99	1,48	2,61	3,07	3,55	3,85	4,90	6,47	6,94	8,23	9,20

NOMBRE EMBALSE	T (años)										
	2	5	10	15	20	25	50	100	200	500	1000
La Rosa	1,71	2,55	4,49	5,29	6,13	6,64	8,44	11,15	11,96	14,18	15,86
Alcones (El Sauce)	17,22	25,63	45,14	53,16	61,54	66,71	84,83	112,03	120,20	142,51	159,39
Mallermo	1,21	1,80	3,16	3,72	4,31	4,67	5,94	7,85	8,42	9,98	11,16
Aguadilla	2,20	3,28	5,77	6,80	7,87	8,53	10,85	14,33	15,37	18,22	20,38
Los Maitenes	1,14	1,63	2,78	3,32	3,76	4,08	5,10	6,65	7,17	8,47	9,45
San Guillermo (Santa Marta)	0,50	0,71	1,22	1,45	1,64	1,78	2,23	2,91	3,13	3,70	4,13
Porotal	1,58	2,26	3,85	4,59	5,20	5,65	7,06	9,21	9,93	11,73	13,09
Yerbas Buenas (Santa Julia)	10,57	15,11	25,75	30,71	34,79	37,74	47,21	61,55	66,33	78,37	87,48
Carrizal	6,90	10,27	18,08	21,30	24,66	26,73	33,99	44,89	48,16	57,10	63,86
Pihuchén	0,52	0,75	1,27	1,52	1,72	1,87	2,34	3,04	3,28	3,88	4,33
La Esperanza	2,72	3,89	6,63	7,91	8,96	9,71	12,15	15,84	17,08	20,18	22,52
Tierruca	6,02	8,60	14,66	17,48	19,80	21,48	26,88	35,04	37,77	44,62	49,81
Guido Soto	2,14	3,06	5,21	6,22	7,04	7,64	9,56	12,46	13,43	15,87	17,71
Los Novios	0,32	0,47	0,83	0,98	1,14	1,23	1,57	2,07	2,22	2,63	2,95
Alto Colorado	0,56	0,84	1,48	1,74	2,02	2,19	2,78	3,67	3,94	4,67	5,22
Pañilonco	5,42	8,06	14,20	16,72	19,36	20,98	26,68	35,24	37,81	44,82	50,13
Rinconada (La Macarena)	0,97	1,39	2,36	2,82	3,20	3,46	4,33	5,65	6,04	7,13	7,95
Santa Isabel	2,73	3,90	6,65	7,93	9,01	9,74	12,19	15,89	16,98	20,05	22,37
Convento Viejo	194,51	278,01	473,64	562,00	639,92	694,16	868,46	1132,17	1219,75	1441,22	1608,75
Lolol	9,37	13,95	24,56	29,45	33,49	36,30	46,16	60,96	65,42	77,56	86,73
Culenco	2,32	3,46	6,09	7,28	8,30	9,00	11,44	15,11	16,18	19,18	21,44
Pataguilla	2,92	4,35	7,66	9,17	10,44	11,32	14,39	19,01	20,41	24,19	27,05
Los Negros	2,59	3,85	6,78	8,12	9,25	10,02	12,75	16,83	18,03	21,36	23,89
El Guaico	0,91	1,31	2,22	2,65	3,02	3,26	4,08	5,32	5,68	6,71	7,48
El Huique	1,02	1,45	2,48	2,95	3,36	3,63	4,54	5,92	6,33	7,47	8,34
Santa Lucia (Santa Margarita)	0,29	0,42	0,71	0,84	0,96	1,04	1,30	1,70	1,83	2,16	2,42
Jaime Ramírez	1,80	2,68	4,71	5,65	6,43	6,96	8,86	11,70	12,56	14,89	16,65
La Troya	1,58	2,26	3,85	4,59	5,22	5,65	7,06	9,21	9,84	11,62	12,96
Nilahue	4,71	7,02	12,35	14,82	16,85	18,26	23,22	30,67	32,93	39,04	43,66
El Cardonal	0,44	0,66	1,15	1,38	1,57	1,71	2,17	2,86	3,07	3,64	4,07
Lagunillas	0,62	0,92	1,61	1,93	2,20	2,38	3,03	4,00	4,29	5,08	5,68
La Gloria (La cruz)	4,61	6,87	12,09	14,50	16,49	17,87	22,72	30,01	32,15	38,10	42,60
Quesería	0,84	1,25	2,20	2,64	3,01	3,26	4,14	5,47	5,87	6,96	7,78
Salto De Agua	3,66	5,45	9,60	11,51	13,09	14,18	18,04	23,82	25,58	30,32	33,91
Callihue	3,13	4,65	8,19	9,82	11,17	12,11	15,40	20,34	21,84	25,89	28,95
Pataguas Cerro Guirabo	1,63	2,33	3,97	4,73	5,38	5,82	7,28	9,48	10,14	11,97	13,36

4.3.6 Estimación de Caudales de Deshielo Máximos Probables Método DGA

El método denominado DGA-AC para crecidas de deshielo, corresponde a un análisis regional de crecidas del período de deshielo, desarrollado en base a los análisis de frecuencias efectuado a las series de excedencia para el período nival de caudales medios diarios máximos y caudales instantáneos máximos, correspondientes a 234 estaciones de control existente en el país.

La curva de frecuencia regional nival se incluye en el cuadro siguiente.

CUADRO 4.3.6-1
CURVA DE FRECUENCIA REGIONAL ZONA HOMOGENEA NIVAL "WN"
CUENCAS VI REGIÓN

T	Q(T)/Q(10)			β
	media	máx.	mín.	
2	0,65	0,77	0,57	1,18
5	0,87	0,92	0,83	1,18
10	1,00	1,00	1,00	1,18
20	1,12	1,15	1,07	1,18
25	1,16	1,20	1,10	1,18
50	1,27	1,35	1,16	1,18
75	1,33	1,43	1,20	1,18
100	1,36	1,47	1,21	1,18

Para estimar el valor del caudal medio diario asociado al período de retorno 10 años se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{10} = 1{,}81 \cdot 10^{-4} \cdot An \cdot (Lat - 26{,}2)^{3{,}392}$$

Donde:

Q_{10}	Caudal medio diario con período de retorno 10 años (m^3/s)
An	Área Nival de la cuenca (km^2)
Lat	Latitud media de la cuenca, en grados (°)

Por la falta de otros métodos de cálculo y debido a la pequeña extensión de algunas cuencas, para la obtención de resultados se consultó la frecuencia máxima Q(T)/Q(10).

Finalmente la expresión queda de la siguiente forma:

$$Q(T) = \beta \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T.

Según se indicó con anterioridad, los dos embalses que presentan influencia de área nival y por lo tanto crecidas de deshielo en el período octubre – marzo, son Pilaicito y San Isidro, para los

cuales se calculan dichas crecidas de deshielo, según la metodología indicada precedentemente.

CUADRO 4.3.6-2
CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y Q (10 AÑOS)

Embalse	Área nival (km^2)	Latitud media (·C)	Q(10) (m^3/s)
Los Sapos	5,56	34,1	1,09
Pilaicito	117,018	36	48,77
Picarquín	5,80	35,5	2,02
San Isidro	1,04	34,5	0,25
Convento viejo	5,38	31	0,20

CUADRO 4.3.6-3
CAUDAL MEDIO DIARIO MÁXIMO (m^3/s)

Q(T) (m^3/s)	Los Sapos	Pilaicito	Picarquín	San Isidro	Convento Viejo
2	0,84	37,41	1,55	0,19	0,15
5	1,12	50,07	2,08	0,25	0,20
10	1,29	57,55	2,39	0,29	0,24
15	1,42	63,31	2,63	0,32	0,26
20	1,44	64,46	2,67	0,33	0,26
25	1,49	66,76	2,77	0,34	0,27
50	1,64	73,09	3,03	0,37	0,30
75	1,71	76,54	3,18	0,39	0,31
100	1,75	78,27	3,25	0,40	0,32

CUADRO 4.3.6-4
CAUDAL INSTANTÁNEO MÁXIMO (m^3/s)

Q(T) (m3/s)	Los Sapos	Pilaicito	Picarquín	San Isidro	Convento Viejo
2	0,99	44,31	1,84	0,22	0,18
5	1,19	52,95	2,20	0,27	0,22
10	1,29	57,55	2,39	0,29	0,24
15	1,42	63,54	2,64	0,32	0,26
20	1,48	66,18	2,75	0,33	0,27
25	1,55	69,06	2,87	0,35	0,28
50	1,74	77,69	3,22	0,39	0,32
75	1,84	82,30	3,42	0,42	0,34
100	1,89	84,60	3,51	0,43	0,35

4.4 ANÁLISIS DE CURVA NÚMERO

El Método de la Curva Número permite estimar el escurrimiento directo o precipitación efectiva asociada a una tormenta a partir de tres variables: la precipitación total, la humedad de los suelos al inicio de la tormenta y el complejo hidrológico suelo-vegetación.

Para estimar el valor de la curva número y el monto de precipitación efectiva, se utilizaron las expresiones que se detallan a continuación.

En esta primera ecuación, se representa la envolvente superior de una serie de curvas que representan una relación entre la curva número y la latitud del lugar.

$$CN = 29{,}9 + 73{,}7 \cdot Log_{10}(Lat - 25) \quad \text{(Envolvente superior)}$$

$$CN = 11{,}9 + 73{,}7 \cdot Log_{10}(Lat - 25) \quad \text{(Envolvente media superior)}$$

A partir de estas curvas es posible obtener el valor de la Curva Número representativa de cada cuenca en función de su latitud del centro de gravedad de la cuenca.

La derivación de las relaciones supone válida la siguiente proporción:

$$\frac{(P - Q - Ia)}{S} = \frac{Q}{(P - Ia)}$$

Donde:

P	Precipitación total de la tormenta
Q	escorrentía directa derivada de la tormenta
S	Retención potencial máxima en el suelo (mm).
Ia	Abstracción inicial bajo lo cual no hay escurrimiento

La relación anterior considera que son iguales las razones entre las retenciones reales y potenciales $\frac{(P-Q-Ia)}{S}$ y los escurrimientos reales y potenciales $\frac{Q}{(P-Ia)}$.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)}$$

Se definió[2] la abstracción inicial como Ia=0,2S. Con este valor la relación que permite modelar el escurrimiento superficial en función de P es:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2 \cdot S)^2}{(P + 0{,}8 \cdot S)}$$

[2] Datos obtenidos en diferentes cuencas en Estados Unidos.

Para el uso del método, se asocia a cada curva Q-P un número entre el 0 y el 100, en el que 100 corresponde a la curva Q=P, siendo la relación que liga el número de la curva con el valor de S:

$$CN = \frac{25.400}{254 + S}, \text{ S en (mm)}$$

Luego, despejando el valor de S de las ecuaciones anteriores se relaciona la escorrentía directa con la precipitación total y la curva número.

Para el cálculo de S se considera la curva media superior.

CUADRO 4.4-1
CURVA NÚMERO Y RETENCIÓN POTENCIAL DEL SUELO

EMBALSE	Latitud	Superior	Media superior	S (mm)
Sapos	37	109	91	23,8
Los Maquis	33	96	78	69,7
Pilaicito	36	107	89	32,5
Romeral	35	103	85	45,5
Picarquín	36	105	87	37,4
Esmeralda	33	96	78	69,7
Chancón	33	97	79	68,4
San Isidro	35	102	84	48,5
Millahue	29	74	56	197,4
San Hernán (San José De Las Pataguas)	30	83	65	138,8
Idahue	30	80	62	155,0
San Vicente	26	30	12	1880,5
Cocauquén o Pailimo 1	24	30	12	1880,5
Piedras Blancas o Pailimo 2	25	30	12	1880,5
La Rosa	25	30	12	1880,5
Alcones (El Sauce)	24,5	30	12	1880,5
Mallermo	25	30	12	1880,5
Aguadilla	25	30	12	1880,5
Los Maitenes	26,5	43	25	767,0
San Guillermo (Santa Marta)	26	30	12	1880,5
Porotal	25	30	12	1862,7
Yerbas Buenas (Santa Julia)	26	30	12	1880,5
Carrizal	25	30	12	1862,7
Pihuchén	26,5	43	25	767,0
La Esperanza	27	52	34	491,2
Tierruca	27	52	34	491,2
Guido Soto	26	30	12	1880,5
Los Novios	23	30	12	1862,7

EMBALSE	Latitud	Superior	Media superior	S (mm)
Alto Colorado	23	30	12	1862,7
Pañilonco	23	30	12	1862,7
Rinconada (La Macarena)	32	92	74	88,4
Santa Isabel	32	92	74	88,9
Convento Viejo	33	96	78	69,7
Lolol	27	52	34	491,2
Culenco	25	40	20	1016,0
Pataguilla	26	40	20	1016,0
Los Negros	26	40	20	1016,0
El Guaico	29	73	55	94,7
El Huique	29	73	55	93,9
Santa Lucia (Santa Margarita)	27	52	34	233,7
Jaime Ramírez	27	52	34	233,7
La Troya	28	59	41	174,8
Nilahue	25	30	12	592,7
El Cardonal	25	30	12	592,7
Lagunillas	26	22	4	925,5
La Gloria (La cruz)	26	23	5	862,1
Quesería	25,5	8	-10	3038,7
Salto De Agua	27,5	59	41	174,8
Callihue	27,5	59	41	174,8
Pataguas Cerro Guirabo	29	70	52	108,9

4.5 VALIDACIÓN DE CAUDALES

En base a información de caudales extremos en cuencas presentes en la región, dadas por la ubicación de ciertas estaciones fluviográficas, se pretende de alguna manera validar la extrapolación de los caudales máximos instantáneos generados para 200, 500 y 1000 años , de las expresiones comúnmente usadas como Verni King, Racional, DGA-AC.

Para ello se le realiza un análisis frecuencial a la información de interés, con el fin de buscar la distribución de mejor ajuste, basado en la teoría que se expone a continuación.

4.5.1 Análisis de Frecuencia

Se realiza un análisis de frecuencia de los caudales máximos instantáneos en la s estaciones expuestas, se considera las distribuciones utilizadas comúnmente en ámbitos hidrológicos.

- Distribución normal.
- Distribución gumbel.
- Distribución Pearson III.
- Distribución Log-normal.
- Distribución Log-Pearson III.
- Distribución gamma.

Los parámetros de comparación para determinar si una determinada distribución se ajusta de mejor manera a los datos, son, el coeficiente de regresión (r^2) y el test estadístico χ^2, de ésta manera se precisa si la variable aleatoria precipitación (Pp), de la cual se posee una muestra finita, cumple o no con una cierta distribución de frecuencia.

En consecuencia, el método consiste en comparar el valor de la variable χ^2_υ obtenida a partir de la muestra con el valor $\chi^2_{\upsilon,A}$ para un cierto nivel de confianza elegido.

Si $\chi^2_\upsilon < \chi^2_{\upsilon,A}$ Se acepta la hipótesis de que los datos tienen la distribución elegida.

Si $\chi^2_\upsilon > \chi^2_{\upsilon,A}$ Se rechaza la hipótesis, ya que es muy poco probable que correspondiendo los datos a la distribución elegida, resulta un valor tan alto de la variable χ^2_υ.

Si al probar distintas distribuciones resulta que dos o más de ellas pueden ser aceptadas, se elige como más probable aquella distribución que dé el mínimo valor para la variable χ^2_υ.

Se trabaja con un nivel de confianza al 95% (A = 0.05) y se escoge aquella distribución que posea el menor valor de : $\chi^2_\upsilon / \chi^2_{\upsilon,A}$, idealmente este valor debe ser menor a 1.

4.5.2 Cuencas Controladas

Las siguientes cuencas, son la base para analizar los caudales que entregan para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años en términos de magnitud. Posteriormente la información entregada por dichas cuencas debe ser traspuesta a la cuenca de interés considerando que sean de características hidrológicas comunes.

En el cuadro siguiente se presentan las características y resultados del análisis para las cuencas base.

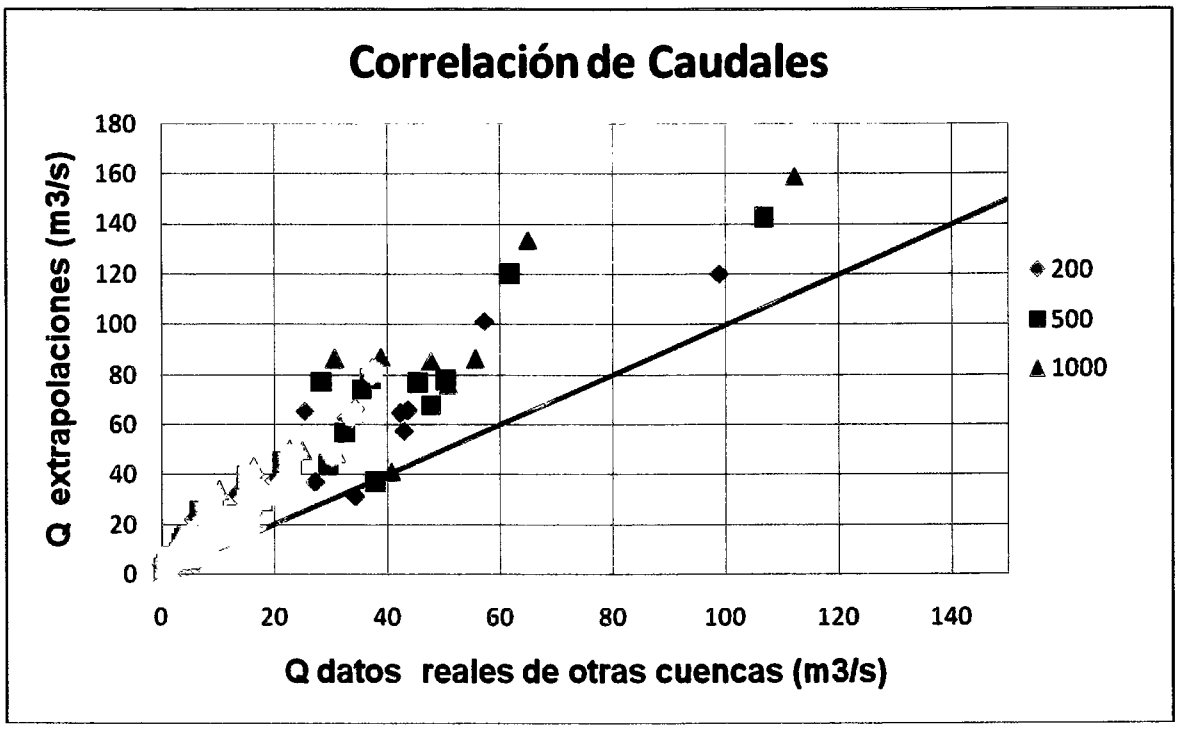
CUADRO 4.5.2-1
INFORMACIÓN CUENCAS BASE

Caudal Instantáneo (m^3/s)		UTM NORTE	UTM ESTE	Distribución de Probabilidad	T Retorno (años)		
Nº	Estación				200	500	1000
1	Río Cachapoal 5 Km Aguas debajo de junta catedral	6.198.518	373.401	Log-normal	885,8	1070,2	1222
2	Río Pangal en Pangal	6.209.605	377.708	Log-normal	330,6	384,3	427
3	Río Cachapoal en Pte Termas de Cauquenes	NO CUENTA CON ESTADÍSTICA SUFICIENTE					
4	Río Claro en hacienda Las Nieves	6.181.890	343.650	Gumbel	575,5	665	732,6
5	Río Claro en Tunca	6.193.405	306.945	Peerson	1072,9	1188,6	1272,7
6	Estero Zamorano en Puente El Niche	6.187.850	300.777	Normal	1645,2	1774,4	1865,1
7	Río Cachapoal en Puente Arqueado	NO CUENTA CON ESTADÍSTICA SUFICIENTE					
8	Río Claro en El Valle	6.160.046	328.337	Gumbel	778,9	888	9705
9	Río Tinguiririca bajo Los Briones	6.151.036	332.828	Log-normal	1724	2110,5	2432,1
10	Canal Teno en Km 13465	NO CUENTA CON ESTADÍSTICA SUFICIENTE					
11	Río Tinguiririca en Los Olmos	NO CUENTA CON ESTADÍSTICA SUFICIENTE					
12	Estero Nilahue en santa Teresa	6.171.041	243.965	Peerson	1708,1	1916,6	2070,5
13	Río Claro en Los Queñes	6.125.585	334.865	Peerson	748,6	813,4	859,9
14	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	6.120.683	350.846	Normal	401,3	428,3	447,4
15	Río Teno después de junta con Claro	6.125.812	333.846	Log-Peerson	1747,2	1978,9	2146,9
16	Río Mataquito en Licantén	6.124.535	772.948	Gumbel	7568,8	8686,4	9531

4.5.3 Validación de Caudales en Embalses

De acuerdo a la ubicación y características hidrológicas de cada cuenca, se busca aquella cuenca " base" a partir de la cual sea posible validar el caudal de crecida para los embalses , el que fue encontrado por medio de la extrapolación de las expresiones típicamente conocidas, se realizan las transposiciones pertinentes, encontrando que existe sobrestimación, ante lo cual se privilegia la seguridad. Consiguientemente, se presenta un cuadro comparativo de los caudales, destacando que en términos de magnitudes los caudales se consideran validados.

FIGURA 4.5.3-1



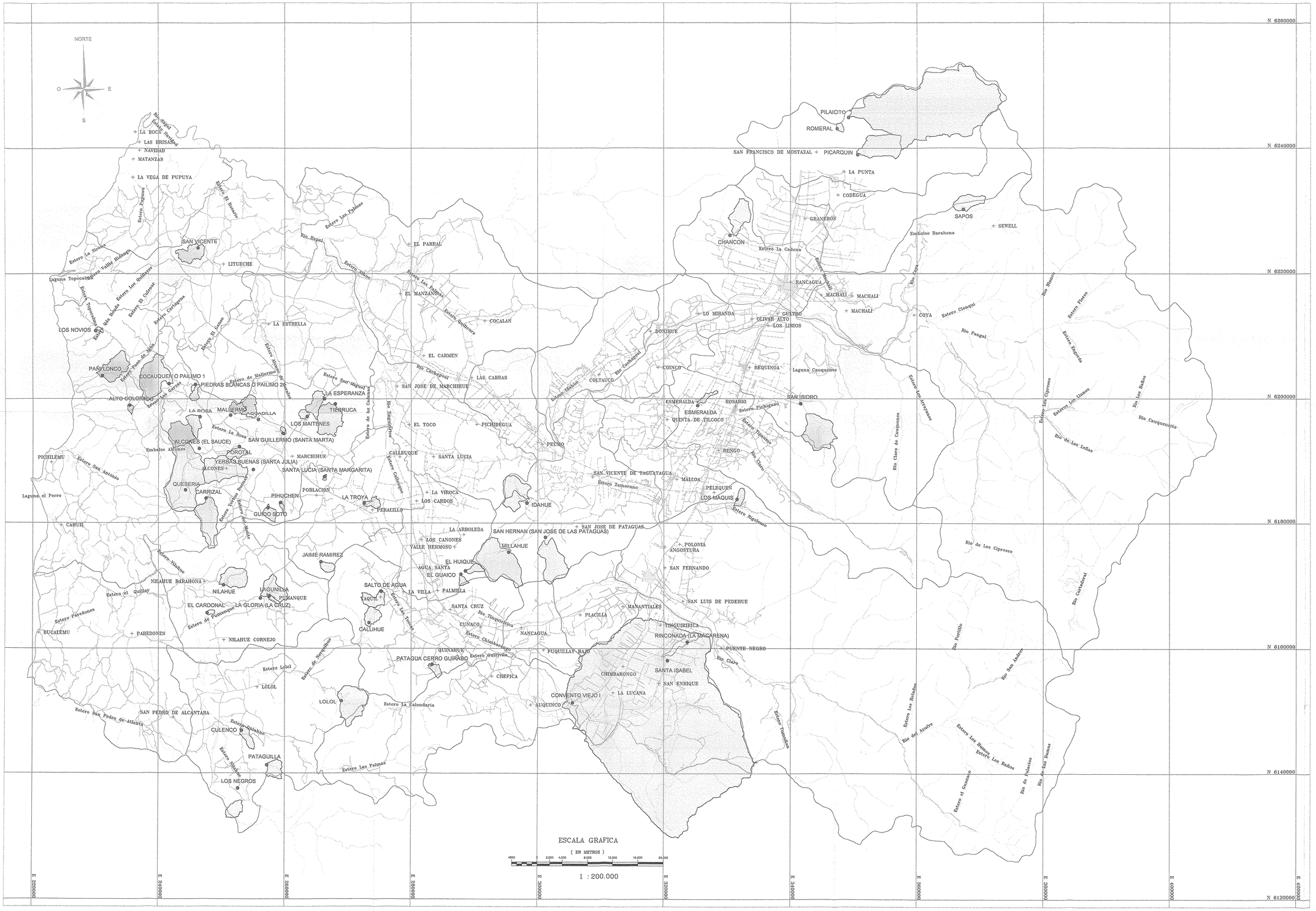
CUADRO 4.5.3-1
CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO- COMPARACIÓN

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO, CRECIDAS PLUVIALES				Q estimado en base a cuencas base (m^3/s)		
NOMBRE EMBALSE	T (años)					
	200	500	1000	200	500	1000
Los Maquis	7,146	8,444	9,425	5,86	6,77	7,46
Pilaicito	199,60	235,84	263,25	174,66	193,50	207,19
Romeral	5,61	6,62	7,39	3,73	4,13	4,43
Picarquín	57,73	68,19	76,10	43,01	47,65	51,02
Esmeralda	5,11	6,03	6,73	4,31	4,98	5,48
Chancón	31,44	37,14	41,46	34,35	38,06	40,75
San Isidro	65,82	77,71	86,70	43,68	50,47	55,60
Millahue	101,52	119,95	133,89	57,34	61,85	65,01
San Hernán (San José De Las Pataguas)	62,95	74,38	83,02	32,79	35,37	37,17
Idahue	37,04	43,76	48,85	27,35	29,50	31,01
San Vicente	26,59	31,42	35,07	14,50	15,64	16,44
Cocauquén o Pailimo 1	64,66	76,67	85,75	42,19	45,50	47,83
Piedras Blancas o Pailimo 2	6,94	8,23	9,20	3,34	3,60	3,78
La Rosa	11,96	14,18	15,86	8,49	9,15	9,62
Alcones (El Sauce)	120,20	142,51	159,39	98,95	106,72	112,17
Mallermo	8,42	9,98	11,16	6,00	6,47	6,80

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO, CRECIDAS PLUVIALES				Q estimado en base a cuencas base (m^3/s)		
NOMBRE EMBALSE	T (años)					
	200	500	1000	200	500	1000
Aguadilla	15,37	18,22	20,38	11,89	12,82	13,47
Los Maitenes	7,17	8,47	9,45	3,03	3,27	3,44
San Guillermo (Santa Marta)	3,13	3,70	4,13	1,29	1,39	1,46
Porotal	9,93	11,73	13,09	6,12	6,61	6,94
Yerbas Buenas (Santa Julia)	66,33	78,37	87,48	34,35	37,05	38,94
Carrizal	48,16	57,10	63,86	30,17	32,54	34,20
Pihuchén	3,28	3,88	4,33	0,83	0,94	1,01
La Esperanza	17,08	20,18	22,52	11,35	12,24	12,86
Tierruca	37,77	44,62	49,81	20,68	23,20	25,06
Guido Soto	13,43	15,87	17,71	4,14	4,64	5,01
Los Novios	2,22	2,63	2,95	0,92	0,99	1,04
Alto Colorado	3,94	4,67	5,22	1,69	1,82	1,91
Pañilonco	37,81	44,82	50,13	20,03	21,61	22,71
Rinconada (La Macarena)	6,04	7,13	7,95	4,60	5,24	5,73
Santa Isabel	16,98	20,05	22,37	12,85	14,65	16,01
Convento Viejo	1219,75	1441,22	1608,75	1385,74	1579,74	1726,62
Lolol	65,42	77,56	86,73	25,41	28,51	30,80
Culenco	16,18	19,18	21,44	9,25	10,05	10,63
Pataguilla	20,41	24,19	27,05	12,37	13,44	14,21
Los Negros	18,03	21,36	23,89	10,46	11,37	12,02
El Guaico	5,68	6,71	7,48	1,62	1,82	1,96
El Huique	6,33	7,47	8,34	1,83	2,05	2,22
Santa Lucia (Santa Margarita)	1,83	2,16	2,42	0,43	0,48	0,52
Jaime Ramírez	12,56	14,89	16,65	3,74	4,20	4,54
La Troya	9,84	11,62	12,96	3,55	3,98	4,30
Nilahue	32,93	39,04	43,66	13,58	15,24	16,46
El Cardonal	3,07	3,64	4,07	0,92	1,03	1,11
Lagunillas	4,29	5,08	5,68	1,35	1,52	1,64
La Gloria (La cruz)	32,15	38,10	42,60	13,36	14,99	16,19
Quesería	5,87	6,96	7,78	1,66	2,00	2,29
Salto De Agua	25,58	30,32	33,91	8,40	9,42	10,18
Callihue	21,84	25,89	28,95	5,70	6,88	7,86
Pataguas Cerro Guirabo	10,14	11,97	13,36	3,02	3,38	3,66

Incluye 1 plano.

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación


NORTE
O
E
S
N 6260000
N 6240000
N 6220000
N 6200000
N 6180000
N 6160000
N 6140000
N 6120000
E 220000
E 230000
E 240000
E 250000
E 260000
E 270000
E 280000
E 290000
E 300000
E 310000
E 320000
E 330000
E 340000
E 350000
E 360000
E 370000
E 380000
E 390000
E 400000
E 410000
E 420000
PILAICITO
ROMERAL
SAN FRANCISCO DE MOSTAZAL
PICARQUIN
LA PUNTA
CODEGUA
GRANEROS
SAPOS
SEWELL
Embalse Barahona
CHANCON
Estero La Cadena
RANCAGUA
MACHALI
LO MIRANDA
OLIVAR ALTO
LOS LIRIOS
COYA
Estero Cloqui
Rio Pangal
Rio Rapel
Rio Cachapoal
Rio Claro de Cauquenes
Laguna Cauquenes
DONIHUE
COINCO
REQUINOA
COLTAUCO
SAN ISIDRO
ESMERALDA
ROSARIO
QUINTA DE TILCOCO
Estero Pichiguano
Estero Tinguiririca
RENGO
Rio Claro
SAN VICENTE DE TAGUATAGUA
MALLOA
PELEQUEN
LOS MAQUIS
Estero Rapel
Estero Zamorano
Estero Rinconada
Rio de Los Cipreses
Rio Cortaderal
Rio Portillo
Rio San Andres
Rio Rauco
Estero Florin
Estero Rincorda
Estero Los Cipreses
Estero Los Llanos
Rio Los Baños
Rio Cauquenicito
Rio de Las Leñas
Estero Los Arrayanes
Estero Los Hualles
Rio del Arrayan
Estero Los Hornos
Estero Las Baños
Rio de Palacios
Rio de Las Damas
Estero el Cuanuco
Estero Tranquilon
SAN VICENTE
LITUECHE
EL PARRAL
EL MANZANO
LA ESTRELLA
COCALAN
EL CARMEN
LAS CABRAS
SAN JOSE DE MARCHIHUE
LOS NOVIOS
PAN LONCO
COCAUQUEN O PAILIMO 1
PIEDRAS BLANCAS O PAILIMO 2
ALTO COLORADO
LA ESPERANZA
TIERRUCA
LA ROSA
MALLERMO
AGUADILLA
LOS MAITENES
EL TOCO
PICHIDEGUA
PEUMO
ALCONES (EL SAUCE)
SAN GUILLERMO (SANTA MARTA)
POROTAL
MARCHIHUE
YERBAS BUENAS (SANTA JULIA)
SANTA LUCIA (SANTA MARGARITA)
CALLUQUE
SANTA LUCIA
PICHILEMU
Embalse Alcones
QUESERIA
CARRIZAL
POBLACION
PIHUCHEN
LA TROYA
LA VIROCA
LOS CARDOS
PERALILLO
GUICO SOTO
IDAHUE
Laguna el Perro
CAHUIL
LA ARBOLEDA
SAN HERNAN (SAN JOSE DE LAS PATAGUAS)
SAN JOSE DE PATAGUAS
LOS CANONES
VALLE HERMOSO
MILLAHUE
POLONIA
ANGOSTURA
JAIME RAMIREZ
EL HUIQUE
AGUA SANTA
EL GUAICO
SAN FERNANDO
NILAHUE BARAHONA
NILAHUE
LAGUNILLA
PUMANQUE
SALTO DE AGUA
LA VILLA
PALMILLA
LAQUIL
SANTA CRUZ
MANANTIALES
SAN LUIS DE PEDEHUE
EL CARDONAL
LA GLORIA (LA CRUZ)
PLACILLA
CUNACO
NANCAGUA
TINGUIRIRICA
CALLIHUE
RINCONADA (LA BACARENA)
BUCALEMU
PAREDONES
NILAHUE CORNEJO
QUINAHUE
PUENTE NEGRO
PUQUILLAY BAJO
PATAGUA CERRO GUIRABO
CHIMBARONGO
SANTA ISABEL
CHEPICA
SAN ENRIQUE
LOLOL
LA LUCANA
CONVENTO VIEJO I
SAN PEDRO DE ALCANTARA
CULENCO
PUQUINCO
PATAGUILLA
LOS NEGROS
Estero Paredones
Estero el Quilay
Estero Yinahue
Estero Las Palmas
Estero Lolol
Estero Guiahue
Estero Guirivilo
Estero Chimbarongo
Estero Tinguiririca
Estero La Calendaria
Estero San Pedro de Atlanti
Estero Las Palmas
Estero Las Palmas
Estero Yerbas Buenas
Estero del Monte
Estero Alcones
Estero Pumanque
Estero Las Cadenas
Estero Callihue
Estero Las Vegas
Estero Las Palmas
Estero Las Palmas
Estero Las Palm

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE EMBALSES

5. ANÁLISIS DE LOS EMBALSES

5.1 INTRODUCCIÓN

Sobre la base de la geometría general del muro y de la estimación de los parámetros del suelo constituyente del muro (en el caso de muro de tierra), tales como la cohesión, el ángulo de fricción interna, la densidad, etc., se aplicó un programa de computación de cálculo simplificado de estabilidad de taludes para las condiciones de estabilidad con embalse lleno, para embalse vacío y combinaciones de sismos.

5.2 ANCHO DEL CORONAMIENTO

El ancho de la presa en el coronamiento se estimó con la fórmula siguiente del Bureau of Reclamation que aparece en el libro "Diseño de Presas Pequeñas":

$$W = \frac{Z}{5} + 10$$

Donde:

w	=	ancho del coronamiento, en pies
Z	=	altura de la presa, en pies

5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA

El método de equilibrio límite en el análisis de estabilidad de taludes que se basa en la resistencia al deslizamiento de un talud, tomando en cuenta ciertas hipótesis en relación al mecanismo de falla, condiciones de equilibrio, nivel freático, resistencia cortante, etc.

Existen varios métodos para el análisis de estabilidad de taludes; el método utilizado en el estudio para el análisis de estabilidad de los taludes de los embalses es el de equilibrio límite propuesto por Bishop. El método de equilibrio límite supone que en el caso de una superficie de falla las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla, esta condición equivale a un factor de seguridad de 1,0. Los parámetros de resistencia cortante de los materiales utilizados en el análisis de estabilidad se han definido de acuerdo al tipo de material de las presas.

5.3.1 Método de Bishop Simplificado

El método de Bishop Simplificado es muy utilizado en la práctica de la ingeniería porque proporciona valores del factor de seguridad por el método de equilibrio límite muy cercanos a aquellos que proporcionan los métodos más rigurosos que satisfacen completamente las condiciones de equilibrio de fuerzas y momentos. El método de Bishop considera un problema de deformación plana en donde la superficie de falla es circular, dividiendo la masa del suelo comprendida en la superficie de falla en una cantidad limitada de dovelas verticales en las que los valores de cohesión, fricción y presión de poros permanecen constantes. En este método el factor de seguridad está definido como:

$$FS = \frac{\sum \left[c.b + W_i - u_i.b)tg\phi \right] \frac{1}{m_\alpha}}{\sum W_i Sen\alpha}; \quad m\alpha = \cos\alpha_i \left[+ (tg\alpha_i . tg\phi / FS) \right]$$

Donde :

FS	Factor de seguridad
c	Cohesión del suelo
ϕ	Ángulo de fricción interna
b	Ancho de la dovela
Wi	Peso total de la dovela
Ui	Presión de poros
αi	Ángulo de la base de la dovela con la horizontal

Esta ecuación no lineal se resuelve por iteraciones hasta alcanzar la convergencia en el cálculo del factor de seguridad estático.

El método de evaluación más usado en el análisis sísmico de taludes es el cálculo del mínimo factor de seguridad contra el deslizamiento cuando una fuerza estática y horizontal de alguna magnitud es incluida en el análisis. El análisis es tratado como un problema estático en el que el talud se comporta como cuerpo rígido fijado a su cimentación, experimentando una aceleración uniforme e igual a la aceleración superficial del terreno. La fuerza horizontal es expresada como el producto de un coeficiente sísmico K, y el peso W, de una potencial masa deslizante. Si el factor de seguridad se aproxima a la unidad, la sección es considerada insegura, aunque no hay un límite reconocido para el valor del mínimo factor de seguridad.

Entre los diversos métodos pseudo-estáticos de equilibrio límite que existen, se tiene al Método de Bishop, el cual es uno de los más usados en el análisis de estabilidad de taludes. Este método tiene como base las siguientes hipótesis:

- El mecanismo de falla es circular
- La fuerza de corte entre dovelas es nula
- La fuerza normal actúa en el punto medio de la base de la dovela
- Para cada dovela se satisface el equilibrio de fuerzas verticales, pero no así el equilibrio de fuerzas horizontales, ni el equilibrio de momentos.
- Para la masa total deslizante se satisface el equilibrio de fuerzas verticales y de momentos, más no el equilibrio de fuerzas horizontales.

5.3.2 Factores de Seguridad

Para el caso de taludes naturales el US Corps of Engineers propone que los factores de seguridad mínimos requeridos para considerar un talud estable seron similares a las presas de tierra. En el Cuadro 5.3-1 se presentan los factores de seguridad mínimos para las diferentes condiciones de análisis.

CUADRO 5.3-1
FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE PRESAS DE TIERRA (US CORPS OF ENGINEERS)

CONDICIÓN	TALUD AGUAS ARRIBA	TALUD AGUAS ABAJO
I) Al final de la construcción para presas de más de 15 m.	1,3 1,4	1,3 1,4
II) Infiltración Constante	-	1,5
III) Desembalse Rápido	1,5	-
IV) Sismo	1,0	1,0
V) Post Sismo	1,1<FS<1,2	

5.3.3 Condiciones de Análisis

Se analizará tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo, según lo siguiente:

Talud Aguas Arriba

El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

- Estático: . Con Agua
  Sin Agua
  Vaciado Rápido
- Sísmico . Con agua
  . Sin Agua

Talud Aguas Abajo

El estudio de estabilidad considera los siguientes casos:

- Estático Sin Agua
- Sísmico Sin agua

➢ **Condiciones Estáticas**

En este caso se supone que la estructura sólo estará sometida a la acción de las fuerzas debidas a su peso propio, carga aplicada y a las condiciones de infiltración, las cuales generan condiciones de presión de poros que influyen en la estabilidad de la estructura.

➢ **Condiciones Sísmicas**

En este análisis se considera que la estructura estará sometida además del peso propio a la acción de la fuerza horizontal que es proporcional al peso de la estructura. El coeficiente sísmico considerado será aquel que se propone en el análisis sísmico.

5.3.4 Aplicación con el Software SLOPE/W

El programa SLOPE/W utiliza el método de equilibrio límite para calcular el factor de seguridad de taludes de tierra y roca. El programa opera en ambiente Microsoft Windows.

El programa tiene la capacidad de modelar tipos heterogéneos de suelo, estratigrafía y geometría de superficie de fallas complejas y condiciones variables de la presión de poros utilizando una gran selección de modelos de suelo. Los análisis pueden realizarse con parámetros determinísticos o probabilísticos.

Adicionalmente, se pueden utilizar los esfuerzos calculados mediante un análisis de elementos finitos en el cálculo de equilibrio límite para los análisis más completos de estabilidad de taludes disponibles. La combinación de estas características del programa le permiten ser utilizados en cualquier problema de estabilidad de taludes.

Este programa fue utilizado principalmente con el método de Bishop en falla circular, tanto en condiciones estáticas como pseudo-estáticas para el análisis restrospectivo (back análisis), los taludes existentes antes del sismo y los taludes con las medidas de estabilización propuestas.

5.4 EVACUADOR DE CRECIDAS O VERTEDERO

Estas obras están destinadas a captar los caudales de crecida que llegan al embalse y conducirlas hasta un cauce en forma segura.

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. Por lo que cada sitio tiene un análisis propio.

Estas obras se verificaron para evacuar el caudal de diseño, asociados al evento de período de retorno compatible con la magnitud del embalse, es decir, si se tata de obras pequeñas, medianas o mayores.

Se analizaron varios tipos de vertederos: entre los cuales se tiene a vertederos de tipo Lateral y Frontal, Morning Glory, canales en tierra y revestidos, tuberías, etc.

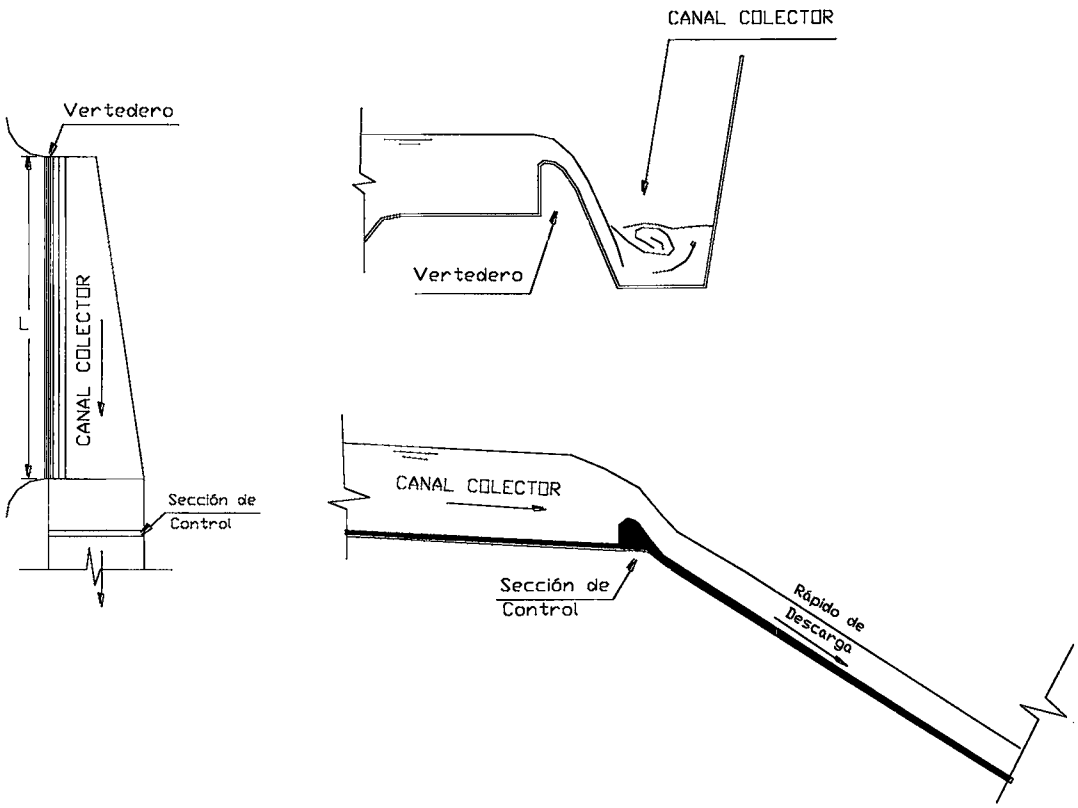
A continuación se indican los procedimientos de cálculo para los más importantes.

Entre los vertederos laterales y frontales, se aprecia que la diferencia principal radica en que el primero descarga en un canal colector, cuyo flujo es espacialmente variado y que al final posee un vertedero de pequeña magnitud para controlar el flujo y asegurar régimen subcrítico hacia aguas arriba, en tanto el segundo descarga directamente al rápido de descarga.

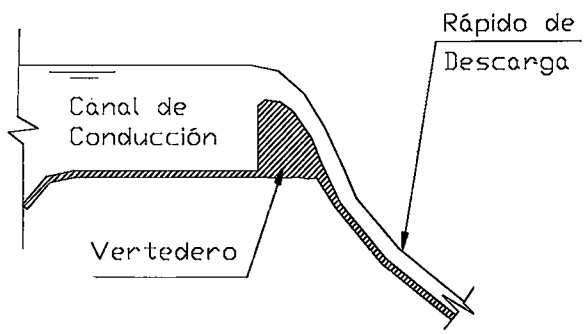
En la eventualidad de requerirse un canal colector al pie del vertedero frontal (para conducir las aguas hasta una quebrada, por ejemplo), éste tendrá flujo constante. Por lo que las expresiones que la rigen son distintas al canal colector del vertedero lateral.

En ambos casos sin embargo, se debe verificar que el nivel de agua del canal colector no influya sobre el vertedero.

FIGURA 5.4-1
ESQUEMA GENERAL DEL VERTEDERO LATERAL

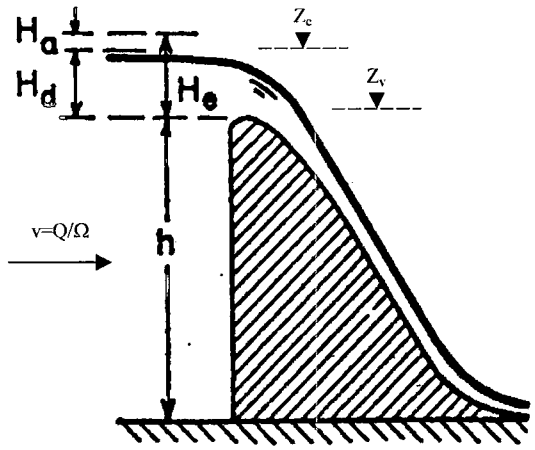


ESQUEMA GENERAL DEL VERTEDERO FRONTAL



En la siguiente figura se indican las variables relacionadas con el flujo sobre un vertedero tipo y la ecuación de gasto que relaciona el caudal y altura sobre su cresta.

FIGURA 5.4-2
FLUJO SOBRE VERTEDERO



Donde:

Q	Caudal de entrada o verter (m^3/s)
He	Altura de energía sobre umbral del vertedero (m)
Hd	Altura de agua sobre umbral del vertedero (m)
h	Altura del vertedero (m)
Ha	Altura de velocidad de acercamiento (m)
v	Velocidad aguas arriba del vertedero o de acercamiento (m/s)
Ω	Área mojada o sección de escurrimiento (m^2)
L	Longitud del vertedero (m)
C	Coeficiente de gasto ($m^{0,5}/s$)
m	Coeficiente de gasto adimensional
Z_e	Cota de la superficie libre (msnm)
Z_v	Cota de Coronamiento del Umbral del Vertedero (msnm)

Donde las relaciones empíricas y teóricas son las siguientes:

$$Q = C \cdot L \cdot He^{\frac{3}{2}} \quad \text{(Ecuación de Gasto)} \tag{1}$$

$$C = m \cdot \sqrt{2 \cdot g} = 4{,}427 \cdot m \tag{2}$$

$$Ha = \frac{v^2}{2 \cdot g} = He - Hd \tag{3}$$

$$v = \frac{Q}{\Omega} \tag{4}$$

$$\Omega = (Hd + h)L \quad \text{(Sección rectangular)} \tag{5}$$

De las ecuaciones anteriores, se obtiene:

$$He - Hd = \frac{He^3 \cdot C^2}{2 \cdot g \cdot (Hd + h)^2} \quad (6)$$

Se desarrolla finalmente para obtener el siguiente polinomio de la variable Hd:

$$Hd^3 + Hd^2 \cdot (2 \cdot h - He) + Hd \cdot (h^2 - 2 \cdot h \cdot He) + \frac{He^3 \cdot C^2}{2 \cdot g} - He \cdot h^2 = 0 \quad (7)$$

A partir de las ecuaciones (1) y (7) se realizan iteraciones para determinar la altura de agua sobre el umbral (Hd), para lo cual se utiliza el ábaco del Gráfico 1.

Se considera un ancho (L) y altura de vertedero (h) preliminar. Estos se verifican con los resultados del proceso, tal que la altura de agua sobre el umbral y la velocidad de acercamiento no sean excesivas. Esto depende de la ubicación y forma del vertedero, la cercanía a la presa y el tipo de presa.

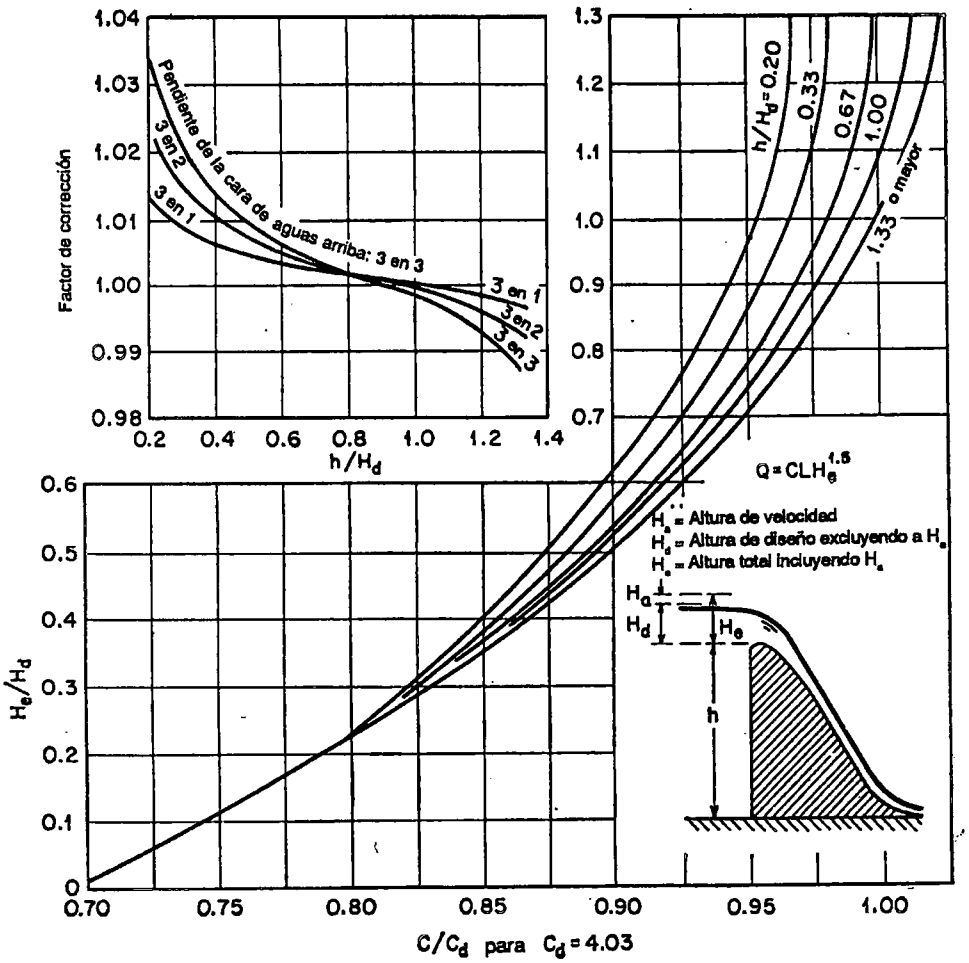
Para iniciar la iteración con la cual se determina el valor del coeficiente de gasto (C o m), se considera un valor de inicio m=0,45 (C=1,992). Con ello se resuelve la ecuación (1), entregando el valor de la altura de energía sobre el umbral (He) y posteriormente la altura de agua sobre el umbral (Hd) a partir de la ecuación (7).

Se determinan los valores de las relaciones He/Hd y h/Hd, con los que se introduce al Gráfico 1, y se determina el valor de C'/Cd', con Cd'=4,03. C' corresponde al coeficiente de gasto dimensional en pie^{0,5}/s. La conversión a unidades SI, es la siguiente: $C = 0{,}5521 \cdot C'$.

Con el nuevo valor de C, se vuelven a determinar las alturas He y Hd, además de las respectivas relaciones para el Gráfico 1. Este proceso se repite hasta encontrar el valor del coeficiente de gasto asociado al caudal de diseño (Q).

A partir de los caudales asociados a períodos de retorno 10 a 500 años, se genera la Curva de Descarga del vertedero, para lo cual se utiliza el procedimiento antes descrito. Se determina para cada caudal, el coeficiente de gasto y altura de agua correspondiente.

GRÁFICO 1
RELACIÓN ALTURA-CAUDAL PARA LAS FORMAS ESTÁNDAR DE VERTEDEROS



- ***Para vertedero de pared delgada***

$$Q = m \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

l = longitud del vertedero, a la 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

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

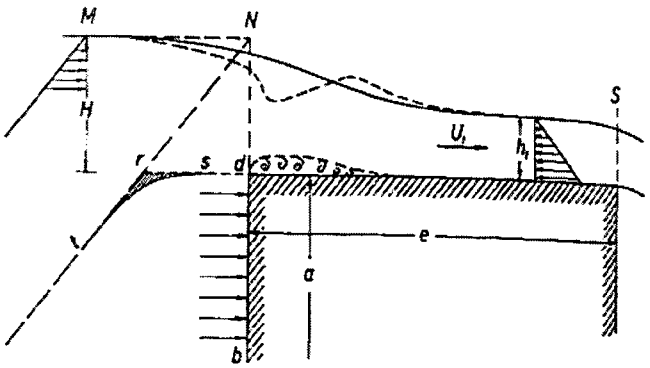
a = altura de la barrera

- ***Para vertedero de pared gruesa***

$$Q = m \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

l = longitud del vertedero, a la 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

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



n = espesor relativo de la barrera $n = 1,5 \cdot \frac{e}{h}$

a = altura de la barrera

	I Barreras en entrada redondeada							
$\frac{h}{a+h}$	Espesores relativos de umbral n =							
	3,5	5	6	7	8	9	10	13,5
0,00	0,379	0,377	0,376	0,375	0,373	0,371	0,370	0,366
0,05	0,379	0,377	0,376	0,375	0,373	0,371	0,370	0,366
0,10	0,379	0,378	0,377	0,376	0,374	0,372	0,371	0,367
0,20	0,385	0,381	0,380	0,379	0,377	0,375	0,374	0,370
0,30	0,388	0,386	0,385	0,383	0,382	0,380	0,379	0,375
0,40	0,395	0,393	0,392	0,390	0,388	0,387	0,385	0,381
0,50	0,404	0,402	0,400	0,399	0,397	0,395	0,394	0,390
0,60	0,415	0,412	0,411	0,410	0,408	0,406	0,405	0,400
0,70	0,428	0,425	0,423	0,422	0,420	0,418	0,417	0,412
0,80	0,443	0,440	0,439	0,437	0,435	0,433	0,431	0,426
0,90	0,459	0,457	0,455	0,454	0,451	0,449	0,448	0,443
1,00	0,478	0,476	0,474	0,472	0,470	0,468	0,466	0,460

CAPÍTULO 6

SISMICIDAD

6. SISMICIDAD

6.1 SISMICIDAD EN LA ZONA DE CHILE CENTRAL

En Chile, los grandes terremotos son ocasionados por la liberación abrupta y repentina de la energía de deformación acumulada lentamente a causa del continuo desplazamiento de la placa de Nazca respecto a la placa Sudamericana con una velocidad media de 9 cm/año.

La zona de Chile Central se encuentra constantemente afectada por sismos originados principalmente en tres zonas sismogénicas.

a) Zona de acoplamiento de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, entre la fosa y la costa, donde se producen sismos tipo falla inversa de bajo ángulo (thrust).
b) Zona ubicada bajo el valle central a más de 50 km de profundidad, donde se generan sismos por el fracturamiento o ruptura de callamiento extensional en el interior de la placa que subducta.
c) Zona cordillerana, al interior de la placa Sudamericana, donde se producen sismos superficiales (<20 km), asociados a la compresión que da origen a la deformación de la Cordillera de Los Andes.

Tanto por el alto número de eventos como por las magnitudes que alcanza, la zona de la costa es considerada la zona simogénica que se traduce en mayor peligro sísmico. Los registros históricos señalan que la zona central del país ha sido afectada por una serie de terremotos destructivos durante los últimos siglos con epicentros costa afuera frente a Valparaíso-Algarrobo: 1575, 1647, 1730, 1822, 1906 y 1985 (Comte et al., 1986; Barrientos y Kausel, 1993). Esta secuencia presenta una recurrencia extremadamente regular con retornos medios de 82 ± 6 años. Con la excepción del terremoto de 1730, los tsunamis o maremotos que los acompañaron fueron relativamente pequeños.

En el cuadro siguiente se presentan sismos importantes y/o destructivos (1570 - Mayo 2005) con una magnitud Ms mayor o igual a 7,0. En la última columna del cuadro se han identificado aquellos de las regiones Metropolitana, VI y VII Región.

Se puede observar que en la VI Región han ocurrido 2 sismos importantes mayores de 8 grados de magnitud, el último de los cuales ocurrió en el año 1985.

CUADRO 6.1-1
SISMOS IMPORTANTES Y/O DESTRUCTIVOS (1570 - Mayo 2005)
(Magnitud Ms mayor o igual a 7,0)

Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Ms	Prof (km)	Mw	Efec. Sec.	REGIÓN
08-02-1570	09:00	-36,800	-73,000	8,3	-	-	TD	
17-03-1575	10:00	-33,400	-70,600	7,3	-	-	-	RM
16-12-1575	14:30	-39,800	-73,200	8,5	-	-	TD	
24-11-1604	12:30	-18,500	-70,400	8,5	30	-	TD	
16-09-1615	23:30	-18,500	-70,350	8,8	-	-	TM	
13-05-1647	22:30	-35,000	-72,000	8,5	-	-	-	VII
15-03-1657	19:30	-36,830	-73,030	8,0	-	-	TD	
10-03-1681	-	-18,500	-70,350	7,3	-	-	-	
12-07-1687	02:00	-32,750	-70,730	7,3	-	-	-	
08-07-1730	04:45	-33,050	-71,630	8,7	-	-	TD	RM
24-12-1737	-	-39,800	-73,200	7,7	-	-	T	

CUADRO 6.1-1
SISMOS IMPORTANTES Y/O DESTRUCTIVOS (1570 - Mayo 2005)
(Magnitud Ms mayor o igual a 7,0)

Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Ms	Prof (km)	Mw	Efec. Sec.	REGIÓN
25-05-1751	01:00	-36,830	-73,030	8,5	-	-	TM	
30-03-1796	06:45	-27,350	-70,350	7,7	-	-	-	
11-04-1819	10:00	-27,350	-70,350	8,3	-	-	TD	
19-11-1822	22:30	-33,050	-71,630	8,5	-	-	TM	RM
26-09-1829	14:00	-33,050	-71,630	7,0	-	-	-	RM
08-10-1831	06:00	-18,500	-71,000	7,8	-	-	-	
18-09-1833	05:45	-18,500	-70,400	7,7	60,000	-	-	
20-02-1835	11:30	-36,830	-73,030	8,5	-	-	TD	VII
07-11-1837	08:00	-39,800	-73,200	8,0	-	-	TM	
08-10-1847	11:30	-31,610	-71,180	7,3	-	-	-	
17-12-1849	06:00	-29,950	-71,370	7,5	-	-	TM	
06-12-1850	06:52	-33,810	-70,220	7,3	-	-	-	RM
02-04-1851	06:48	-33,320	-71,420	7,1	-	-	-	RM
05-10-1859	08:00	-27,350	-70,350	7,6	-	-	TM	
13-08-1868	16:45	-18,500	-70,350	8,5	-	-	TD	
24-08-1869	13:30	-19,600	-70,230	7,5	-	-	TM	
05-10-1871	05:00	-20,200	-70,170	7,3	-	-	T	
09-05-1877	21:16	-19,600	-70,230	8,5	-	-	TD	
23-01-1878	08:00	-20,000	-70	7,9	40	-	-	
02-02-1879	06:30	-53,000	-70,670	7,3	-	-	-	
15-08-1880	08:48	-31,620	-71,180	7,7	-	-	-	
16-08-1906	19:48	-33,000	-72,000	7,9	25	8.2	TM	RM
08-06-1909	01:00	-26,500	-70,500	7,6	-	-	-	
04-10-1910	19:00	-22,000	-69,000	7,3	-	-	-	
15-09-1911	08:10	-20,000	-72,000	7,3	-	-	-	
29-01-1914	23:30	-35,000	-73,000	8,2	-	-	-	VI
14-02-1917	20:48	-30,000	-73,000	7,0	-	-	-	
20-05-1918	12:57	-28,500	-71,500	7,9	-	-	-	
04-12-1918	07:47	-26,000	-71,000	8,2	60	-	TM	
01-03-1919	23:37	-41,000	-73,500	7,2	40	-	-	
02-03-1919	07:45	-41,000	-73,500	7,3	40	-	-	
10-12-1920	00:25	-39,000	-73,000	7,4	-	-	-	
07-11-1922	19:00	-28,000	-72,000	7,0	-	-	-	
10-11-1922	23:53	-28,500	-70,000	8,39	25	8.5	TM	
04-05-1923	17:47	-28,750	-71,750	7,0	60	-	-	
15-05-1925	07:18	-26,000	-71,500	7,1	50	-	-	
28-04-1926	07:13	-24,000	-69,000	7,0	180	-	-	
21-11-1927	19:17	-44,500	-73,000	7,1	-	-	TM	
20-11-1928	16:35	-22,500	-70,500	7,1	25	-	-	
01-12-1928	00:06	-35,000	-72,000	8,3	-	-	T	VI
19-10-1929	16:18	-23,000	-69,000	7,5	100	-	-	
18-03-1931	04:02	-32,500	-72,000	7,1	-	-	-	
23-02-1933	04:09	-20,000	-71,000	7,6	40	-	-	
01-03-1936	17:45	-40,000	-72,500	7,1	120	-	-	
13-07-1936	07:12	-24,500	-70,000	7,3	60	-	-	
25-01-1939	23:32	-36,200	-72,200	8,3	60	-	-	VII
18-04-1939	02:22	-27,000	-70,500	7,4	100	-	-	
11-10-1940	14:41	-41,500	-74,500	7,0	-	-	-	
08-07-1942	01:55	-24,000	-70,000	7,0	140	-	-	
14-03-1943	14:37	-20,000	-69,500	7,2	150	-	-	
06-04-1943	12:07	-30,750	-72,000	8,3	55	8.2	T	
01-12-1943	06:34	-21,000	-69,000	7,0	100	-	-	
13-07-1945	07:17	-33,250	-70,500	7,1	100	-	-	RM
02-08-1946	15:19	-26,500	-70,500	7,9	50	-	-	
19-04-1946	23:29	-38,000	-73,500	7,3	70	-	-	
25-04-1949	09:54	-19,750	-69,000	7,3	110	-	-	
29-05-1949	21:32	-22,000	-69,000	7,0	100	-	-	
17-12-1949	02:53	-54,000	-71,000	7,8	-	-	-	
17-12-1949	11:07	-54,000	-71,000	7,8	-	-	-	

CUADRO 6.1-1
SISMOS IMPORTANTES Y/O DESTRUCTIVOS (1570 - Mayo 2005)
(Magnitud Ms mayor o igual a 7,0)

Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Ms	Prof (km)	Mw	Efec. Sec.	REGIÓN
29-01-1950	20:56	-53,500	-71,500	7,0	-	-	-	
09-12-1950	17:38	-23,500	-67,500	8,3	100	-	-	
06-05-1953	13:16	-36,500	-72,600	7,6	60	-	-	
06-12-1953	22:05	-22,100	-68,700	7,4	128	-	-	
08-02-1954	-	-29,000	-71	7,7	-	-	-	
19-04-1955	16:24	-30,000	-72,000	7,1	-	-	T	
08-01-1956	16:54	-19,000	-70,000	7,1	11	-	-	
17-12-1956	22:31	-25,500	-68,500	7,0	-	-	-	
29-07-1957	13:15	-23,500	-71,500	7,0	-	-	-	
13-06-1959	20:12	-20,420	-69,000	7,5	83	-	-	
21-05-1960	06:02	-37,500	-73,500	7,3	-	-	-	
22-05-1960	06:32	-37,500	-73,000	7,3	-	-	-	
22-05-1960	15:11	-39,500	-74,500	8,5	-	9.5	TD	
19-06-1960	22:01	-38,000	-73,500	7,3	-	-	-	
01-11-1960	04:45	-38,500	-75,100	7,4	55	-	-	
13-07-1961	17:19	-41,700	-75,200	7,0	40	-	-	
14-02-1962	02:36	-37,800	-72,500	7,3	45	-	-	
03-08-1962	04:56	-23,300	-68,100	7,1	107	-	-	
23-02-1965	18:11	-25,670	-70,630	7,0	36	-	-	
28-03-1965	12:33	-32,418	-71,100	7,4	68	-	-	
28-12-1966	04:18	-25,510	-70,740	7,8	23	-	-	
13-03-1967	12:06	-40,120	-74,680	7,3	33	-	-	
21-12-1967	22:25	-21,800	-70,00	7,5	33	-	-	
17-06-1971	17:00	-25,402	-69,058	7,0	76	-	-	
08-07-1971	23:03	-32,511	-71,207	7,5	40	-	TM	
18-08-1974	06:44	-38,453	-73,431	7,1	36	-	-	
10-05-1975	10:27	-38,183	-73,232	7,7	6	-	-	
29-11-1976	21:40	-20,520	-68,919	7,3	82	-	-	
03-08-1979	14:11	-26,518	-70,664	7,0	49	-	-	
16-10-1981	00:25	-33,134	-73,074	7,5	33	-	-	RM
04-10-1983	14:52	-26,535	-70,563	7,3	14	-	-	
03-03-1985	19:46	-33,240	-71,850	7,8	33	8.0	T	RM
08-04-1985	21:56	-34,131	-71,618	7,5	37	-	-	VI
05-03-1987	06:17	-24,388	-70,161	7,3	62	-	T	
08-08-1987	11:48	-19,000	-70,000	7,1	42	-	-	
30-07-1995	01:11	-23,360	-70,310	7,3	47	8.0	T	
13-06-2005	18:44	-19,895	-69,125	7,8	108	7.8		

6.2 COEFICIENTES SÍSMICOS ADOPTADOS

Para efectos de la simulación pseudo-estática y post sismo, se asumirá lo dispuesto en la zonificación sísmica de la NCh 433 Of. 96, para los emplazamientos de los embalses.

El valor que se adoptó para la aceleración efectiva, será de 0,4g. Para los valores del coeficiente sísmico Kh, se adoptó el criterio de Saragoni, donde se incluyen las características de sismos en nuestro país. Así:

$$Kh = \frac{0{,}3 \cdot a_{max}}{g}, \text{ para } a_{max} \leq 6{,}6 \text{ m/s}^2 \qquad (1)$$

$$Kh = 0{,}22 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right)^{0{,}33}$$, para $a_{max} > 6{,}6$ m/s^2 (2)

El camino más simple para incluir los efectos del sismo es considerar que las fuerzas inducidas por éste son incorporadas como fuerzas horizontales en el análisis. La magnitud de la fuerza horizontal Fh es tomada igual al peso de la masa que desliza, multiplicada por un coeficiente *kh* que "representa" al sismo, transformándolo en un problema seudoestático. Aunque en la realidad el sismo impone fuerzas horizontales y verticales, diversos autores recomiendan no incluir estas últimas en el análisis.

Habitualmente, el criterio más común es adoptar un coeficiente sísmico vertical, k_V nulo puesto que en la práctica, éste tiene una escasa influencia sobre los factores de seguridad calculados. Esto se ve reflejado en los estudios efectuados por Saragoni (1993). "Análisis del Riesgo Sísmico para la Reconstrucción del Puerto de Valparaíso". Sextas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Sísmica, Vol. 2. Santiago, Chile.

El coeficiente sísmico *kh*, es un valor empírico que depende entre otros factores, de la aceleración horizontal máxima de campo libre, las características del sismo (magnitud, profundidad, contenido de frecuencias, etc.), dimensiones de la obra (volumen potencial masa deslizante y condiciones de borde), existencia de poblados, instalaciones y equipos que puedan verse afectados.

En consideración que el valor de Ao (aceleración efectiva) entregado por la NCh 433 Of. 96 es de 0,4 g, para la zonificaciones III, se realizaron los cálculos en base a un estimado máximo, de 0,5 g.

$K_h = 0{,}3 * 0{,}5$ g

$K_h = 0{,}15$ m/s^2

El valor de coeficiente sísmico, $K_h = 0{,}15$ m/s^2 corresponde y cumple con el Primer criterio, a decir, $a_{max} \leq 6{,}6$ m/s^2.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, en el cuadro siguiente se incluye los parámetros sísmicos utilizados para cada uno de los embales del estudio.

CUADRO 6.2-1
PARÁMETROS SÍSMICOS

NOMBRE EMBALSE	COMUNA	COORDENADAS UTM		ZONA SISMICA	ACELERACION EFECTIVA (Ao)	ACELERACION Max. Estim. (Ao)	K_h m/s^2
		NORTE	ESTE				
Los Sapos	Machali	6.230.229	367.337	2	0,3g	0,3g	0,10
Los Maquis	Malloa	6.182.844	331.555	2	0,3g	0,3g	0,10
Pilaicito	Mostazal	6.244.890	349.185	2	0,3g	0,3g	0,10
Romeral	Mostazal	6.243.049	347.347	2	0,3g	0,3g	0,10
Picarquín	Mostazal	6.238.987	350.614	2	0,3g	0,3g	0,10
Esmeralda	Quinta de Tilcoco	6.198.838	325.306	2	0,3g	0,3g	0,10

NOMBRE EMBALSE	COMUNA	COORDENADAS UTM		ZONA SISMICA	ACELERACION EFECTIVA (Ao)	ACELERACION Max. Estim. (Ao)	K_h m/s^2
		NORTE	ESTE				
Chancón	Rancagua	6.226.085	330.426	2	0,3g	0,3g	0,10
San Isidro	Requinoa	6.199.203	341.608	2	0,3g	0,3g	0,10
Millahue	San Vicente	6.175.352	295.370	2	0,3g	0,3g	0,10
San Hernán (San José De Las Pataguas)	San Vicente	6.176.741	301.185	2	0,3g	0,3g	0,10
Idahue	Sn Vicente	6.182.993	298.002	2	0,3g	0,3g	0,10
San Vicente	Litueche	6.224.151	246.263	3	0,4g	0,3g	0,12
Cocauquen o Pailimo 1	Marchigüe	6.202.442	241.686	3	0,4g	0,3g	0,12
Piedras Blancas o Pailimo 2	Marchigüe	6.202.292	245.859	3	0,4g	0,3g	0,12
La Rosa	Marchigüe	6.196.899	246.563	3	0,4g	0,3g	0,12
Alcones (El Sauce)	Marchigüe	6.191.839	246.460	3	0,4g	0,3g	0,12
Mallermo	Marchigüe	6.197.160	251.383	3	0,4g	0,3g	0,12
Aguadilla	Marchigüe	6.196.467	255.791	3	0,4g	0,3g	0,12
Los Maitenes	Marchigüe	6.196.928	263.510	3	0,4g	0,3g	0,12
San Guillermo (Santa Marta)	Marchigüe	6.194.250	259.764	3	0,4g	0,3g	0,12
Porotal	Marchigüe	6.192.137	252.772	3	0,4g	0,3g	0,12
Yerbas Buenas (Santa Julia)	Marchigüe	6.188.470	254.996	3	0,4g	0,3g	0,12
Carrizal	Marchigüe	6.183.922	247.530	3	0,4g	0,3g	0,12
Pihuchén	Marchigüe	6.183.235	259.332	3	0,4g	0,3g	0,12
La Esperanza	Marchigüe	6.200.007	266.241	3	0,4g	0,3g	0,12
Tierruca	Marchigüe	6.199.172	266.942	3	0,4g	0,3g	0,12
Guido Soto	Marchigüe	6.182.397	257.311	3	0,4g	0,3g	0,12
Los Novios	Pichilemu	6.210.881	229.965	3	0,4g	0,3g	0,12
Alto Colorado	Pichilemu	6.198.892	235.339	3	0,4g	0,3g	0,12
Pañilonco	Pichilemu	6.203.769	231.006	3	0,4g	0,3g	0,12
Rinconada (La Macarena)	Chimbarongo	6.161.018	323.696	2	0,3g	0,3g	0,10
Santa Isabel	Chimbarongo	6.158.082	320.599	2	0,3g	0,3g	0,10
Convento Viejo I	Chimbarongo	6.151.323	305.494	2	0,3g	0,3g	0,10
Lolol	Lolol	6.151.651	268.929	3	0,4g	0,3g	0,12
Culenco	Lolol	6.146.761	253.163	3	0,4g	0,3g	0,12
Pataguilla	Lolol	6.141.301	257.202	3	0,4g	0,3g	0,12
Los Negros	Lolol	6.137.604	252.592	3	0,4g	0,3g	0,12
El Guaico	Palmilla	6.171.836	287.841	3	0,4g	0,3g	0,12
El Huique	Palmilla	6.172.368	288.543	3	0,4g	0,3g	0,12
Santa Lucia (Santa Margarita)	Peralillo	6.187.356	266.233	3	0,4g	0,3g	0,12
Jaime Ramírez	Peralillo	6.173.801	265.684	3	0,4g	0,3g	0,12
La Troya	Peralillo	6.183.149	272.515	3	0,4g	0,3g	0,12
Nilahue	Pumanque	6.170.076	250.295	3	0,4g	0,3g	0,12
El Cardonal	Pumanque	6.165.269	247.709	3	0,4g	0,3g	0,12
Lagunillas	Pumanque	6.168.28.l4	257.536	3	0,4g	0,3g	0,12
La Gloria (La cruz)	Pumanque	6.167.985	256.132	3	0,4g	0,3g	0,12

NOMBRE EMBALSE	COMUNA	COORDENADAS UTM		ZONA SISMICA	ACELERACION EFECTIVA (Ao)	ACELERACION Max. Estim. (Ao)	K_h m/s^2
		NORTE	ESTE				
Quesería	Pumanque	6.185.224	244.283	3	0,4g	0,3g	0,12
Salto De Agua	Santa Cruz	6.169.067	275.273	3	0,4g	0,3g	0,12
Callihue	Santa Cruz	6.163.630	273.174	3	0,4g	0,3g	0,12
Patagua Cerro Guirabo	Santa Cruz	6.157.462	283.298	3	0,4g	0,3g	0,12

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE RIESGOS DE LOS EMBALSES

7. ANÁLISIS DE RIESGOS DE LOS EMBALSES

7.1 BASE METODOLÓGICA HAZOP

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:

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

En que:

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.

7.2 ADAPTACIÓN DEL MÉTODO AL ANÁLISIS DE EMBALSES

La metodología que se indica a continuación fue desarrollada en el "Estudio de Catastro e Inspección Preliminar de Embalses, Quinta Región", desarrollado por R.E.G. Ingenieros Consultores Ltda. en el año 1994 para la Dirección general de Aguas.

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, por lo tanto, las obras fueron analizadas desde el punto de vista de su vulnerabilidad.

7.2.1 Eventos Desencadenantes

Los ***eventos desencadenantes*** para una posible falla de los embales 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.
- Sismos cordilleranos de gran magnitud y baja frecuencia, y de mediana magnitud y alta frecuencia de ocurrencia.
- Crecidas pluviales para periodos de retorno de 10, 100 y 10.000 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, cuatro 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 en relación al tranque.

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.

7.2.2 Análisis de la Vulnerabilidad

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

Con el fin 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 al criterio de selección y por lo tanto, su probabilidad de ocurrencia.

Para el análisis de vulnerabilidad en tanto, se han establecido dos criterios de evaluación, que corresponden a los casos de falla sísmica o por falta de capacidad de evacuación.

7.2.2.1 Eventos Sísmicos

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. En concordancia a lo expuesto, se propuso el criterio que se incluye en el cuadro siguiente.

CUADRO 7.2-1
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

(*) Para la consideración de nivel de aguas máximas, se tomó la capacidad máxima efectiva dada por el nivel de las obras de evacuación actualmente en servicio.

7.2.2.2 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 cobre 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 producirla 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 rápido y 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.

Conforme a lo expuesto, se propuso un esquema de cálculo de la probabilidad de falla de la presa para este evento, basados en una obra de evacuación ideal, bien calculada y estructurada, y con un canal o rápido de descarga adecuado.

CUADRO 7.2-2
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 proponen coeficientes de minoración, según se indica en el cuadro siguiente.

CUADRO 7.2-3
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

7.2.2.3 Evento de Piping

Se determinará 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. Luego se ha propuesto el siguiente criterio.

CUADRO 7.2-4
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 7.2-5. En este caso, se tiene que la probabilidad de ocurrencia del fenómeno disminuye con el paso del tiempo.

CUADRO 7.2-5
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

Debe hacerse notar que el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos no se considerará como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque 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 45° y menor de 45°, 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

7.2.3 Efectos

7.2.3.1 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.

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

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.

7.2.3.2 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 especifico 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.

Como criterio general se estima el caudal de vaciamiento y del ancho de la zona inundada, en base a recomendaciones generales de la literatura, según lo indicado en el numeral precedente. Se estimará también, el caudal centenario del cauce en estudio, asumiendo que corresponde a máxima capacidad aceptada por éste sin daños importantes. Para estimar la probabilidad de daño especifico se hará un análisis particular de cada cauce, de acuerdo a planos del IGM a escala 1:50.000, complementado con la información de terreno.

La presente proposición de riesgos asociados se basa en los criterios señalados, otorgando probabilidades de daño conforme a las siguientes pautas.

- ***Según la Cercanía a la Faja probable de Inundación,***

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.***

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 1 y el Factor 2.

Es importante conocer en cada caso una estimación del caudal centenario de modo de analizar el monto da la crecida por vaciamiento en comparación a esta capacidad.

El análisis debe hacerse en forma independiente para los asentamientos de personas, infraestructura agrícola u otra obra.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

Del catastro efectuado se concluye que es posible clasificar los embalses estudiados en 4 grandes grupos:

- **16 Embalses (incluye muros analizados por separado) en uso y en buen estado:**

N°	NOMBRE EMBALSE
1	Los Sapos (Todos los Muros)
3	Pilaicito
7	Chancón
22	Yerbas Buenas (Santa Julia) (sólo Muro 2)
25	La Esperanza
33	Convento Viejo I
34	Lolol
35	Culenco
37	Los Negros
38	El Guaico
39	El Huique
40	Santa Margarita (Santa Lucía)
44	El Cardonal
49	Callihue

- **38 Embalses (incluye muros analizados por separado) en uso y en regular estado:**

N°	NOMBRE EMBALSE
2	Los Maquis
4	Romeral (ambos muros)
8	San Isidro
10	San José de Las Pataguas
12	San Vicente
13	Cocauquén o Pailimo 1
14	Piedras Blancas o Pailimo 2 (ambos muros)
15	La Rosa
16	Alcones
17	Mallermo
18	Aguadilla
21	Porotal

N°	NOMBRE EMBALSE
22	Yerbas Buena (Santa Julia) (Muro 1)
23	Carrizal
24	Pihuchén
26	Tierruca
27	Guido Soto (todos los muros)
28	Los Novios
29	Alto Colorado
30	Pañilonco
31	Rinconada (La Macarena)
32	Santa Isabel
36	Pataguilla
41	Jaime Ramírez
43	Nilahue
45	Lagunilla
46	La Gloria (La Cruz)
47	Quesería
48	Salto De Agua (todos los muros)
50	Patagua Cerro Guirabo (todos los muros)

- **8 Embalses (incluye muros analizados por separado) en uso y en mal estado:**

N°	NOMBRE EMBALSE
5	Picarquín
6	Esmeralda
9	Millahue
11	Idahue (todos los muros)
19	Los Maitenes (muro 2)
20	San Guillermo
42	La Troya

- **3 Embalses (incluye muros analizados por separado) fuera de uso y en mal estado:**

N°	NOMBRE EMBALSE
19	Los Maitenes

Respecto a la situación de riesgo, se tiene que:

- **29 Embalses (o muros) con Riesgo Sísmico**

N°	NOMBRE EMBALSE
1	Los Sapos (muros 1 y 3)
2	Los Maquis
3	Pilaicito
5	Picarquín
9	Millahue
10	San José de Las Pataguas
11	Idahue (todos los muros)
13	Cocauquén o Pailimo 1
14	Piedras Blancas o Pailimo 2 (todos los muros)
16	Alcones
18	Aguadilla
19	Los Maitenes (muro 2)
20	San Guillermo
24	Pihuchén
25	La Esperanza
26	Tierruca
29	Alto Colorado
31	Rinconada (La Macarena)
34	Lolol
36	Pataguilla
37	Los Negros
40	Santa Margarita (Santa Lucía)
41	Jaime Ramírez
45	Lagunilla
47	Quesería

- **36 Embalses (o muros) con Riesgo por Escorrentía**

N°	NOMBRE EMBALSE
1	Los Sapos (muro 2)
4	Romeral (ambos muros)
6	Esmeralda

N°	NOMBRE EMBALSE
7	Chancón
8	San Isidro
12	San Vicente
15	La Rosa
17	Mallermo
19	Los Maitenes (muros 1 y 3)
21	Porotal
22	Yerbas Buenas (Santa Julia) (ambos muros)
23	Carrizal
27	Guido Soto (todos los muros)
28	Los Novios
30	Pañilonco
32	Santa Isabel
33	Convento Viejo
35	Culenco
38	El Guaico
39	El Huique
42	La Troya
43	Nilahue
44	El Cardonal
46	La Gloria (La Cruz)
48	Salto De Agua (todos los muros)
49	Callihue
50	Patagua Cerro Guirabo (todos los muros)

Un resumen de los principales análisis del diagnóstico efectuado se incluye en el Cuadro 8-1.

CUADRO N 8-1
RESUMEN DIAGNÓSTICO EMBALSES

Nº	NOMBRE EMBALSE	AÑO CONSTRUCCIÓN	USO	ESTABILIDAD								Q VERTEDERO	FILTRACIONES			ESTADO EMBALSES	RIESGO (HAZOP)	
				CON AGUA ESTÁTICOS		CON AGUA SÍSMICOS		SECO ESTÁTICOS		SECO SÍSMICOS			VALOR L (m)	CUMPLE CONDICIÓN CRITERIO DE LANE				
				IZQUIERDA	DERECHA	IZQUIERDA	DERECHA	IZQUIERDA	DERECHA	IZQUIERDA	DERECHA	m^3/s		SI	NO		% ANUAL	Tipo
1	Los Sapos M1	1962	SI	1.855	1.08	0.984	0.647	1.717	1.26	1.167	0.928	3.02	39.37		X	BUENO	0.80	Sísmico
1	Los Sapos M2	1962	SI	2.406	1.399	1.301	1.03	2.252	1.67	1.536	1.67	3.02	12.82	X		BUENO	0.48	Por Escorrentía
1	Los Sapos M3	1962	SI	2.114	1.107	1.13	0.816	1.978	1.404	1.334	1.012	3.02	20.29	X		BUENO	0.80	Sísmico
2	Los Maquis	S/I	SI	1.861	1.101	1.178	0.82	1.489	1.489	1.146	1.147	1.56	11.31		X	REGULAR	0.80	Sísmico
3	Pilaicito	1940	SI	1.684	1.07	1.068	0.785	1.385	1.484	1.072	1.129	0.78	15.59		X	BUENO	0.10	Sísmico
4	Romeral M1	1940	SI	2.242	1.547	1.479	1.114	1.782	2.11	1.444	1.609	2.34	8.01		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
4	Romeral M2	1940	SI	2.447	1.32	1.447	1.025	2.109	1.639	1.576	1.36	2.34	7.8		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
5	Picarquín	S/I	SI	1.43	1.071	0.991	0.712	1.132	1.046	0.904	0.845	53.35	13.82		X	MALO	3.20	Sísmico
6	Esmeralda	1962	SI	2.338	1.433	1.473	1.51	2.033	2.015	1.537	1.525	4.74	7.33		X	MALO	0.48	Por Escorrentía
7	Chancón	1989	SI	3.225	2.284	2.01	1.69	3.012	3.013	2.169	2.169	11.48	6.14	X		BUENO	0.48	Por Escorrentía
8	San Isidro	1980	SI	4.252	3.528	2.569	2.625	4.112	4.2	3.049	3.037	4.42	3.84	X		REGULAR	0.48	Por Escorrentía
9	Millahue	1950	SI	1.999	1.222	1.209	0.946	1.642	1.433	1.234	1.125	75.70	11.45		X	MALO	0.80	Sísmico
10	San José de Las Pataguas	1958	SI	2.586	1.591	1.393	1.137	2.372	2.027	1.662	1.499	1.83	12.4	X		REGULAR	0.80	Sísmico
11	Idahue M1	1934	SI	1.856	1.218	1.209	0.964	1.565	1.366	1.187	1.087	23.25	7.9		X	MALO	0.80	Sísmico
11	Idahue M2	1934	SI	1.785	1.154	1.17	0.898	1.474	1.246	1.129	0.998	23.25	8.31		X	MALO	0.80	Sísmico
11	Idahue M3	1934	SI	1.73	1.136	1.18	0.903	1.394	1.259	1.1	1.012	23.25	6.9		X	MALO	0.80	Sísmico
12	San Vicente	1990	SI	2.072	1.455	1.349	1.064	1.71	1.852	1.353	1.356	23.58	9.77		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
13	Cocauquén o Pailimo 1	1910	SI	2.1	1.29	1.205	0.974	1.944	1.462	1.397	1.103	25.18	16.43		X	REGULAR	1.20	Sísmico
14	Piedras Blancas M1 o Pailimo 2	1910	SI	3.004	2.226	1.811	1.737	2.511	2.457	1.93	1.806	33.72	4.78		X	REGULAR	0.20	Sísmico
14	Piedras Blancas M2 o Pailimo 2	1910	SI	1.962	1.374	1.329	1.078	1.628	1.522	1.294	1.168	33.72	6.31		X	REGULAR	0.20	Sísmico
15	La Rosa	1970	SI	1.833	1.439	1.237	1.092	1.575	1.585	1.249	1.193	18.00	12.34		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
16	Alcones	1920	SI	2.021	1.219	1.141	0.9	1.827	1.427	1.32	1.065	32.95	36.12		X	REGULAR	0.80	Sísmico
17	Mallermo	1920	SI	1.835	1.409	1.233	1.064	1.575	1.565	1.247	1.185	3.90	9.62		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
18	Aguadilla	1960	SI	1.7	1.096	1.194	0.829	1.268	1.349	1.036	1.021	4.51	10.23		X	REGULAR	2.40	Sísmico
19	Los Maitenes M1	S/I	NO	2.735	2.456	1.813	1.983	2.673	2.582	2.045	1.866	0.80	3.71	X		BUENO	0.48	Por Escorrentía
19	Los Maitenes M2	S/I	NO	1.861	1.179	1.247	0.931	1.504	1.352	1.194	1.049	0.80	7.16		X	MALO	0.80	Sísmico
19	Los Maitenes M3	S/I	NO	2.8	2.519	1.861	2.112	2.715	2.663	2.22	1.913	0.80	2.82	X		BUENO	0.48	Por Escorrentía
20	San Guillermo	S/I	SI	2.316	1.577	1.526	1.217	1.81	1.789	1.451	1.349	22.30	5.14		X	MALO	0.20	Sísmico
21	Porotal	S/I	SI	4.508	2.825	2.233	2.144	3.129	2.986	2.324	2.142	4.90	3.64		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
22	Yerbas Buenas M1 (Santa Julia)	2001	SI	2.011	1.517	1.311	1.154	1.718	1.676	1.338	1.261	25.00	8.85		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
22	Yerbas Buenas M2 (Santa Julia)	2001	SI	3.364	2.956	2.143	2.158	3.312	3.029	2.357	2.133	25.00	4	X		BUENO	0.48	Por Escorrentía
23	Carrizal	S/I	SI	1.875	1.193	1.345	0.996	1.786	1.455	1.362	1.128	21.49	21.05		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
24	Pihuchén	1939	SI	2.563	1.416	1.682	1.072	1.899	1.899	1.519	1.43	4.20	5.2		X	REGULAR	2.40	Sísmico
25	La Esperanza	1986	SI	1.573	1.222	1.036	0.782	1.29	1.188	1.028	0.92	94.40	17.01		X	BUENO	1.20	Sísmico
26	Tierruca	1992	SI	2.083	1.739	1.379	1.294	1.854	1.977	1.461	1.441	41.94	8.43		X	REGULAR	2.40	Sísmico
27	Guido Soto M1	1980	SI	1.893	1.777	1.317	1.315	1.743	1.883	1.386	1.388	2.26	8.14		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
27	Guido Soto M2	1980	SI	2.037	1.855	1.451	1.302	1.683	2.181	1.404	1.561	2.26	11.07		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
27	Guido Soto M3	1980	SI	1.769	1.39	1.218	1.097	1.526	1.447	1.224	1.109	2.26	6.79		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
28	Los Novios	S/I	SI	2.296	1.963	1.502	1.477	2.043	1.997	1.595	1.498	0.60	7.68		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
29	Alto Colorado	1933	SI	1.276	1.045	0.874	0.824	1.012	1.024	0.81	0.794	2.96	15.1		X	REGULAR	3.60	Sísmico
30	Pañilonco	S/I	SI	1.996	1.459	1.395	1.215	1.653	1.585	1.342	1.22	13.40	5.47		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
31	Rinconada (La Macarena)	1910	SI	1.848	1.243	1.5	0.956	1.357	1.425	1.175	1.209	4.60	4.07		X	REGULAR	0.80	Sísmico
32	Santa Isabel	1991	SI	2.883	2.168	1.908	1.663	2.311	2.573	1.897	1.984	5.00	3.35		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
33	Convento Viejo I	2007	SI	2.509	1.581	1.478	1.17	2.319	1.592	1.547	1.163	810.00	58.22		X	BUENO	0.48	Por Escorrentía
34	Lolol	1932	SI	2.121	1.134	1.111	0.843	2.01	1.468	1.364	1.106	13.48	45.73		X	BUENO	0.80	Sísmico
35	Culenco	1955	SI	3.105	2.965	1.661	2.183	3.4	3.597	2.392	2.677	15.63	4.67	X		BUENO	0.48	Por Escorrentía
36	Pataguilla	S/I	SI	1.351	1.168	0.949	0.636	1.051	1.054	0.84	0.779	9.04	12.85		X	REGULAR	3.60	Sísmico
37	Los Negros	S/I	SI	1.941	1.147	1.212	0.855	1.572	1.462	1.219	1.159	1.95	11.29		X	BUENO	0.80	Sísmico
38	El Guaico	1988	SI	3.105	2.965	1.661	2.183	2.12	1.788	1.573	1.362	5.86	11.89		X	BUENO	0.48	Por Escorrentía
39	El Huique	1988	SI	2.464	1.358	1.506	1.003	1.95	1.734	1.438	1.303	5.86	15.08		X	BUENO	0.48	Por Escorrentía
40	Santa Margarita (Santa Lucía)	S/I	SI	2.035	1.931	1.764	1.535	1.96	2.02	1.616	1.535	2.16	5.07		X	BUENO	2.40	Sísmico
41	Jaime Ramírez	S/I	SI	1.776	1.008	1.131	0.803	1.382	1.181	1.097	0.96	22.50	14.81		X	REGULAR	0.80	Sísmico
42	La Troya	S/I	SI	2.456	1.623	1.522	1.116	2.045	2.226	1.551	1.637	5.47	8.47		X	MALO	0.48	Por Escorrentía
43	Nilahue	S/I	SI	2.089	1.406	1.277	1.084	1.843	1.729	1.393	1.335	28.77	13.5		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
44	El Cardonal	S/I	SI	2.103	1.268	1.311	0.934	1.672	1.7	1.291	1.304	16.40	10.39		X	BUENO	0.48	Por Escorrentía
45	Lagunilla	1985	SI	1.797	1.228	1.182	0.999	1.554	1.368	1.188	1.068	1.26	6.82		X	REGULAR	0.80	Sísmico
46	La Gloria (La Cruz)	1977	SI	3.057	1.687	1.609	1.346	2.364	1.95	1.751	1.575	0.41	8.38		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
47	Quesería	S/I	SI	1.674	1.042	1.117	0.797	1.304	1.275	1.045	0.979	19.50	11.53		X	REGULAR	1.20	Sísmico
48	Salto De Agua M1	1960	SI	2.127	1.807	1.541	1.462	1.883	1.851	1.521	1.503	5.00	3.15		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
48	Salto De Agua M2	1960	SI	2.125	1.892	1.582	1.499	1.92	1.994	1.552	1.585	5.00	2.88		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
48	Salto De Agua M3	1960	SI	2.522	2.594	1.801	1.975	2.522	2.621	1.991	2.022	5.00	2.87	X		REGULAR	0.48	Por Escorrentía
49	Callihue	1940	SI	1.884	1.484	1.245	1.152	1.74	1.66	1.339	1.298	9.14	8.87		X	BUENO	0.48	Por Escorrentía
50	Patagua Cerro Guirabo M1	1970	SI	2.697	1.87	1.641	1.338	2.38	2.325	1.718	1.693	0.60	6.22	X		REGULAR	0.48	Por Escorrentía
50	Patagua Cerro Guirabo M2	1970	SI	2.283	1.658	1.485	1.212	1.802	2.016	1.411	1.515	0.60	5.53		X	REGULAR	0.48	Por Escorrentía
50	Patagua Cerro Guirabo M3	1970	SI	2.418	1.455	1.457	1.117	1.998	1.73	1.479	1.343	0.60	6.6		X	REGULAR	0.43	Por Escorrentía

NOTA: * EN ESTE EMBALSE NO SE MIDIERON LOS TALUDES

ANEXOS

ANEXO 3 - 1

VISITA ESPECIALISTA SELECCIÓN DE EMBALSES CRITICOS

INGENIERIA EN GEOTECNIA Y FUNDACIONES

GEOFUN MR

Musante, Astorga, Arrau Ltda.

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

INFORME DE VISITA A PRESAS

EN LA VI REGION

1. INTRODUCCION

El presente informe se refiere a la visita a presas ubicadas en la VI Región realizada por el que suscribe durante los días 1, 2, 3 y 9 de diciembre de 2009, en compañía del ingeniero Sr. Raimundo Barrios Olmos, de la empresa consultora Arrau Ingeniería E.I.R.L., con la finalidad de observar el estado actual de las obras y emitir una opinión relativa a su seguridad.

Las presas y/o embalses visitados fueron los siguientes:

- Embalse Lolol
- Presa San José de las Pataguas
- Embalse Millahue
- Embalse Tierruca
- Presa El Sauce (Ex – Alcones)
- Embalse Pailimo N°1 (ó Cocauquén N°1)
- Embalse San Vicente
- Embalse Convento Viejo
- Embalse Carrizal

Durante la visita se obtuvieron fotografías de las presas, las que se adjuntan en el Anexo.

2. OBSERVACIONES DE TERRENO PARA CADA PRESA

Las observaciones que se presentan a continuación sólo tienen relación con los aspectos de seguridad de los embalses visitados, con el fin de poder evaluar preliminarmente el riesgo de una ruptura del muro y si existen las condiciones en cada una de las obras para poder distinguir señales tempranas de mecanismos de ruptura catastrófica.

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

2.1 Embalse Lolol

Este embalse es muy antiguo según se pudo observar en terreno. Existe una inscripción bajo una estatua de San Isidro ubicada en euno de los extremos de la presa, que indica al parecer el año 1901 y la sigla "DC de OP". El muro de presa se ubica en una angostura de roca con muy difícil acceso entremedio de los cerros de la cordillera de la costa. El camino es estrecho y peligroso, se debe realizar en vehículo con doble tracción y obligatoriamente con el cuidador del embalse para evitar tomar caminos equivocados. Desde la casa del cuidador hasta la presa, el viaje demora aproximadamente 1 hora en vehículo.

El talud de aguas arriba tiene una inclinación de 20° con respecto a la horizontal y el de aguas abajo es de 30°. El coronamiento tiene un ancho medio de 5 m aproximadamente. El talud de aguas arriba está cubierto completamente (excepto un tramo corto cerca del vertedero) con un enrocado regular (ordenado) y no se aprecian a simple vista hundimientos ni irregularidades notorias. Se nota claramente hasta que nivel llega el agua en el talud de aguas arriba cuando en embalse se encuentra completamente lleno. La revancha se estima en alrededor de 2.5 m para el nivel máximo de aguas. En el talud de aguas arriba, sobre la línea de aguas máximas y hasta el coronamiento, se observa en general vegetación de baja altura (pastizal) con escasos matorrales.

Se pudo observar un limnímetro en el interior del lago que al momento de la visita marcaba un nivel de agua de 16.2 m. Se estima que la presa tiene una altura máxima del orden de 20 m.

El vertedero frontal se ubica en el estribo izquierdo de la presa y está excavado en roca algo fracturada y poco meteorizada. Al parecer la longitud del vertedero fue ampliada en algún momento, ya que se observan señales del antiguo vertedero que era muy pequeño (tipo canal) que tenía el umbral unos 2 m mas abajo que el actual. El umbral del vertedero y el tramo inicial del canal del vertedero están construidos en albañilería de piedra. El resto del canal está excavado en roca con paredes muy irregulares por el método de excavación utilizado (no por erosión del agua). El vertedero entrega a un cauce natural.

Existe un túnel de entrega en la parte alta de la presa, hacia el estribo izquierdo, cuya salida al pie del talud de aguas abajo se observa en buen estado. Cerca del vertedero se ubica la caseta circular desde donde se maneja la entrega del agua mediante 2 válvulas.

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

El talud de aguas abajo se encuentra completamente cubierto con vegetación arbustiva y con árboles de gran altura, que impiden observar el desarrollo del talud y la ubicación de su pié.

No se observan grietas en el coronamiento de la presa ni filtraciones a través del suelo de fundación ni de la presa, tampoco se observan sectores saturados en el muro de presa. Respecto a las riberas del embalse no se observaron situaciones riesgosas evidentes.

Resumen embalse Lolol:

Se estima que este embalse tiene un riesgo bajo de falla estática y sísmica, principalmente considerando su antigüedad, la inclinación de sus taludes y el estado actual de conservación. Al parecer la angostura entera presenta roca de buena calidad (granito) casi superficialmente. No obstante lo anterior, como medida de seguridad preventiva, se recomienda un roce total de la vegetación mediana y de altura que cubre el talud de aguas abajo, y una mantención regular del camino de acceso al embalse, con señalización de caminos en los puntos que corresponda.

2.2 Presa San José de las Pataguas

El acceso al sitio de esta presa no se puede realizar en vehículo debido a que existe un canal que atraviesa el camino, con un puente hechizo de troncos, que es muy peligroso atravesar, por lo que se debe caminar aproximadamente 800 m hasta alcanzar el muro de presa.

Esta presa presenta un perfil irregular en el talud de aguas arriba. En una altura de aproximadamente 2.5 m desde el coronamiento hacia aguas arriba, el talud tiene una inclinación muy irregular debido a la erosión que a causado el oleaje del embalse y a falta de mantención. Esta inclinación se estima entre 45 y 50° con respecto a la horizontal. A partir de los 2.5 m hacia abajo, el talud de aguas arriba tiene una inclinación de 22° aproximadamente. La parte mas tendida del talud de aguas arriba se observa parcialmente cubierta por una capa de grava de cantos redondeados de tamaño máximo 10".

El ancho del coronamiento es de aproximadamente 4 m en promedio. El talud de aguas abajo tiene una inclinación de 29° aproximadamente. Existe un sector que fue reparado en el talud de aguas abajo después del sismo del 3 de marzo

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

de 1985, agregando una berma de unos 2 m de ancho ubicada unos 3 m por debajo del coronamiento en la zona mas alta de la presa. La altura máxima de la presa es de aproximadamente 7,8 m.
Tanto en el coronamiento como en el talud de aguas abajo existe gran cantidad de vegetación tipo zarzamora y espinos que impiden recorrer el muro completamente y la observación de irregularidades. Cercano al estribo derecho se observa una zona con enrocado regular sobre el talud de aguas abajo.

El vertedero frontal se ubica en el estribo derecho sobre roca. Actualmente el canal de evacuación del vertedero se encuentra muy destruido debido a las crecidas que han pasado en años anteriores. Se realizó una reparación con gaviones que fue completamente destrozada por una de las crecidas. Al final del canal del vertedero se observa que existe una gran fosa muy profunda que ha sido excavada por las aguas del vertedero.

El umbral del vertedero se observa en buen estado así como también la torre de entrega de agua. En el canal del vertedero existe un muro de hormigón armado hacia el costado del embalse que se observa que filtra por fisuras.

No se observaron grietas ni fisuras en el muro de presa. Tampoco se observan zonas húmedas y/o pantanosas en el pie del talud de aguas abajo, aunque si se observa abundante vegetación de mediana altura desde la presa hacia aguas abajo. Las riberas del embalse se observan estables y sin indicios de deslizamientos. Aguas abajo del embalse existen terrenos de cultivo y casas aisladas con moradores.

Resumen Presa San José de las Pataguas (San Hernán):

Se estima que esta presa tiene un riesgo mediano de falla estática y un riesgo alto de falla sísmica para la situación de embalse lleno. Se recomienda realizar un roce de todos los arbustos del muro de presa y hasta unos 50 m aguas abajo del pie del talud, para poder observar adecuadamente si existen irregularidades en el muro y filtraciones aguas debajo de la presa. Además se debe reperfilar el talud de aguas arriba a un talud de 22° homogéneo aproximadamente y reponer el enrocado de protección donde sea necesario. Es conveniente aumentar el ancho del coronamiento a 5 m y verificar que exista una revancha de por lo menos 2 m, entre la cota de coronamiento y el nivel de umbral de vertedero. Reparar fisuras del muro del canal del vertedero y reparar la parte final de dicho canal. Mejorar el puente sobre canal en el camino de acceso al embalse.

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

2.3 Embalse Millahue

El acceso al embalse Millahue se realiza por un camino de tierra en buen estado, atravesando por una servidumbre que ha producido conflicto con los regantes. Prácticamente se puede llegar en vehículo hasta el pie de la presa.

El muro de presa se encuentra cubierto por vegetación de mediana altura en el talud de aguas abajo. El coronamiento se encuentra prácticamente libre de vegetación. También se observa vegetación entre el coronamiento y el nivel de aguas máximas en el talud de aguas arriba.

La altura máxima de la presa se estima en 9,0 m aproximadamente. El talud de aguas arriba tiene una inclinación de 37° y se encuentra cubierto con una capa de bolones y grava de cantos redondeados. El talud de aguas abajo tiene una inclinación de 30° aproximadamente. La longitud de la presa se estima en unos 800 m aproximadamente. El vertedero se ubica en el estribo derecho. La torre de entrega de agua se ubica cercana al centro de la presa y se accede a ella por un puente de madera. La profundidad máxima de agua es de 9 m. El ancho del coronamiento es de aproximadamente 6.8 m. Según la persona encargada del embalse, el muro tiene un núcleo de arcilla.

Esta presa fue reparada en la mitad superior después del sismo del 3 de marzo de 1985.

El vertedero es frontal y de gran longitud, corresponde a una barrera de hormigón armado de baja altura sobre la que sobresalen perfiles metálicos que se utilizan para colocar tablones y, de esta manera, acumular mayor cantidad de agua en el embalse. El vertedero entrega a un canal excavado en suelo cementado que se observa en buen estado, con poca erosión y con abundante vegetación de mediana altura. Existe un revestimiento en la pared del canal para evitar la erosión, ubicado inmediatamente después del umbral del vertedero.

No se observaron grietas ni fisuras en el muro de presa. Tampoco se observaron filtraciones al pie de la presa, aunque si se observa abundante vegetación. Las laderas del embalse se observan estables y sin signos de deslizamientos. Según el cuidador del embalse, una empresa está cortando árboles en los terrenos del borde del lago, y a los regantes le preocupa que se produzca erosión de los cerros y embaucamiento del embalse.

Resumen de Embalse Millahue :

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

Este embalse tiene un riesgo bajo de falla estática y un riesgo mediano de falla sísmica, debido principalmente a la inclinación del talud de aguas abajo y al peralte que se realiza con tablones en el vertedero, lo que disminuye la revancha normal. Se recomienda tender el talud de aguas abajo a una inclinación no superior a 33°. Además se recomienda retirar toda la vegetación de mediana altura en ambos taludes hasta una distancia de 50 m desde el pie de la presa. Eliminar los perfiles metálicos que se pusieron en el umbral del vertedero y revisar la revancha efectiva que tiene la presa.

2.4 Embalse Tierruca

El acceso al embalse Tierruca se realiza por un camino de tierra en buen estado que atraviesa terreno plantados con viñas. Se puede llegar hasta el coronamiento de la presa con vehículo.

El ancho de coronamiento de la presa es de 4.5 m en promedio. El talud de aguas arriba tiene una inclinación de 39° y el de aguas debajo de 30°. La altura máxima de la presa es del orden de 7,0 m. El talud de aguas arriba se encuentra parcialmente protegido por bolones y restos de demoliciones de hormigón, se observa erosionado por el oleaje del lago. El área del embalse es afectada regularmente por vientos fuertes considerando que no existen cerros cercanos al borde del lago. Ambos taludes están cubiertos por vegetación de mediana altura que impide ver con claridad cualquier irregularidad del muro. Cercanas al estribo izquierdo se observaron 2 grietas longitudinales en el eje del coronamiento del muro, de aproximadamente 30 y 40 m de longitud, y de 5 cm de abertura máxima. Los bordes de estas grietas no presentan desnivel entre sí o muy leve descenso del borde hacia el lago. Según el administrador del predio, el muro de presa tiene un dentellón de impermeabilización en la fundación y el suelo de fundación corresponde a una tosca impermeable. El muro fue construido en el año 1992.

El talud de aguas abajo sólo se encuentra protegido por vegetación y no se observa erosionado. En este mismo talud se observan unas empalizadas de no mas de 1 m de altura, ubicadas regularmente, rodeadas con una malla plástica, que corresponden a restos de un intento de colocar plantas florales en dicho talud.

El vertedero es frontal y se encuentra ubicado cortando el muro de presa en dos

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

partes, pero mas cercano del estribo derecho. Es una estructura de hormigón armado con un foso disipador de energía inmediatamente aguas abajo del umbral. Ambos costados están protegidos con un muro de hormigón armado. El canal rectangular de evacuación del vertedero se extiende una corta longitud con revestimiento completo hasta una altura de aproximadamente 1 m. A continuación se observa un canal excavado en tosca dura que no presenta erosiones de importancia. En el umbral del vertedero existen perfiles metálicos insertados en el hormigón que se utilizan para colocar tablones para aumentar la capacidad de almacenamiento del embalse, pero que disminuye peligrosamente la revancha de seguridad. Se estima que esta revancha disminuye a no mas de 50 cm cuando se utilizan los tablones.

Aguas debajo de la presa existen plantaciones de viña, galpones, las oficinas de ingreso al predio y casas aisladas con moradores.

No existen cerros cercanos al borde del lago, se ubica en una zona muy despejada donde no existen riesgos de deslizamiento de laderas. No se observaron zonas húmedas ni filtraciones de agua al pie de la presa.

Resumen de Embalse Tierruca:

Este embalse tiene un riesgo mediano para el caso estático y un riesgo alto para el caso sísmico, principalmente por la fuerte inclinación del talud de aguas arriba, su marcada erosión por oleaje, la baja revancha de seguridad para el nivel de aguas máximas del lago y las grietas longitudinales observadas en el coronamiento. Se recomienda eliminar los perfiles del vertedero que peraltan el nivel máximo del lago, aumentar la cota de coronamiento en al menos 50 cm, reperfilar el talud de aguas arriba a una inclinación no superior a 33° y reponer la protección contra la erosión por oleaje en la superficie del talud de aguas arriba donde sea necesario. Además se debe tapar las grietas del coronamiento con arcilla para evitar la penetración de aguas lluvias en ellas.

2.5 Presa El Sauce (Ex – Alcones)

El acceso a este embalse se realiza por un camino de tierra en regular estado a partir de un portón con llave ubicado en el antiguo camino a Pichilemu. Se puede llegar con vehículo hasta el coronamiento.

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

Es un embalse muy antiguo cuyo muro de presa se encuentra cubierto por árboles de gran altura y vegetación de todo tipo. El coronamiento se encuentra despejado lo que permite recorrerlo casi en su totalidad.

La altura máxima del muro de presa se estima en 27,2 m y longitudinalmente tiene una forma levemente curva. El vertedero es del tipo "morning glory" con su umbral en la cota 25. Se observa que esta estructura fue peraltada, asi como también el muro de presa y la obra de toma.

El talud de aguas arriba tiene una inclinación de 25° y el de aguas debajo de 33° aproximadamente. El ancho de coronamiento del muro es de 8 m aproximadamente. Se observa roca en ambos estribos de la presa. La revancha de seguridad es de aproximadamente 2 m.

El talud de aguas arriba no tiene protección contra la erosión por oleaje. Se observa un quiebre en el plano del talud de aguas arriba, en la parte superior por debajo del coronamiento, que puede ser efecto de la erosión por oleaje o bien indicación del peralte del muro.

La obra de toma es una estructura circular de hormigón armado a la cual se accede mediante un puente de hormigón armado con sus barandas en mal estado. Este puente está construido sobre otro puente mas antiguo. Desde la obra de toma se operan 2 válvulas de entrega.

Las orillas del lago son de pendiente suave, por lo que no se observa riesgos de deslizamientos en masa. Debido a la espesa vegetación que cubre el talud de aguas abajo, no se pudo observar si existen zonas húmedas al pie o filtraciones desde el embalse. La persona a cargo del embalse señaló que no existen filtraciones y que la presa no ha tenido nunca problemas de ningún tipo.

Resumen de Presa El Sauce (Ex – Alcones):

Se estima que el riesgo de falla estático y sísmico de este embalse es bajo, considerando la inclinación de los taludes, el generoso ancho de coronamiento y la revancha de seguridad que tiene. Este embalse se llena sólo con aguas lluvias y se estima recomendable realizar una verificación de la capacidad de evacuación del vertedero y del estado de su túnel de evacuación. Se recomienda realizar un roce de la vegetación en ambos taludes y colocar una capa de enrocado de protección contra la erosión en el talud de aguas arriba.

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

2.6 Embalse Pailimo N°1 (ó Cocauquén N°1)

El acceso a este embalse se realiza por un desvío pavimentado del camino a Pichilemu, en el sector de Alcones. Se llega en vehículo hasta la misma presa y se puede recorrer en toda su longitud.

El muro de presa tiene una altura máxima de 12,6 m aproximadamente. La inclinación del talud de aguas arriba es de 25° y el de aguas abajo de 35°. El ancho de coronamiento es de aproximadamente 4.2 m. Se observa oleaje en el embalse provocado por viento moderado. El talud de aguas arriba tiene protección con enrocado, en donde se observa un hundimiento en la parte central de la presa. El talud de aguas abajo presenta gran cantidad de vegetación de mediana altura y árboles aislados. La parte superior del talud de aguas arriba también se observa con vegetación.

El vertedero de seguridad se ubica en el estribo derecho en roca tipo conglomerado. Tiene perfiles metálicos y tablones para aumentar la capacidad del embalse. El canal de evacuación del vertedero está excavado en el conglomerado, sin revestimiento, y se observa con erosión mediana.

El embalse tenía una pequeña filtración en el talud de aguas abajo, cercana al estribo izquierdo, justo encima de la tubería de entrega. Se efectuó una reparación que consistió en la colocación de un geotéxtil cubierto con enrocado.

Cercana al estribo izquierdo se observa una gran cárcava de erosión en el pie del talud de aguas abajo, provocada por aguas lluvias que provienen de la ladera izquierda de la angostura.

En ambos estribos de la presa se observa roca. La orilla del lago presenta un talud suave sin riesgo de deslizamientos en masa. Aguas abajo de la presa existe un pequeño poblado.

Resumen de Embalse Pailimo N°1 (ó Cocauquén N°1):

Este embalse se estima que tiene un riesgo de falla estático mediano a bajo y un riesgo sísmico mediano a alto. Lo anterior es considerando el peralte que se realiza al embalse al colocar tablones en el umbral del vertedero, lo que disminuye la revancha de seguridad, y por que existe un pequeño poblado aguas abajo. Se recomienda eliminar las estructuras de peralte del vertedero,

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

encauzar las aguas lluvias en la ladera izquierda de la presa de manera que no sigan erosionando el pie de la presa y realizar un roce de la vegetación en ambos taludes.

2.7 Embalse San Vicente

El acceso al embalse San Vicente se realiza a través de un camino de tierra por el interior de un predio con plantación de flores, en regular estado. Se puede llegar en vehículo hasta casi el pie de la presa.

La altura máxima de la presa es de 9,0 m aproximadamente. El ancho de coronamiento es de 3 m. La inclinación del talud de aguas arriba es de 40° y el de aguas abajo de 30°. Esta presa fue construida hace unos 15 años. Al momento de la visita el embalse se encontraba prácticamente en lleno en su capacidad máxima, faltando sólo 30 cm para comenzar a verter.

El vertedero frontal se ubica en el estribo derecho sobre roca de buena calidad. Presenta un corto tramo de mampostería de piedra. Se observa una pequeña filtración desde la barrera de umbral. No se observan estructuras de peralte del umbral del vertedero. Hacia el costado de la presa en el canal de aproximación del vertedero se observa un muro de gaviones. El vertedero entrega a un cauce natural.

En el talud de aguas arriba no se observa enrocado de protección, pero si se observa algunos neumáticos que protegen contra el oleaje. La presa se encuentra cubierta con vegetación tipo pastizal de baja altura con algunos árboles medianos aislados. El estribo derecho presenta roca a la vista y el estribo izquierdo es de arcilla arenosa.

En el coronamiento se observaron dos grietas longitudinales de 4 y 5 m de longitud aproximadamente y de 1 cm de abertura. No se observan filtraciones del muro ni de la fundación. Las orillas del embalse tienen una pendiente suave, cubierta con vegetación, sin riesgo de deslizamientos en masa. No existen poblados aguas abajo del embalse, sólo la casa del administrador del predio. El embalse tiene 2 entregas de agua operativas. Aguas abajo de la presa no se observa zonas muy húmedas ni pantanosas.

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

Resumen de Embalse San Vicente :

Este embalse tiene un riesgo de falla estático y sísmico bajo. Se recomienda rellenar las grietas que se observaron en el coronamiento con arcilla, para evitar el ingreso de aguas lluvias. Cuando el embalse se encuentre medio vacío se debe verificar el estado del talud de aguas arriba y si existe algún enrocado de protección contra el oleaje. Se recomienda mantener la vegetación controlada en el muro de presa.

2.8 Embalse Convento Viejo

El acceso a este embalse se realiza desde el pueblo de Chimbarongo por camino pavimentado a Chépica.

La presa tiene un ancho de coronamiento de 40 m y una altura máxima de 32 m. Tiene un núcleo central de arcilla con filtro de arena en ambos costados. Debajo del núcleo de arcilla existe una pared moldeada que alcanza hasta la roca. El talud de aguas arriba está protegido con enrocados y el de aguas abajo con empedrado fluvial (cantos redondeados). Ambos taludes de la presa se aprecian estables. Ambos estribos de la presa corresponden a roca fracturada. Al momento de la visita el nivel de agua en el embalse se encontraba en la cota 267,8 m.

El vertedero está ubicado en un portezuelo lateral al norte de la presa. Es una barrera de hormigón con compuertas de sector. Tiene un desagüe de media altura por donde actualmente se deja pasar el agua de otros regantes. En el muro del vertedero existe cercana al costado derecho una pequeña filtración de agua que es canalizada y aforada.

Tiene instalado varios pares de piezómetros tipo Casagrande que alcanzan hasta la cota de coronamiento. Alrededor de los monolitos de hormigón que sostienen los tubos piezométricos el relleno de la presa ha sufrido asentamientos notorios variable entre 15 y 30 cm aproximadamente. También se observa hundida la cuneta del camino y la barrera de contención. En cada par de piezómetros, uno alcanza con su cabeza hasta la roca y el otro hasta la parte inferior del núcleo. El relleno alrededor de los piezómetros se compactó con equipo liviano para no dañarlos, lo que explicaría el descenso adicional al normal de la presa.

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

Cercano al estribo derecho de la presa, en donde la pared moldeada tiene su menor altura, el piezómetro ubicado en roca mide un nivel de agua superior al del ubicado en el núcleo de arcilla, con lo que se tiene un gradiente hidráulico hacia arriba, lo cual no es preocupante porque el muro de presa tiene todavía una altura apreciable en este sector. No se observan filtraciones en el pie ni en el talud de aguas abajo, en la sección donde se ubican los piezómetros en cuestión. Mediciones posteriores indican que la diferencia entre ambos piezómetros ha disminuido, y en consecuencia también el gradiente hidráulico.

Preliminarmente, la explicación de los niveles piezométricos medidos es la siguiente: la roca basal esta algo agrietada y permite filtraciones a través de ella, como la pared moldeada es de poca altura en este sector, el agua que proviene del lago no encuentra mucha dificultad en recorrer el trayecto hasta la roca, rodear la pared moldeada a través de la roca algo permeable y volver hacia arriba donde se encuentra el núcleo arcilloso y saturarlo. El piezómetro en la roca, donde todavía no se ha producido toda la pérdida de carga, muestra un nivel superior al del núcleo en donde se ha producido la pérdida de carga completa. Por otra parte, el filtro de arena ubicado aguas abajo del núcleo, ha permitido captar el agua que satura el núcleo y la ha conducido al dren basal en donde se ha escurrido por la grava arenosa del valle, sin emerger al pie de la presa.

Resumen para Embalse Convento Viejo :

Esta es una presa que se terminó de construir hace muy poco tiempo, con controles e inspección permanentes. Se estima que tiene un riesgo de falla bajo tanto estática como sísmicamente, sobre todo considerando el generoso ancho de coronamiento. Se recomienda continuar con las mediciones diarias de los piezómetros y observar si aparecen afloramientos de agua o signos de humedad en el talud de aguas abajo o al pié. También se recomienda restablecer el nivel del relleno alrededor de los monolitos de los piezómetros, para evitar que se acumule aguas lluvias en las depresiones que pudieran filtrar hacia el interior y falsear las lecturas piezométricas.

2.9 Embalse Carrizal

El acceso a este embalse se realiza por un camino de tierra en regular estado por el interior de un predio agrícola. La presa es muy antigua, según el

administrador del predio, fue construida usando carros Decauville, y por esta razón el coronamiento tiene una pendiente que sube desde el estribo izquierdo hacia el estribo derecho, aumentando gradualmente la revancha de seguridad. La revancha mínima en el estribo izquierdo es de 2 m y aumenta gradualmente hasta 3.5 m aproximadamente.

La presa tiene un ancho de coronamiento variable desde 4 m hasta 8 m aproximadamente. La inclinación del talud de aguas arriba es de 25° y el de aguas abajo es de 30°. El talud de aguas arriba presenta un quiebre como a los 3 m por debajo del coronamiento, este último tramo de talud es algo mas empinado (40° aprox.), probablemente se trata de un peralte reciente de la presa. El muro de presa tiene una ligera curvatura longitudinalmente. La altura máxima del muro de presa se estima en 15 m. Ambos taludes se encuentran cubiertos con vegetación arbustiva de mediana altura. El talud de aguas arriba tiene una delgada capa de enrocados de pequeño tamaño, que casi ha desaparecido.

No se observan filtraciones ni humedad en el pie de la presa. Las orillas del embalse se observan con suave pendiente sin riesgo de deslizamientos en masa. No se observan fisuras ni grietas en el muro de presa.

El vertedero es de tipo frontal y se ubica en el estribo izquierdo. Es de hormigón y albañilería de ladrillo. Da la impresión que el vertedero fue peraltado ya que se observa albañilería sobre hormigón. Se aprecia poco resistente y angosto, dejando dudas que soporte adecuadamente una crecida grande. Sobre el vertedero existe un puente de madera construido recientemente.

Resumen del Embalse Carrizal:

Este embalse presenta un riesgo de falla estático y sísmico bajo. No obstante lo anterior se recomienda reperfilar el talud de aguas arriba y reponer el enrocado de protección. Además se debe realizar un roce de la vegetación en ambos taludes y hasta 50 m del pie de la presa. Verificar la capacidad del vertedero y resistencia del umbral de albañilería.

3. CONCLUSIONES

Hernán Cortés 3010 , Ñuñoa - FONO 2056080 - FAX 2056098 - SANTIAGO - E-mail: geofun@geofun.cl - www.geofun.cl

De acuerdo con lo descrito en el acápite anterior, preliminarmente hemos asignado los siguientes riesgos a los embalses visitados:

EMBALSE	Riesgo estático	Riesgo sísmico
Lolol	Bajo	Bajo
San José de las Pataguas	Mediano	Alto
Millahue	Bajo	Mediano
Tierruca	Mediano	Alto
El Sauce	Bajo	Bajo
Pailimo	Mediano a bajo	Mediano a alto
San Vicente	Bajo	Bajo
Convento Viejo	Bajo (*)	Bajo
Carrizal	Bajo	Bajo

(*) Se debe analizar la piezometría cercana al estribo derecho.

Santiago, diciembre de 2009

Donaldo Astorga Macload
Ingeniero Civil
Geofun Ltda..

ANEXO 5 - 1

PLANILLAS DE CÁLCULO CAPACIDAD VERTEDERO

Caudal sobre el vertedero

$$Q = m \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

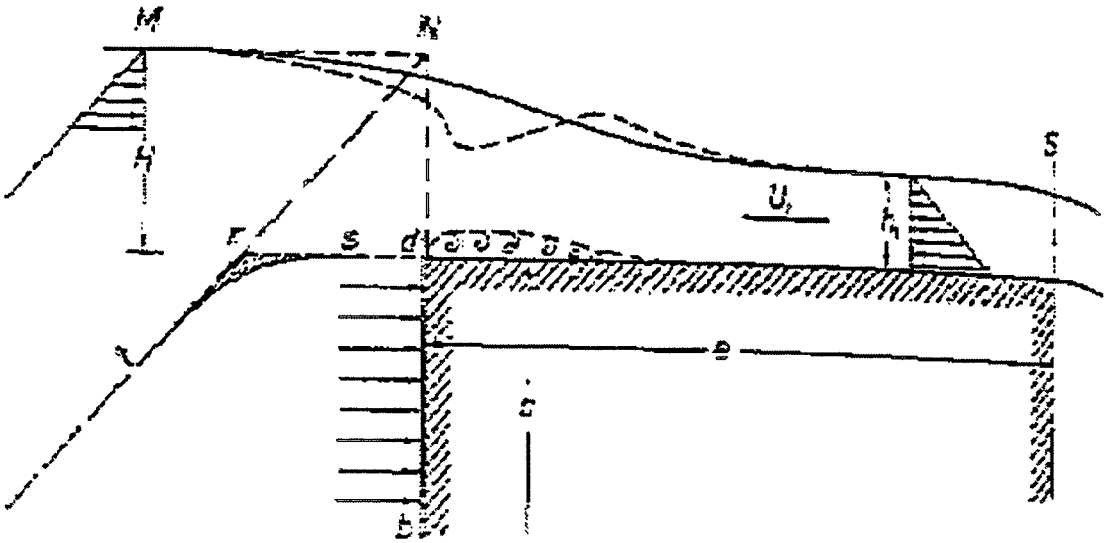
l = Longitud del vertedero, a la distancia entre las paredes verticales o inclinadas que lo limitan sobre el umbral.

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 es al menos cinco veces la altura crítica. El espesor es el ancho del muro.



n = Espesor relativo de la barrera $n = 1,5 \cdot \frac{e}{h}$

a = Altura de la barrera.

	I Barreras en entrada redondeada							
$\frac{h}{a+h}$	Espesores relativos de umbral n =							
	3,5	5	6	7	8	9	10	13,5
0,00	0,379	0,377	0,376	0,375	0,373	0,371	0,370	0,365
0,05	0,379	0,377	0,376	0,375	0,373	0,371	0,370	0,366
0,10	0,379	0,378	0,377	0,376	0,374	0,372	0,371	0,367
0,20	0,385	0,381	0,380	0,379	0,377	0,375	0,374	0,370
0,30	0,388	0,386	0,385	0,383	0,382	0,380	0,379	0,375
0,40	0,395	0,393	0,392	0,390	0,388	0,387	0,385	0,381
0,50	0,404	0,402	0,400	0,399	0,397	0,395	0,394	0,390
0,60	0,415	0,412	0,411	0,410	0,408	0,406	0,405	0,400
0,70	0,428	0,425	0,423	0,422	0,420	0,418	0,417	0,412
0,80	0,443	0,440	0,439	0,437	0,435	0,433	0,431	0,426
0,90	0,459	0,457	0,455	0,454	0,451	0,449	0,448	0,443
1,00	0,478	0,476	0,474	0,472	0,470	0,468	0,466	0,460

Caudal sobre el vertedero

$$Q = m \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

l = Longitud del vertedero, a la 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 delgada

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

a = Altura de la barrera

Vertederos curvos tipo Morning Glory

Ecuación de gasto: $$Q = K \cdot h^{1,42}$$

En el cuadro siguiente se tienen coeficientes K en función del diámetro.
Para diámetros mayores se interpoló con la relación del gráfico adjunto.

CUADRO RESUMEN CAUDALES DE CRECIDA Y CAPACIDAD EVACUACIÓN VERTEDERO

Nº	EMBALSE	PERÍODO DE RETORNO						
		20	25	50	100	200	500	1000
1	Los Sapos	13,3	14,1	17,6	23,0	24,8	29,3	32,7
2	Los Maquis	3,7	4,1	5,1	6,6	7,1	8,4	9,4
3	Pilaicito	105,4	112,4	140,8	183,7	199,6	235,8	263,3
4	Romeral	3,0	3,1	3,9	5,1	5,6	6,6	7,4
5	Picarquín	30,8	32,7	41,0	53,5	57,7	68,2	76,1
6	Esmeralda	2,7	2,9	3,7	4,8	5,1	6,0	6,7
7	Chancón	16,6	17,7	22,2	28,9	31,4	37,1	41,5
8	San Isidro	34,4	37,2	46,6	60,7	65,8	77,7	86,7
9	Millahue	53,2	57,7	72,2	94,2	101,5	119,9	133,9
10	San Hernán (San José De Las Pataguas)	33,0	35,8	44,8	58,4	63,0	74,4	83,0
11	Idahue	19,4	21,1	26,4	34,4	37,0	43,8	48,8
12	San Vicente	13,9	15,1	18,9	24,7	26,6	31,4	35,1
13	Cocauquen o Pailimo 1	33,1	35,9	45,7	60,3	64,7	76,7	85,7
14	Piedras Blancas o Pailimo 2	3,6	3,9	4,9	6,5	6,9	8,2	9,2
15	La Rosa	6,1	6,6	8,4	11,2	12,0	14,2	15,9
16	Alcones (El Sauce)	61,5	66,7	84,8	112,0	120,2	142,5	159,4
17	Mallermo	4,3	4,7	5,9	7,8	8,4	10,0	11,2
18	Aguadilla	7,9	8,5	10,8	14,3	15,4	18,2	20,4
19	Los Maitenes	3,8	4,1	5,1	6,7	7,2	8,5	9,5
20	San Guillermo (Santa Marta)	1,6	1,8	2,2	2,9	3,1	3,7	4,1
21	Porotal	5,2	5,6	7,1	9,2	9,9	11,7	13,1
22	Yerbas Buenas (Santa Julia)	34,8	37,7	47,2	61,5	66,3	78,4	87,5
23	Carrizal	24,7	26,7	34,0	44,9	48,2	57,1	63,9
24	Pihuchén	1,7	1,9	2,3	3,0	3,3	3,9	4,3
25	La Esperanza	9,0	9,7	12,2	15,8	17,1	20,2	22,5
26	Tierruca	19,8	21,5	26,9	35,0	37,8	44,6	49,8
27	Guido Soto	7,0	7,6	9,6	12,5	13,4	15,9	17,7
28	Los Novios	1,1	1,2	1,6	2,1	2,2	2,6	2,9
29	Alto Colorado	2,0	2,2	2,8	3,7	3,9	4,7	5,2
30	Pañilonco	19,4	21,0	26,7	35,2	37,8	44,8	50,1
31	Rinconada (La Macarena)	3,2	3,5	4,3	5,6	6,0	7,1	8,0
32	Santa Isabel	9,0	9,7	12,2	15,9	17,0	20,0	22,4
33	Convento Viejo I	639,9	694,2	868,5	1132,2	1219,8	1441,2	1608,8
34	Lolol	33,5	36,3	46,2	61,0	65,4	77,6	86,7
35	Culenco	8,3	9,0	11,4	15,1	16,2	19,2	21,4
36	Pataguilla	10,4	11,3	14,4	19,0	20,4	24,2	27,1
37	Los Negros	9,2	10,0	12,7	16,8	18,0	21,4	23,9
38	El Guaico	3,0	3,3	4,1	5,3	5,7	6,7	7,5
39	El Huique	3,4	3,6	4,5	5,9	6,3	7,5	8,3
40	Santa Lucía (Santa Margarita)	1,0	1,0	1,3	1,7	1,8	2,2	2,4
41	Jaime Ramírez	6,4	7,0	8,9	11,7	12,6	14,9	16,6
42	La Troya	5,2	5,6	7,1	9,2	9,8	11,6	13,0
43	Nilahue	16,8	18,3	23,2	30,7	32,9	39,0	43,7
44	El Cardonal	1,6	1,7	2,2	2,9	3,1	3,6	4,1
45	Lagunillas	2,2	2,4	3,0	4,0	4,3	5,1	5,7
46	La Gloria (La cruz)	16,5	17,9	22,7	30,0	32,1	38,1	42,6
47	Quesería	3,0	3,3	4,1	5,5	5,9	7,0	7,8
48	Salto De Agua	13,1	14,2	18,0	23,8	25,6	30,3	33,9
49	Callihue	11,2	12,1	15,4	20,3	21,8	25,9	28,9
50	Patagua Cerro Guirabo	5,4	5,8	7,3	9,5	10,1	12,0	13,4

TIPO DE VERTEDERO		Q vertedero (m3/s)
Frontal, marco hormigón y tableros	Compuerta	3,02
Frontal en tierra	Pared delgada	1,56
Canalón en tierra	Canal	0,78
Frontal en tierra	Pared delgada	2,34
Frontal en hormigón	Pared gruesa	53,35
Curvo	Morning Glory	4,74
Curvo	Morning Glory	11,48
Frontal en tierra	Pared gruesa	4,42
Frontal en hormigón	Pared delgada	75,70
Lateral	Pared delgada	1,83
Frontal	Pared delgada	23,25
Frontal en hormigón	Pared delgada	23,58
Frontal barrera madera	Pared delgada	25,18
Frontal en hormigón	Barrera madera	33,72
Frontal compuerta y vertedero	Barrera madera	18,00
Curvo	Morning Glory	32,95
Frontal hormigón con tablones	Pared delgada	3,90
Frontal, Canal de hormigón	Canal	4,51
Frontal, canal en tierra	Canal	0,80
Frontal, canal en tierra	Canal	22,30
Frontal, con compuertas madera	Pared delgada	4,90
Frontal, hormigón	Perfil Creager	25,00
Frontal, hormigón y mampostería ladrillo	Pared delgada	21,49
Frontal, canal en tierra	Canal	4,20
Frontal, canalón hormigón con tableros de madera	Canalón	94,40
Frontal, hormigón	Pared gruesa	41,94
Frontal, canal en tierra	Canal	2,26
Tubería		0,60
Frontal, canal en tierra	Canal	2,96
Frontal, canal con shotcrete	Canal	13,40
Frontal en tierra	Pared gruesa	4,60
Frontal en hormigón	Pared gruesa	5,00
Frontal hormigón	(Información DOH)	810,00
Lateral, mampostería piedra	Pared delgada	13,48
Frontal en tierra	Pared delgada	15,63
Frontal en hormigón	Pared delgada	9,04
Frontal en tierra	Pared delgada	1,95
Frontal en tierra	Pared delgada	5,86
Frontal en hormigón	Pared delgada	5,86
Frontal, compuerta acero	Compuerta	2,16
Frontal en tierra	Canal	22,50
Frontal en tierra	Pared delgada	5,47
Frontal en hormigón con tablones	Pared delgada	28,77
Frontal, canal mampostería	Canal	16,40
Canalón en tierra	Canal	1,26
Canalón en tierra	Canal	0,41
Canalón en tierra	Canal	19,50
Tubería	Tubería	5,00
Canalón en tierra	Canal	9,14
Canalón en tierra	Canal	0,60

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

EMBALSE LOS SAPOS

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

1. EMBALSE LOS SAPOS
1.1 Ubicación
1.2 Características Generales
1.3 Crecidas Afluentes al Embalse
   a) Características de la cuenca
   b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
1.4 Análisis de Estabilidad
   a) Taludes del embalse
   b) Modelación de la presa
   c) Parámetros de resistencia al corte
   d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
   e) Factores de seguridad
1.5 Determinación de Filtraciones
1.6 Verificación del Oleaje
1.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
1.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

1. EMBALSE LOS SAPOS

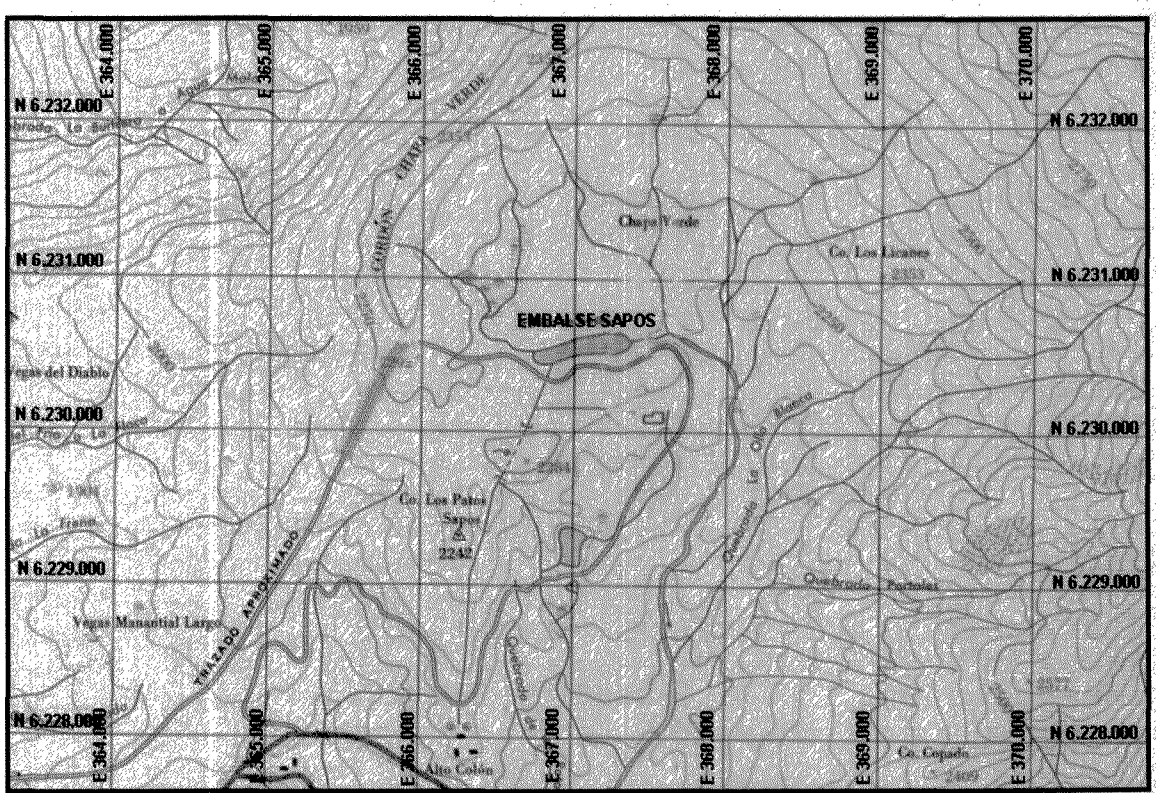
1.1 Ubicación

El embalse Los Sapos se ubica en la comuna de Machalí, provincia de Cachapoal, en las coordenadas UTM 6.230.229 Norte y 367.337 Este, Datum WGS 84. Se localiza en la cuenca de Rapel, subcuenca del Río Coya-Cachapoal y la fuente corresponde al estero Sapos.

Acceso desde Ruta 5 sur, hasta Rancagua, continuar por Ruta del Cobre, hasta empalme con ruta H-25, luego por esta última hasta las instalaciones de la Mina El Teniente de Codelco Chile en Colon Alto, por caminos interiores subir hasta Centro Invernal Chapa Verde.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 1.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE SAPOS



Fuente: Carta IGM

1.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a CODELCO, División El Teniente, el uso y destino del embalse es de abastecimiento de agua potable e industrial y fue construido en el año 1962.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 6,0 hm^3. La presa está conformada por tres cuerpos de muro, apoyados en terreno natural rocoso, con una altura máxima del muro de 24,0 m y una longitud de coronamiento de 785 m y ancho promedio del coronamiento de 7,1 m y borde libre de 1,8 m. El talud de aguas arriba está cubierto casi completamente con la geomembrana y el de aguas abajo no tiene revestimientos y está limpio de vegetación. A simple vista, no se observan hundimientos ni irregularidades notorias, así como tampoco deslizamientos ni grietas.
Los taludes de los muros son:

	MURO 1	MURO 2	MURO 3
Talud Aguas Arriba H:V	2,75:1	2,75:1	2,75:1
Talud Aguas Abajo H:V	1,88:1	1,73:1	1,73:1

El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal, ubicado en el estribo izquierdo de la presa y excavado en tierra. Dispone de una carga máxima de 2,7 m, que le otorga una revancha bastante apropiada, pero tiene una obra de control de acceso con muros guía para la colocación de tablones para peraltar el umbral, que en la medida que no sean bien utilizados pueden significar un riesgo de que las aguas sobrepasen el muro durante una crecida. El vertedero entrega al cauce natural de la quebrada. Las principales medidas son: Ancho de 5,0 m, largo 3,0 m. Se encuentra en buen estado de conservación y operación.

Las ***obras de entrega*** se ubican aproximadamente al centro de la presa y consisten en un pique de captación con entrega a tuberías gravitacionalmente. También se dispone de una tubería elevada a la cual se entrega por elevación mecánica. Esta tubería se desarrolla a lo largo del puente de acceso al pique. Las principales medidas de la estructura circular de hormigón armado es de 19,0 m de altura, desde de la cual el agua es conducida por bombas por una cañería de HDPE de 100 mm en su comienzo y 200 mm hasta la entrega. La obra se encuentra en buen estado y operativa, no se observan problemas.

Dadas sus características, y suponiendo que la geomembrana ha quedado bien construida, el riesgo de falla se considera mínimo. Se recomienda eso sí, mantener un estricto y continuo control de los niveles piezométricos, graficándolos y evaluando su comportamiento en el tiempo, vs. la cota del lago

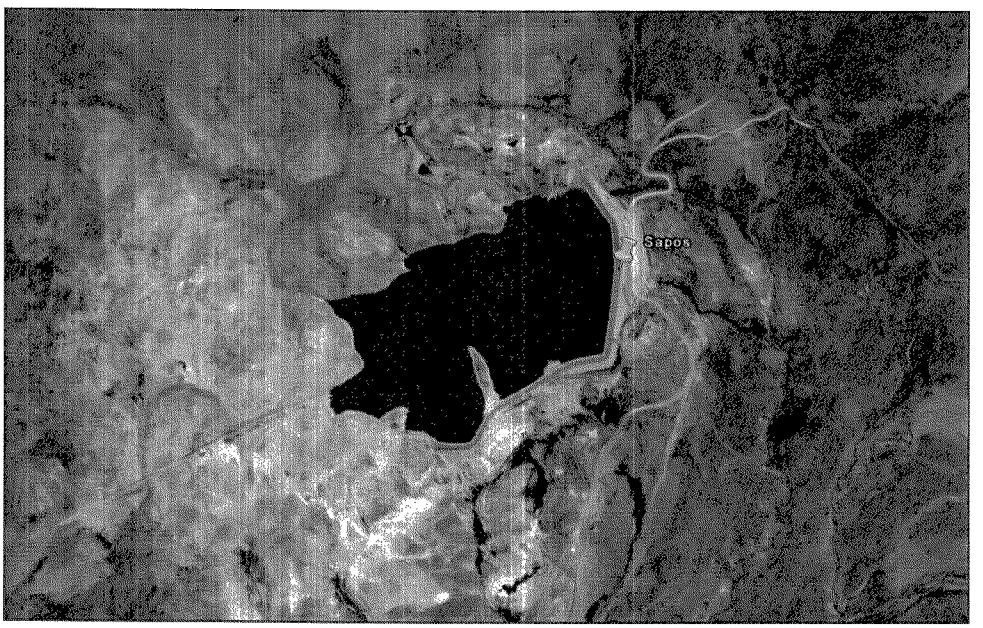
Con respecto a las filtraciones y sus controles, se pudo observar en la visita que se mezclan con deshielos del sector, por lo que su medición queda bastante alterada y probablemente su control sea errático. Se recomienda en todo caso, aprovechar los desniveles existentes para instalar en diversos puntos de control, vertederos triangulares de aforo, que a la vez pueden servir para observar los sólidos atrapados en el fondo y evaluar también su comportamiento en el tiempo.

Se considera asimismo, que los profesionales a cargo de la operación y del mantenimiento de la obra, se encuentran bastante capacitados para desarrollar las labores de control pertinentes. En resumen, se recomienda:

- Control permanente del nivel del lago y de la piezometría por parte de profesionales idóneos.
- Construcción de aforadores que permitan controlar también los sólidos a lo largo del tiempo.
- No peraltar el umbral del vertedero con tablones durante la época de crecidas.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 1.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE SAPOS





Vista panorámica Embalse Los Sapos

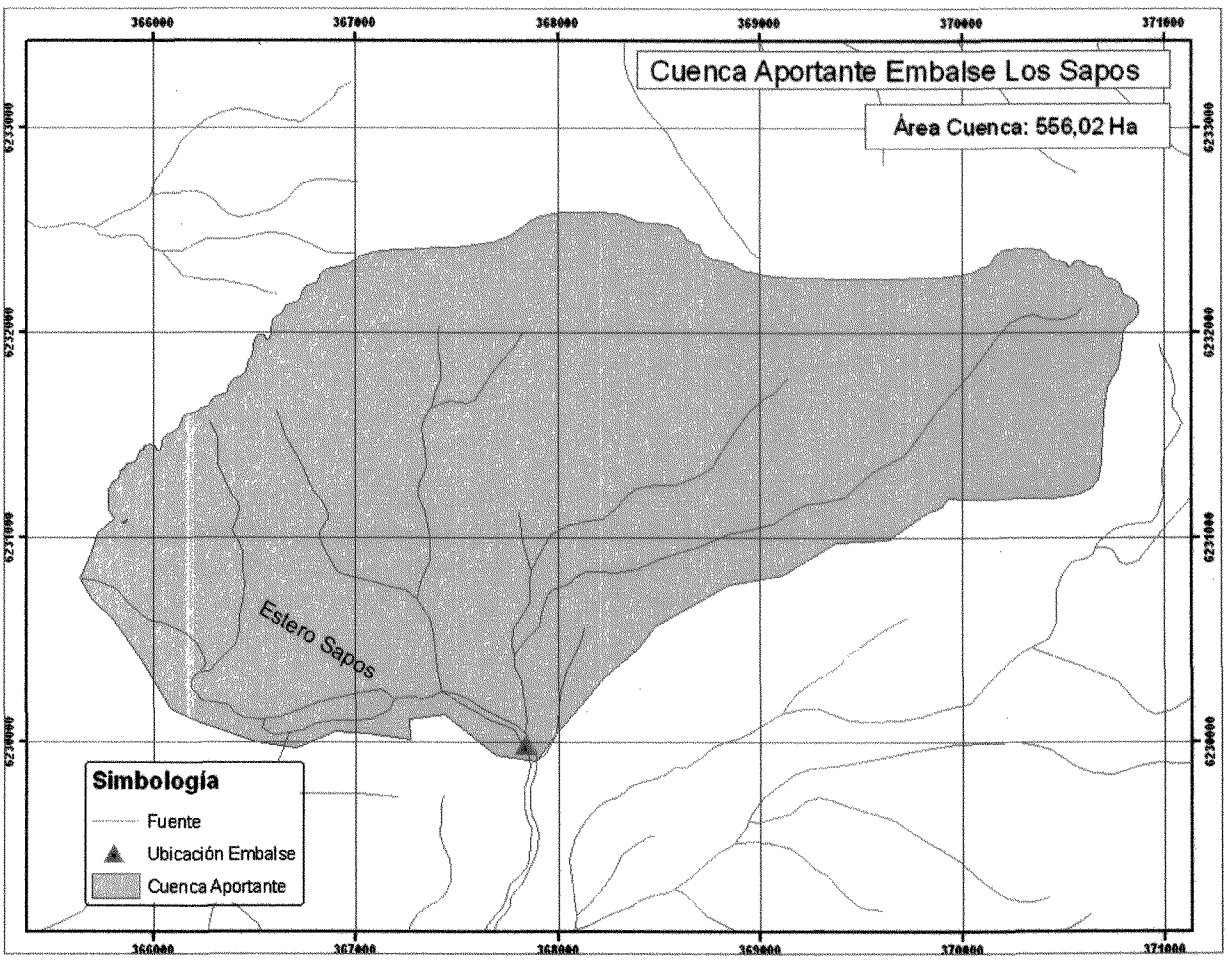
1.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Los Sapos tiene como fuente al estero Los Sapos, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 5,56 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 1.3-1
CUENCA EMBALSE SAPOS



CUADRO 1.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Sapos
SUPERFICIE (ha)	Total	556,0
	Pluvial	0,0
PERÍMETRO (m)	Total	15.300,0
	Pluvial	0,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	3.029,0
	Mínima	2.236,9
	Diferencia	792,1
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	25,1
	Cauce	31,4
LONGITUD CAUCE (km)	Total	5,36
	Desde centro de gravedad	2.68
CENTROIDE CUENCA	UTM E	368.324
	UTM N	6.231.920
	Altura (msnm)	2.460,5
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	369.766
	UTM N	6.231.015
	Altura (msnm)	2.628
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

- Crecidas de deshielo

El método denominado DGA-AC para crecidas de deshielo, corresponde a un análisis regional de crecidas del período de deshielo, desarrollado en base a los análisis de frecuencias efectuado a las series de excedencia para el período nival de caudales medios diarios máximos y caudales instantáneos máximos, correspondientes a 234 estaciones de control existente en el país.

Para estimar el valor del caudal medio diario asociado al período de retorno 10 años se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{10} = 1{,}81 \cdot 10^{-4} \cdot An \cdot (Lat - 26{,}2)^{3{,}392}$$

Donde:

Q_{10}	Caudal medio diario con período de retorno 10 años (m^3/s)
An	Área Nival de la cuenca (km^2)
Lat	Latitud media de la cuenca, en grados (°)

Por la falta de otros métodos de cálculo y debido a la pequeña extensión de algunas cuencas, para la obtención de resultados se consultó la frecuencia máxima Q(T)/Q(10) que también se utiliza para caracterizar cuencas pluviales.

Finalmente la expresión queda de la siguiente forma:

$$Q(T) = \beta \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T, y el coeficiente β es igual a 1,18.

CURVA DE FRECUENCIA REGIONAL ZONA HOMOGENEA NIVAL "Wn"
CUENCAS VI REGIÓN

T	Q(T)/Q(10)		
	Media	**Máx.**	**Mín.**
2	0,65	0,77	0,57
5	0,87	0,92	0,83
10	1	1	1
15	1,10	1,10	1,10
20	1,12	1,15	1,07
25	1,16	1,2	1,1
50	1,27	1,35	1,16
75	1,33	1,43	1,2
100	1,36	1,47	1,21

CARACTERÍSTICAS CUENCA APORTANTE

Embalse	Área nival (km^2)	Latitud media (·C)	Q(10) (m^3/s)
Los Sapos	5,56	34,1	1,09

CAUDAL MÁXIMO MEDIO DIARIO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m^3/s)	Los Sapos
2	0,84
5	1,12
10	1,29
15	1,42
20	1,44
25	1,49
50	1,64
75	1,71
100	1,75

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m^3/s)	Los Sapos
2	0,99
5	1,19
10	1,29
15	1,42
20	1,48
25	1,55
50	1,74
75	1,84
100	1,89

- **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, se obtienen extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, y son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Los Sapos	3,00	3,51	3,89

Por la falta de otros métodos de cálculo y debido a la pequeña extensión de algunas cuencas, para la obtención de resultados se consultó la frecuencia máxima Q(T)/Q(10) que también se utiliza para caracterizar cuencas pluviales.

Finalmente la expresión queda de la siguiente forma:

$$Q(T) = \beta \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T, y el coeficiente β es igual a 1,18.

CURVA DE FRECUENCIA REGIONAL ZONA HOMOGENEA NIVAL "Wn"
CUENCAS VI REGIÓN

T	Q(T)/Q(10)		
	Media	**Máx.**	**Mín.**
2	0,65	0,77	0,57
5	0,87	0,92	0,83
10	1	1	1
15	1,10	1,10	1,10
20	1,12	1,15	1,07
25	1,16	1,2	1,1
50	1,27	1,35	1,16
75	1,33	1,43	1,2
100	1,36	1,47	1,21

CARACTERÍSTICAS CUENCA APORTANTE

Embalse	Área nival (km^2)	Latitud media (·C)	Q(10) (m^3/s)
Los Sapos	5,56	34,1	1,09

CAUDAL MÁXIMO MEDIO DIARIO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m^3/s)	Los Sapos
2	0,84
5	1,12
10	1,29
15	1,42
20	1,44
25	1,49
50	1,64
75	1,71
100	1,75

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m^3/s)	Los Sapos
2	0,99
5	1,19
10	1,29
15	1,42
20	1,48
25	1,55
50	1,74
75	1,84
100	1,89

- **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, se obtienen extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, y son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Los Sapos	3,00	3,51	3,89

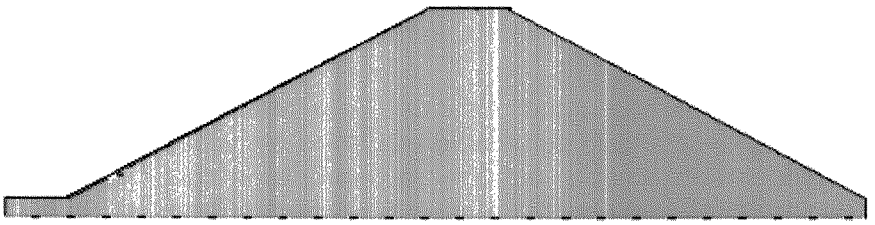
1.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla limo arenosa (con gravas aisladas), cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

MURO 1	
Altura:	24,0 m
Ancho coronamiento	7,0 m
Borde libre	1,8 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 2,75 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,88 : 1
MURO 2	
Altura:	7,0 m
Ancho coronamiento	7,1 m
Borde libre	1,8 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 2,75 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,73 : 1
MURO 3	
Altura:	12,0 m
Ancho coronamiento	7,1 m
Borde libre	1,8 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 2,75 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,73 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 1.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (T/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 25°	1,0	1,90	2,10

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 1.4-1
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

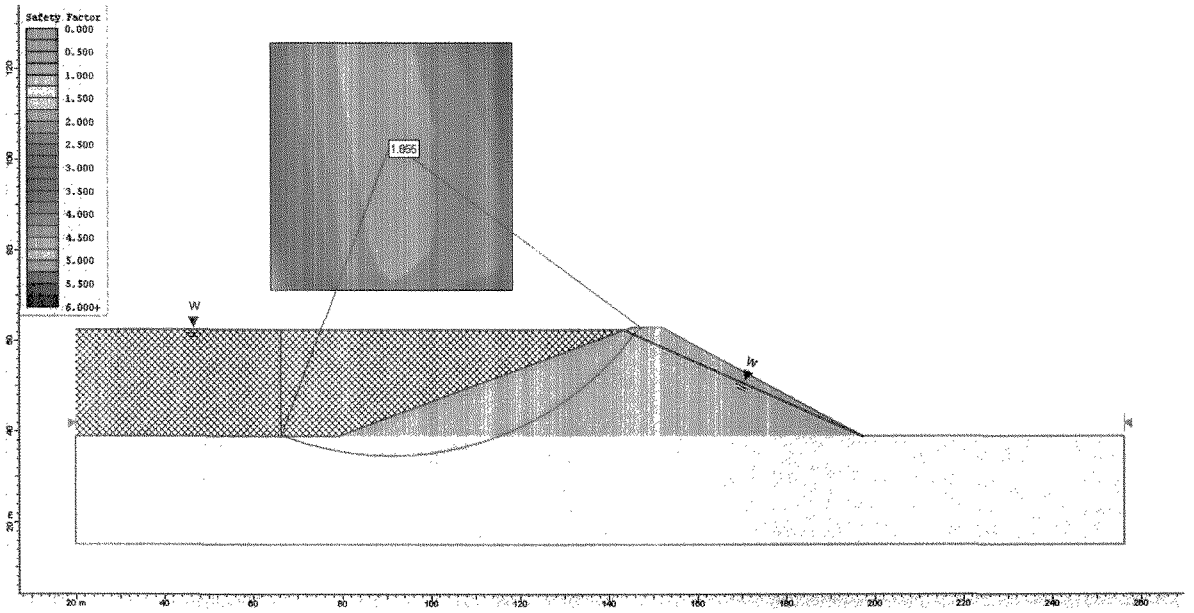


FIGURA 1.4-2
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

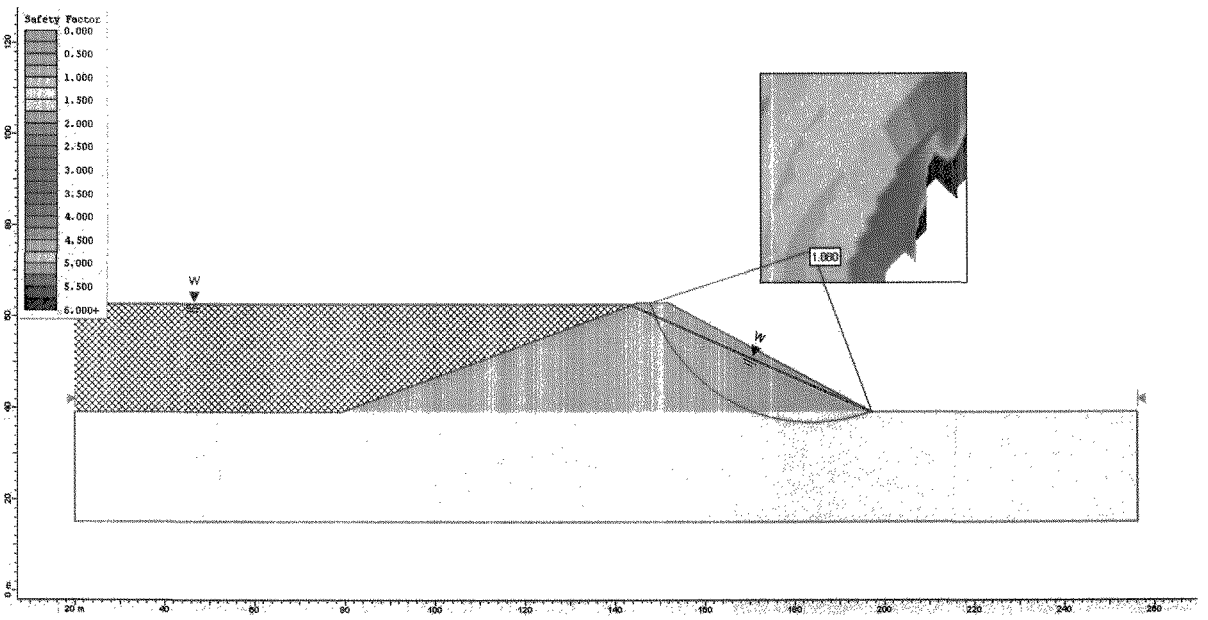


FIGURA 1.4-3
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

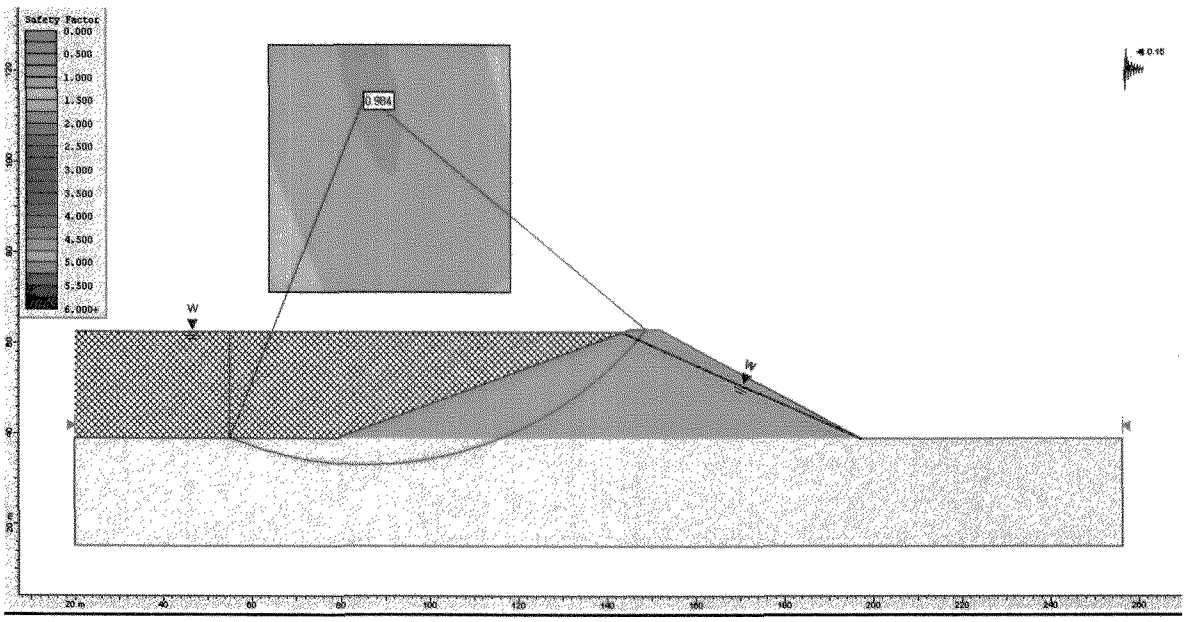


FIGURA 1.4-4
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

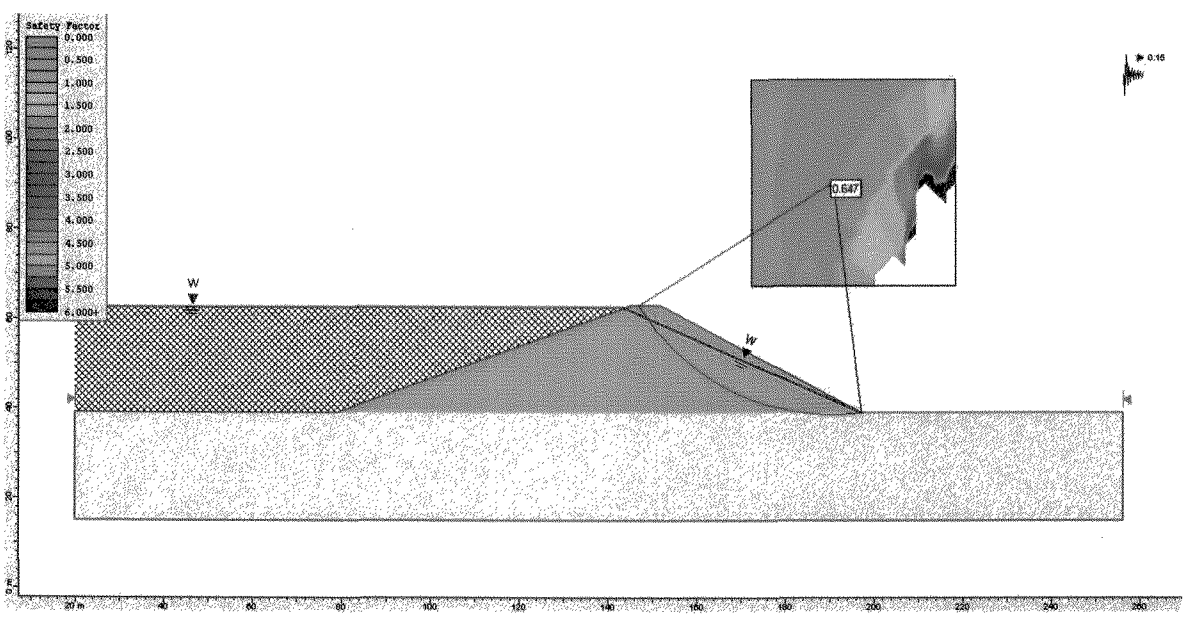


FIGURA 1.4-5
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

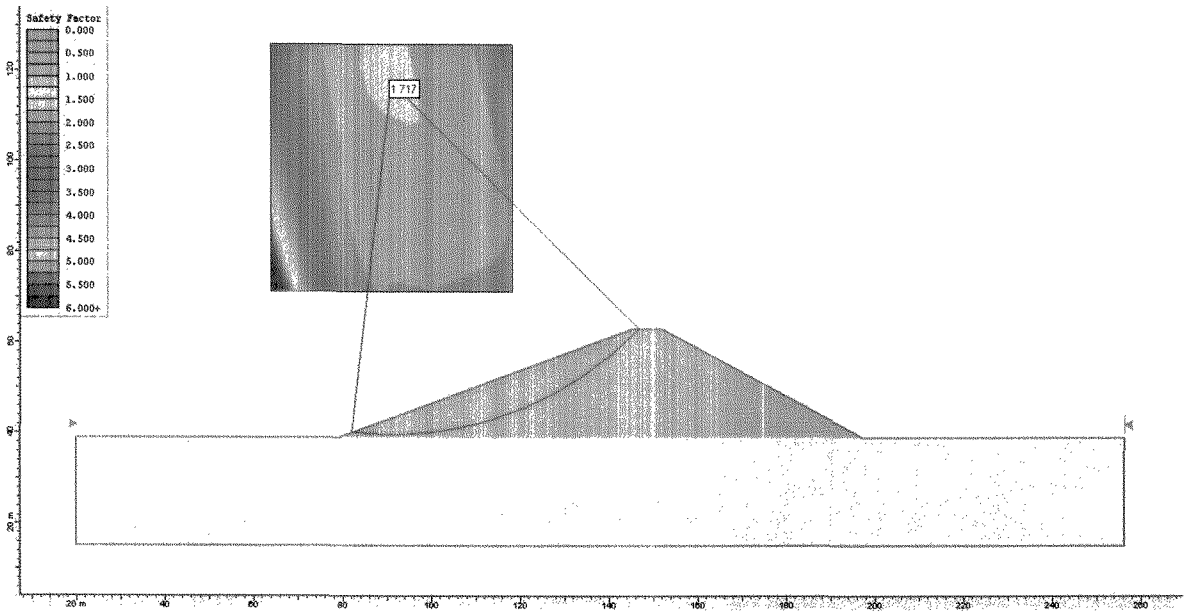


FIGURA 1.4-6
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

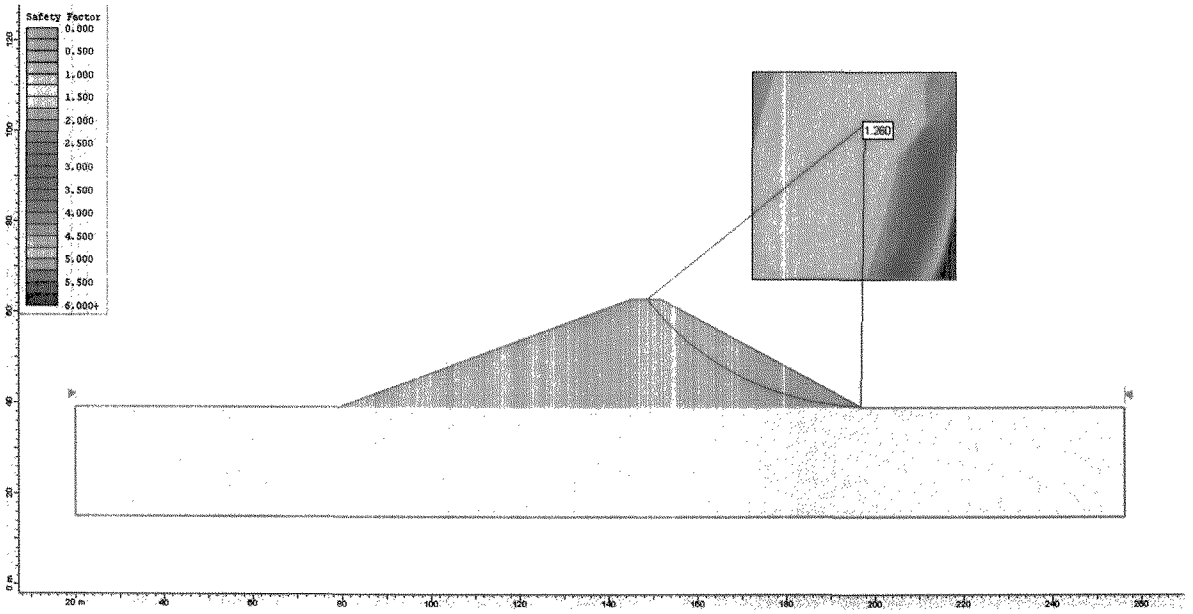


FIGURA 1.4-7
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

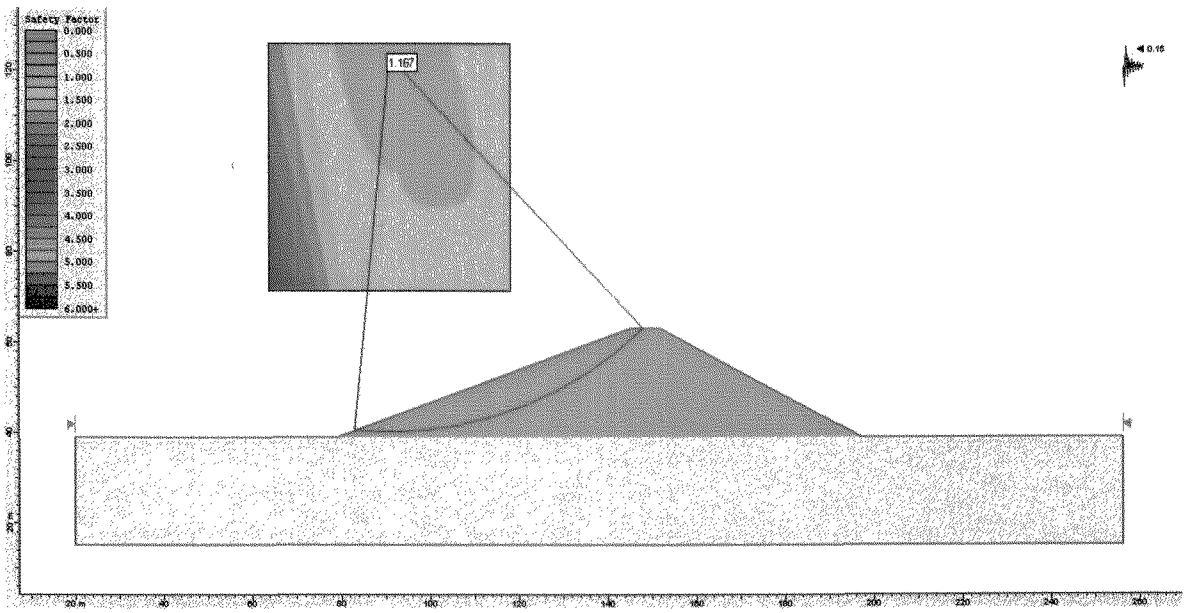


FIGURA 1.4-8
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA

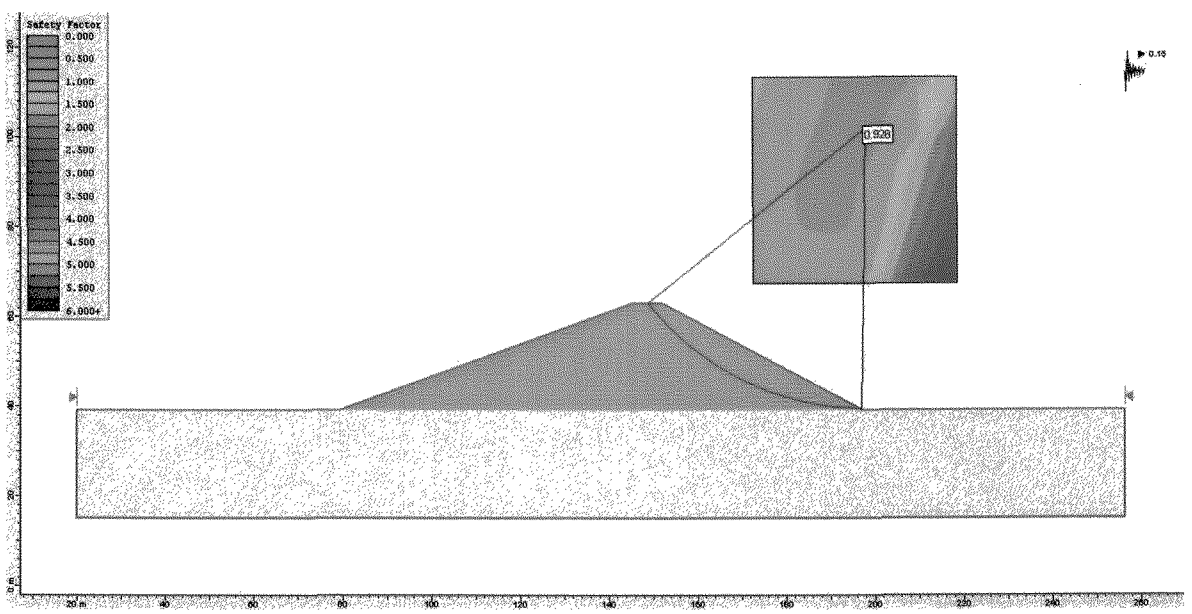


FIGURA 1.4-9
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

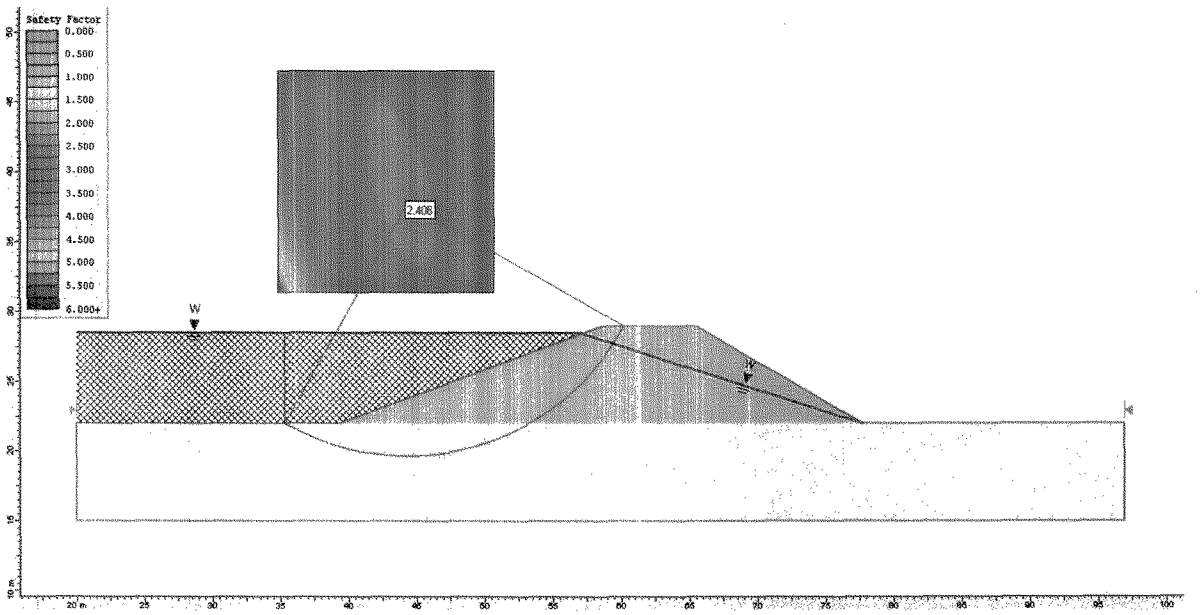


FIGURA 1.4-10
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

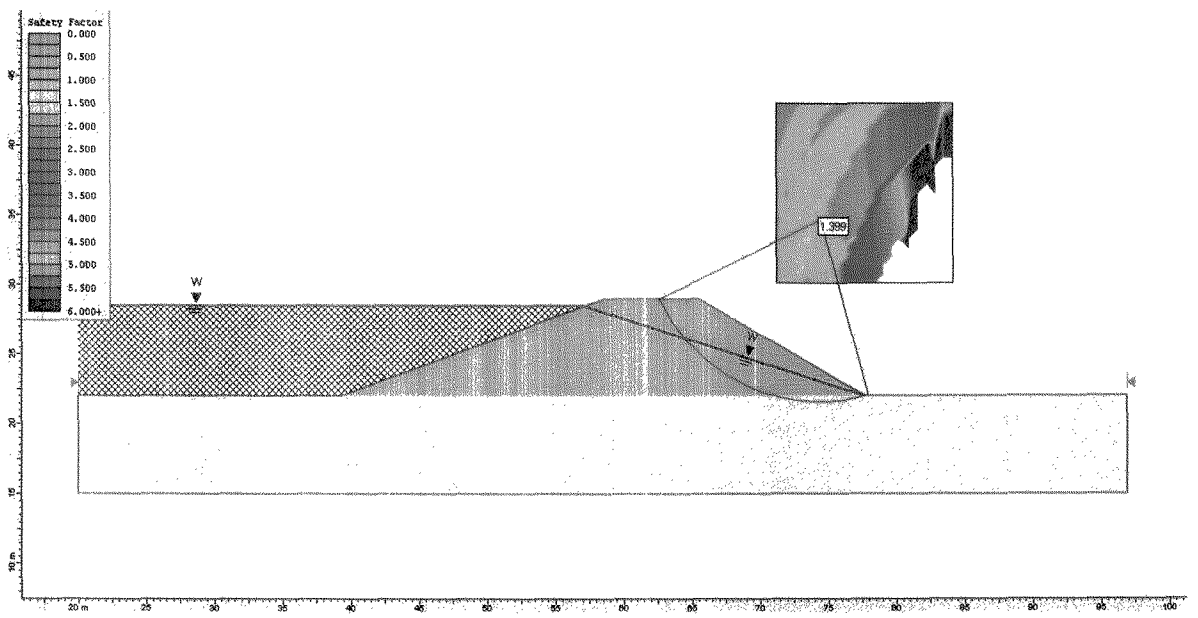


FIGURA 1.4-11
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

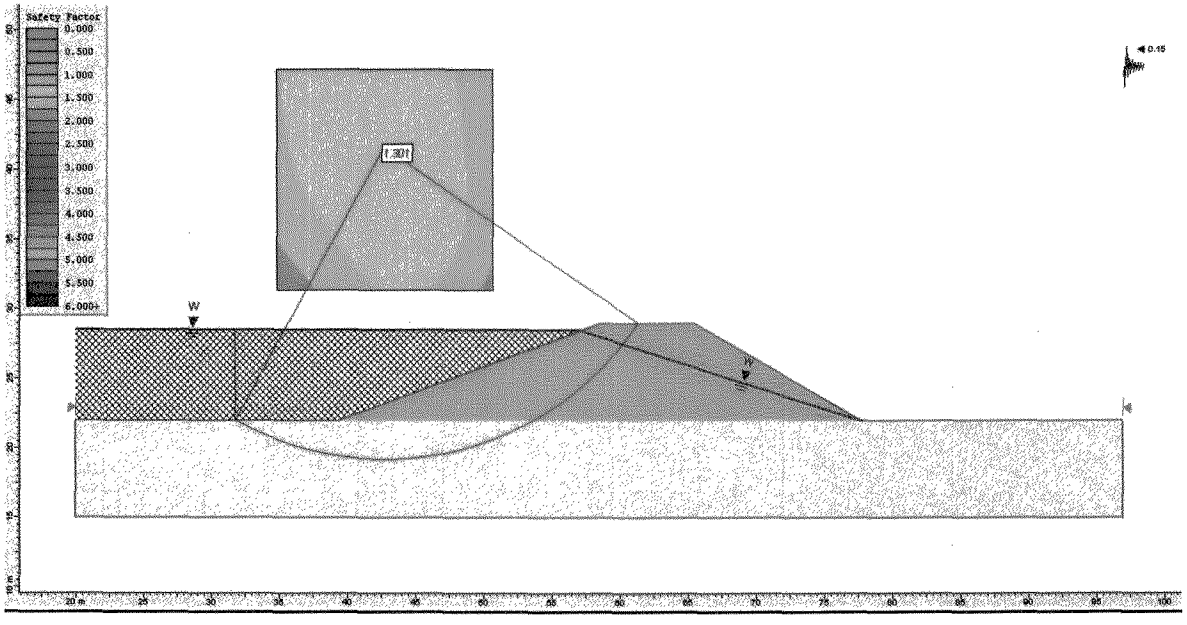


FIGURA 1.4-12
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

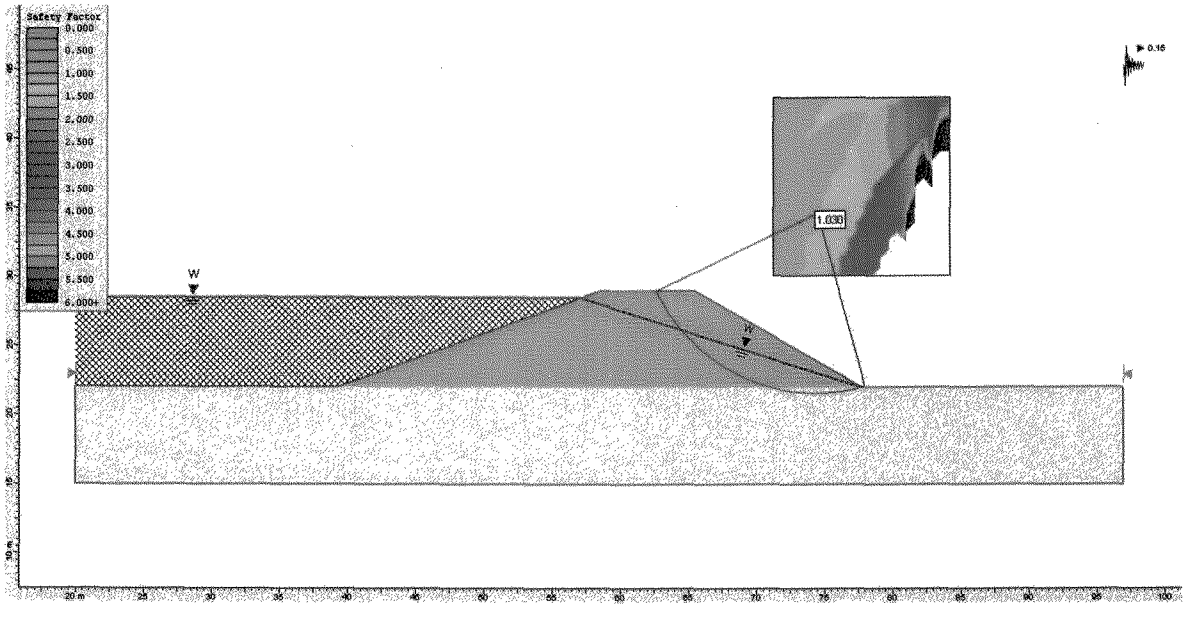


FIGURA 1.4-13
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

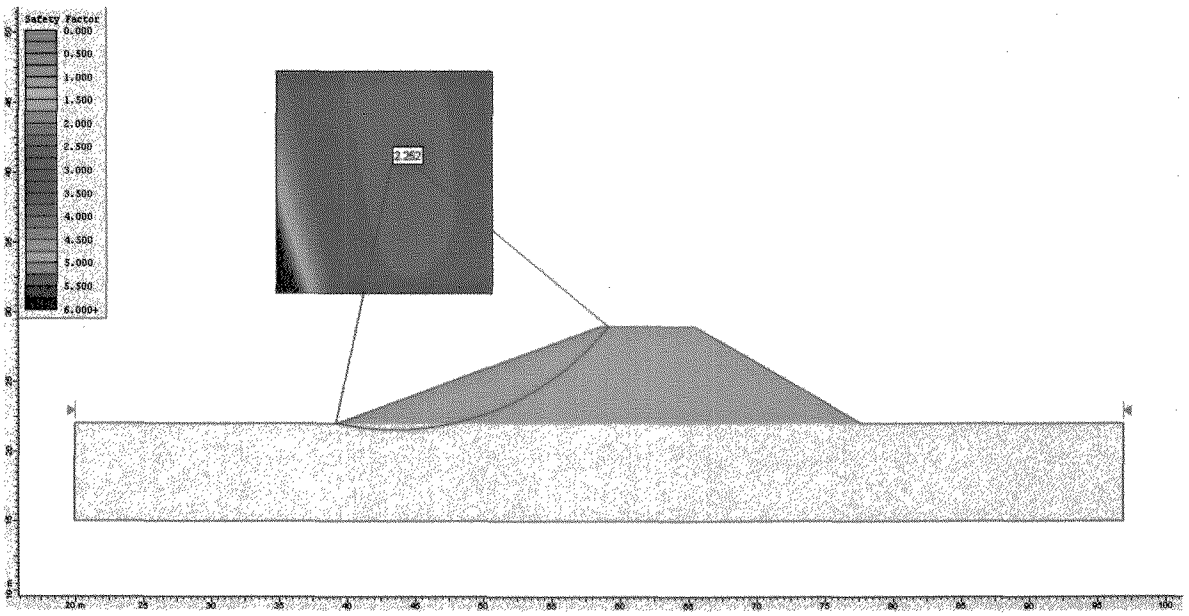


FIGURA 1.4-14
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

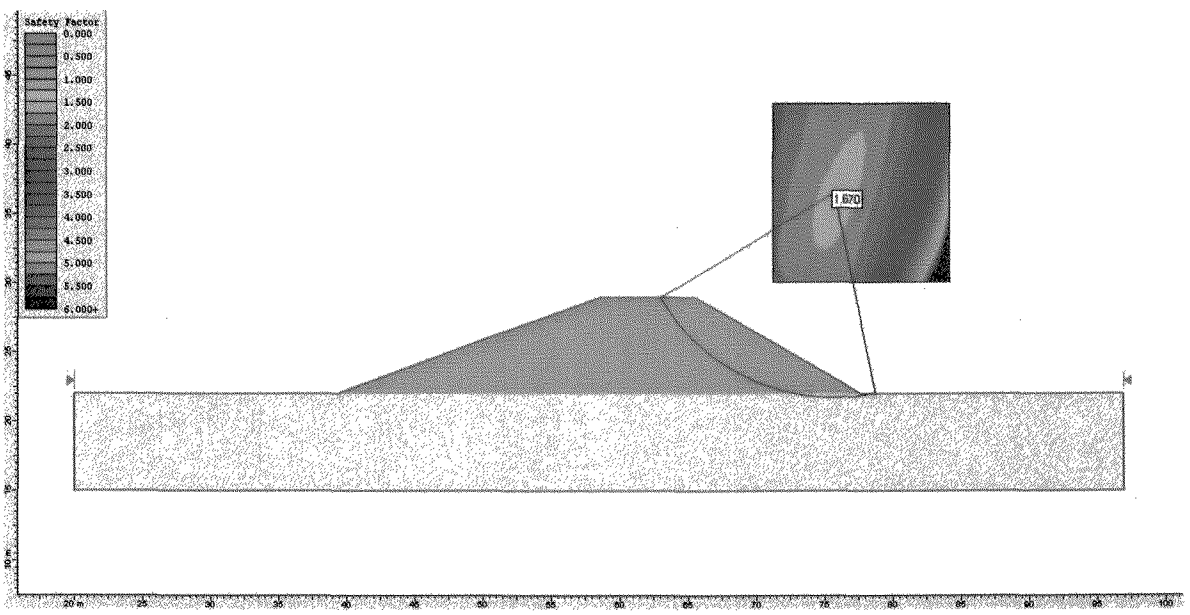


FIGURA 1.4-15
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

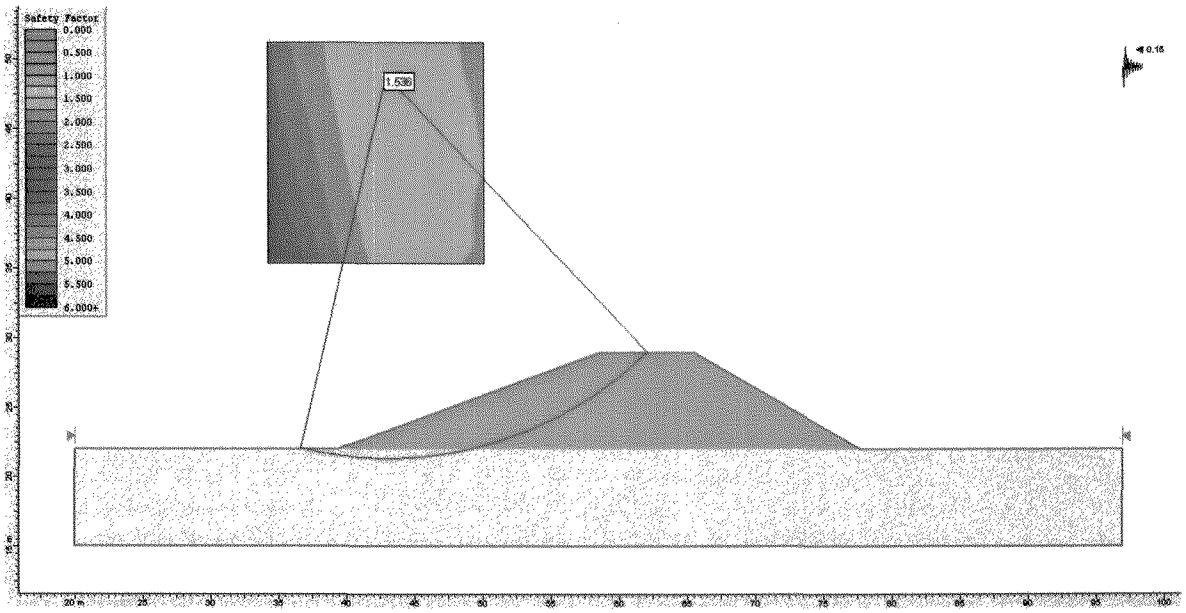


FIGURA 1.4-16
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA

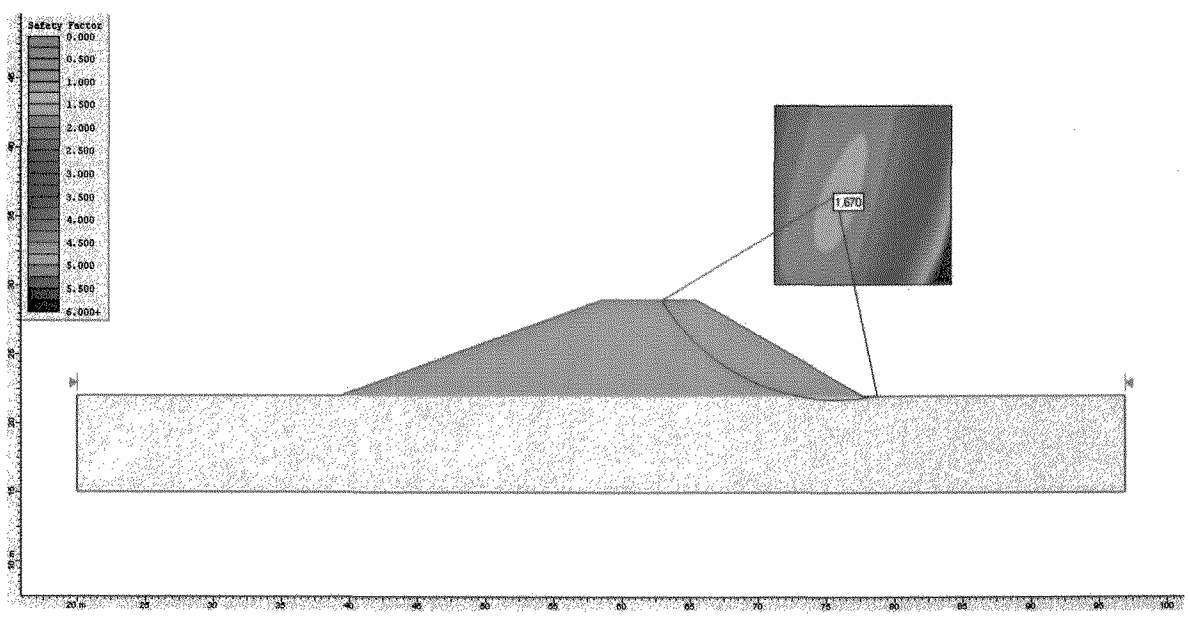


FIGURA 1.4-17
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

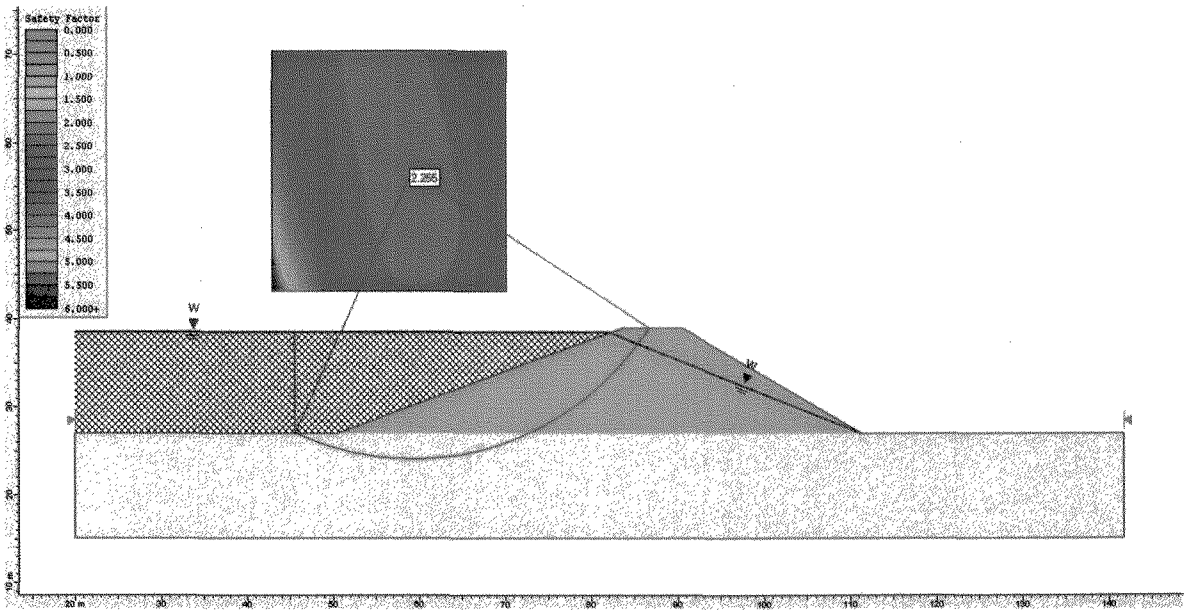


FIGURA 1.4-18
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

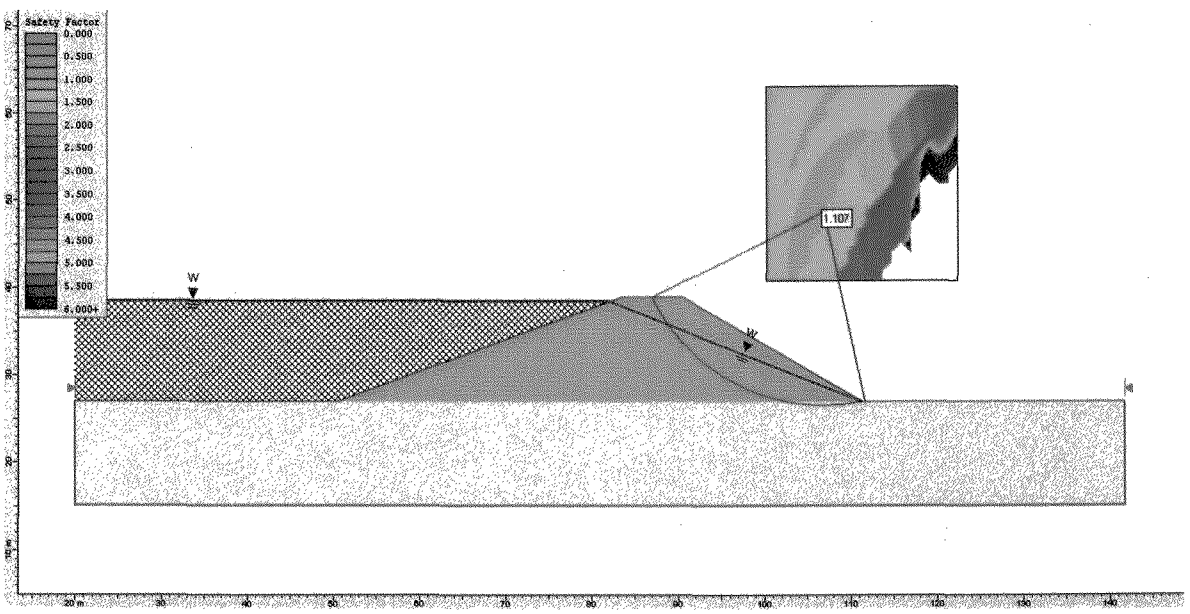


FIGURA 1.4-19
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

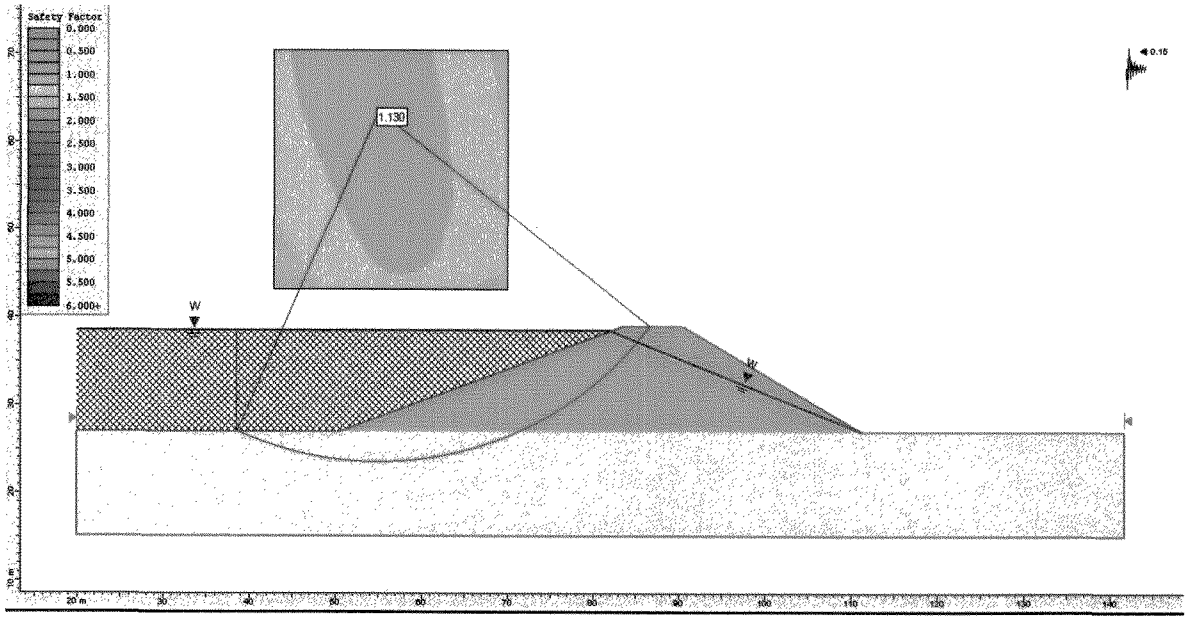


FIGURA 1.4-20
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

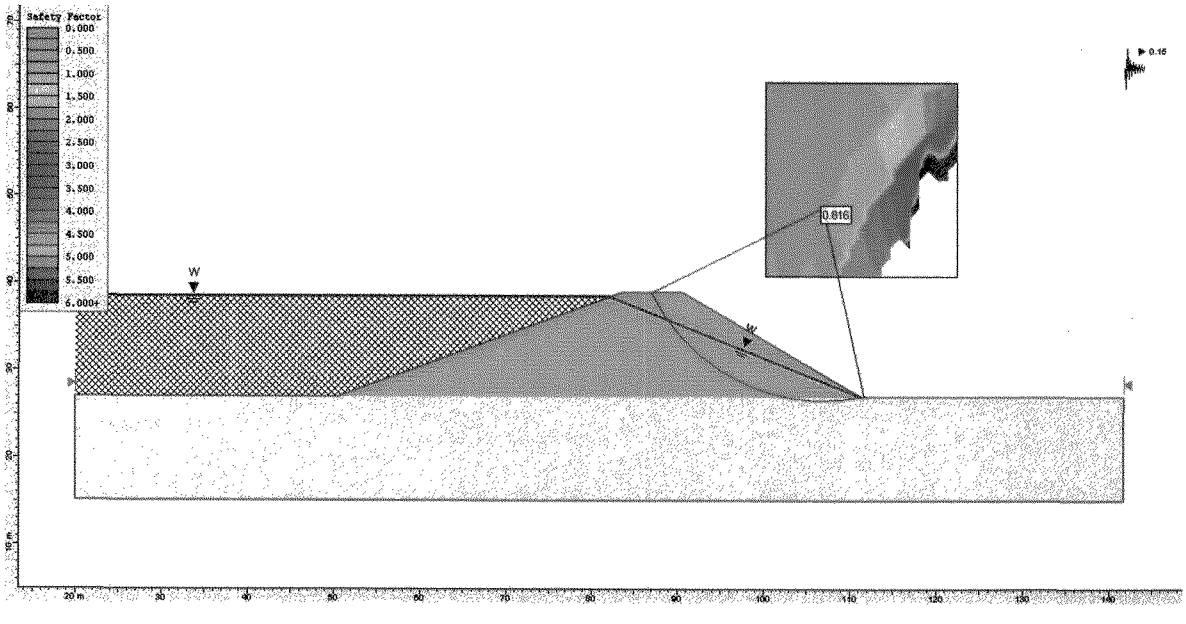


FIGURA 1.4-21
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

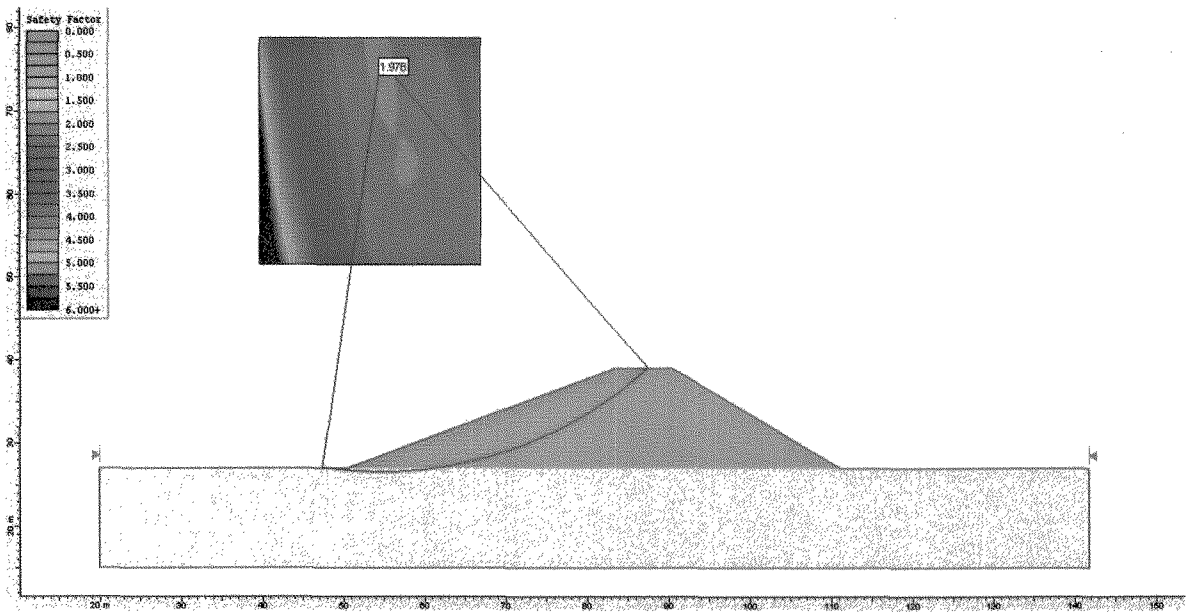


FIGURA 1.4-22
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

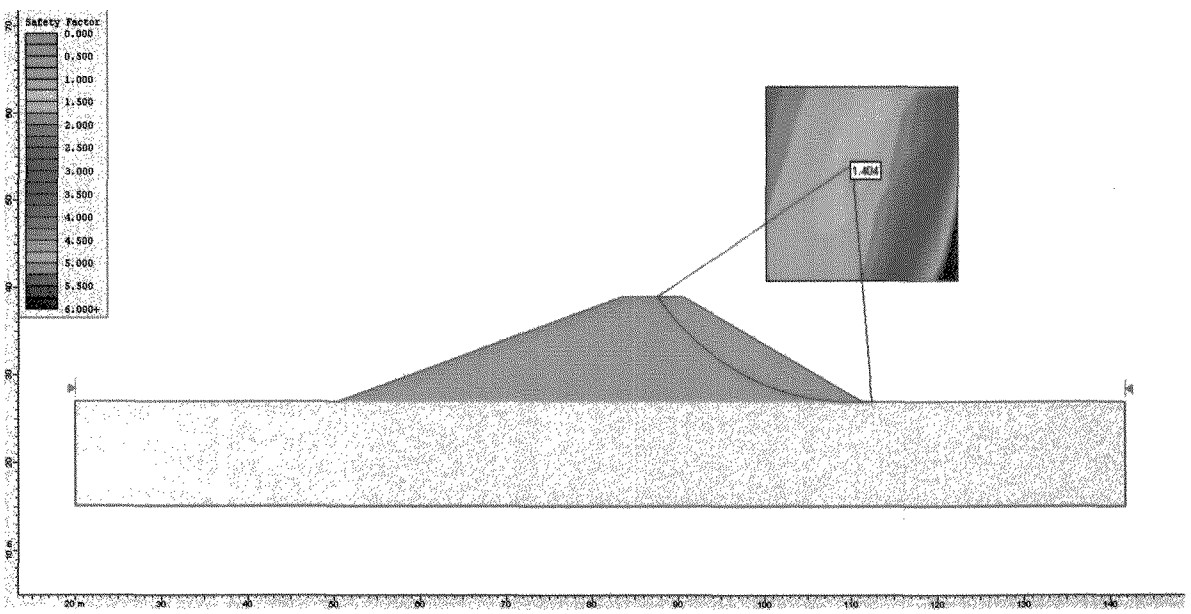


FIGURA 1.4-23
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

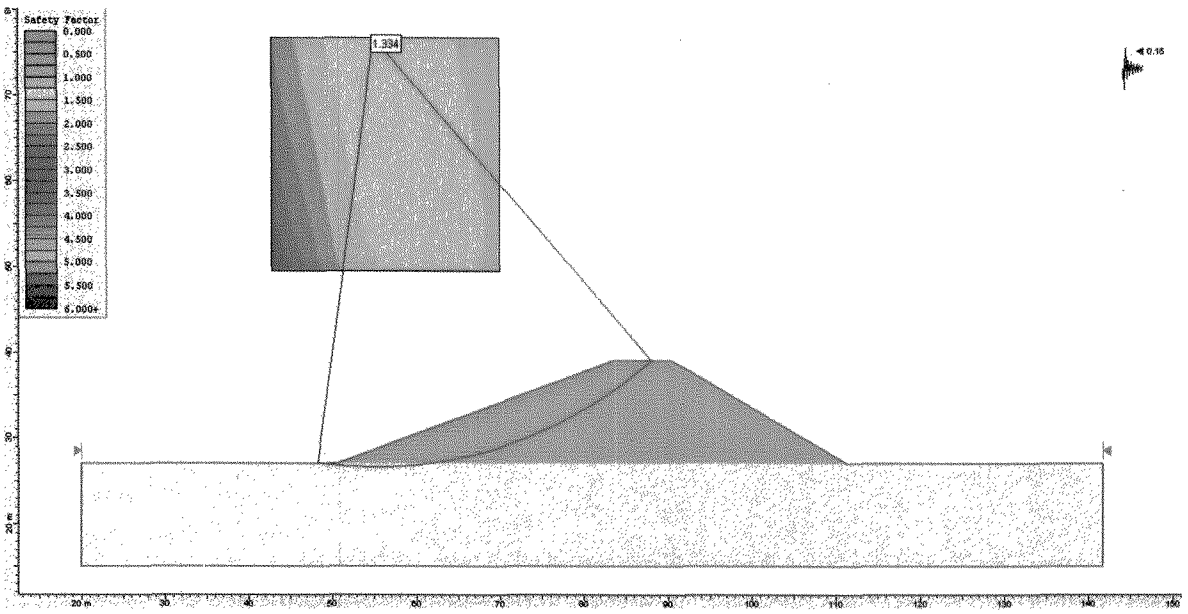
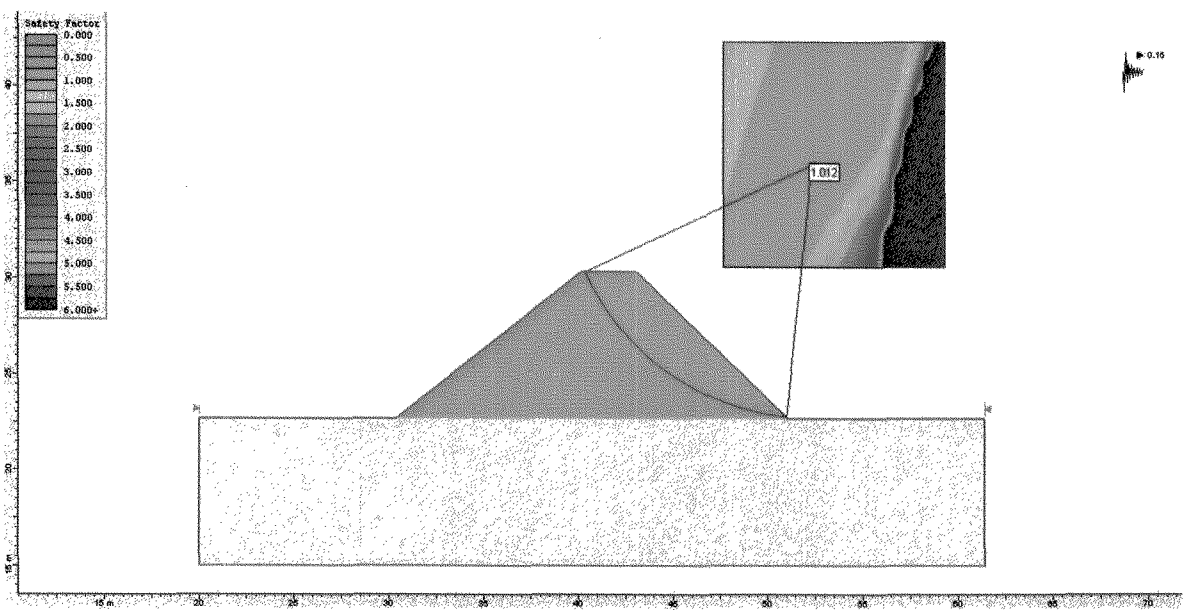


FIGURA 1.4-24
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 1.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES
LOS SAPOS

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
Los Sapos	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Muro 1	1,855	1,080	0,984	0,647
Muro 2	2,406	1,399	1,301	1,030
Muro 3	2,114	1,107	1,130	0,816

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
Los Sapos	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Muro 1	1,717	1,260	1,167	0,928
Muro 2	2,252	1,670	1,536	1,670
Muro 3	1,978	1,404	1,334	1,012

1.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque Los ***Sapos***, se tiene:

	Muro 1	Muro 2	Muro 3	
Lh (m) =	118,1	38,5	60,9	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	0	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,8	1,8	1,8	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	22,2	5,2	10,2	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso, para el muro M1, **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
LOS SAPOS M1	118,1	0	39,37	24,0	1,8	22,2	1,80	40,0	No

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso, para los muros M2 y M3, **SÍ** se cumple la relación, por lo tanto, **NO** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en las tablas siguientes.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
LOS SAPOS M2	38,5	0	12,82	7,0	1,8	5,2	1,80	9,4	Si

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
LOS SAPOS M3	60,9	0	20,29	12,0	1,8	10,2	1,80	18,4	Si

1.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Los Sapos.

LOS SAPOS
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea N°	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	°			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	442	0,2746	0,1517
2	36	0,8090	0,6545	526	0,3268	0,2139
3	30	0,8660	0,7500	680	0,4225	0,3169
4	24	0,9135	0,8346	718	0,4461	0,3723
5	18	0,9511	0,9045	928	0,5766	0,5216
6	12	0,9781	0,9568	878	0,5456	0,5220
7	6	0,9945	0,9891	880	0,5468	0,5408
8	0	1,0000	1,0000	**1040**	0,6462	0,6462
9	6	0,9945	0,9891	534	0,3318	0,3282
10	12	0,9781	0,9568	539	0,3349	0,3204
11	18	0,9511	0,9045	563	0,3498	0,3164
12	24	0,9135	0,8346	594	0,3691	0,3080
13	30	0,8660	0,7500	485	0,3014	0,2260
14	36	0,8090	0,6545	373	0,2318	0,1517
15	42	0,7431	0,5523	349	0,2169	0,1198
	Suma	**13,5109**			Suma	**5,0560**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,374 millas
F = 602,24 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,64	0,8033
Molitor	2,45	0,7477
Creager	1,33	0,4063
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de 1,80 m, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

1.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

1.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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		
		Muro 1	Muro 2	Muro 3
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	0,2		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			

1.7.2 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 evacuación: **3,02** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,336 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **1,015** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	0,00	0	3,00	0,95
0,002	0,00	0	3,51	0,95
0,0010	0,00	0	3,89	0,95

1.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado		
		Muro 1	Muro 2	Muro 3
Sin humedad al pie	0,05		0,05	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	0,2		
Si existe sistema de drenaje	0			
Si el material es cohesivo	0,05			

1.7.4 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	0,5
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

1.7.5 Riesgo

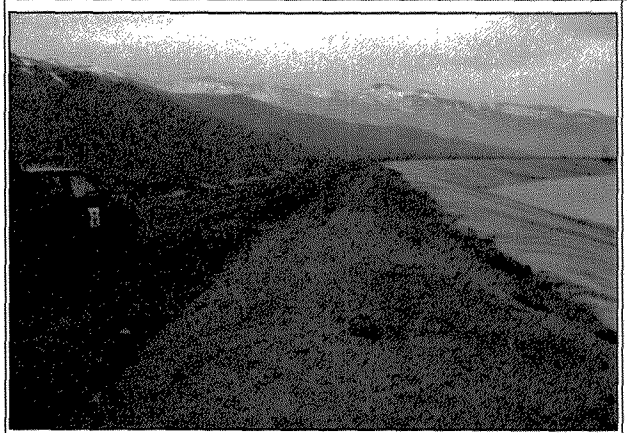
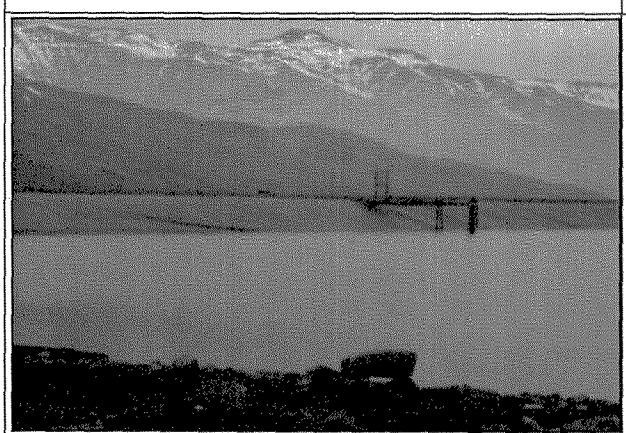
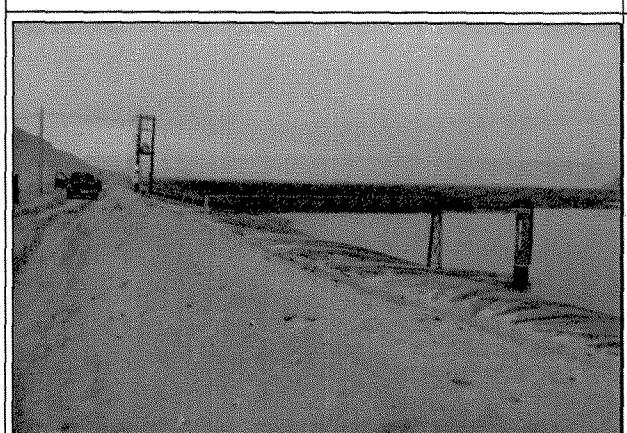
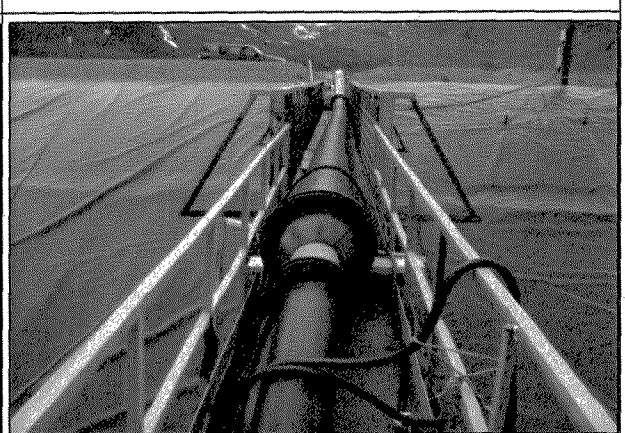
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

Riesgo	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Muro 1	0,80	0,00	0,00	0,00	0,48	0,19	0,10	2,00
Muro 2	0,20	0,00	0,00	0,00	0,48	0,19	0,10	0,25
Muro 3	0,80	0,00	0,00	0,00	0,48	0,19	0,10	1,50

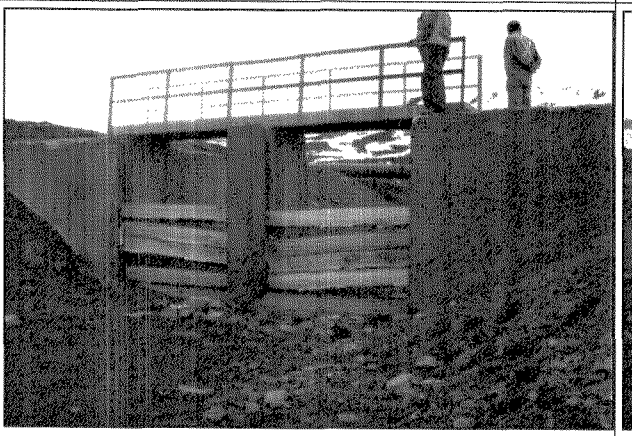
Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico para los muros 1 y 3, y por escorrentía en el muro 2.

1.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

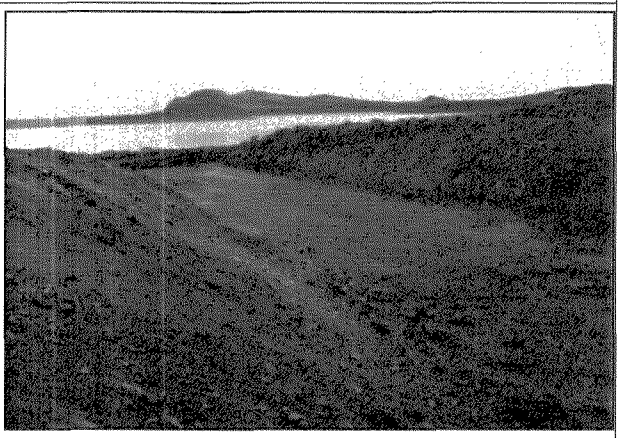
A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Los Sapos.

VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO	VISTA MURO HACIA ESTRIBO DERECHO
	
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA	VISTA TALUD AGUAS ABAJO
	
OBRA DE ENTREGA	OBRA DE ENTREGA
	

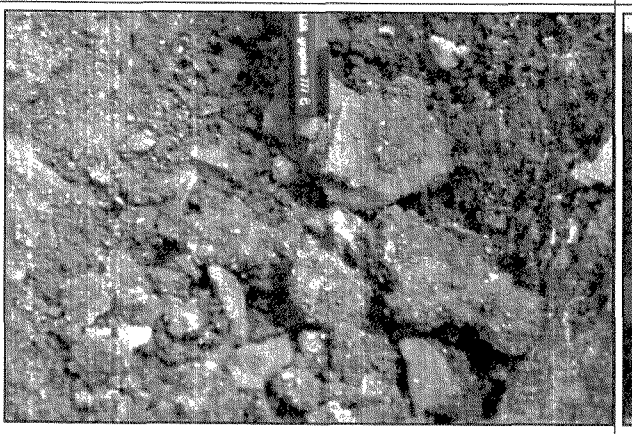
EVACUADOR DE CRECIDAS



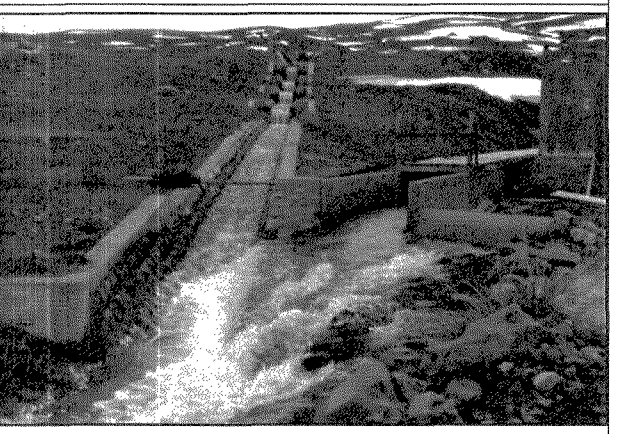
EVACUADOR DE CRECIDAS



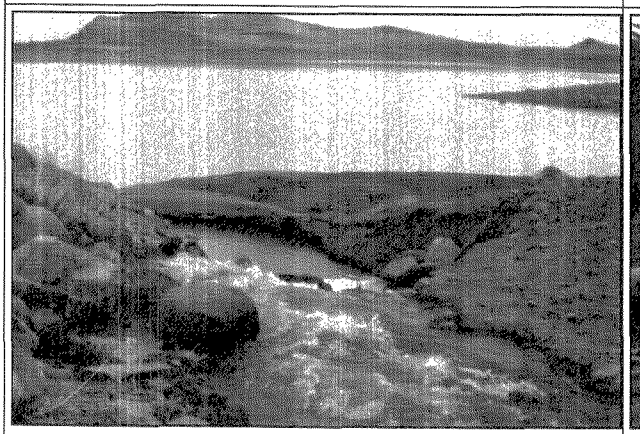
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



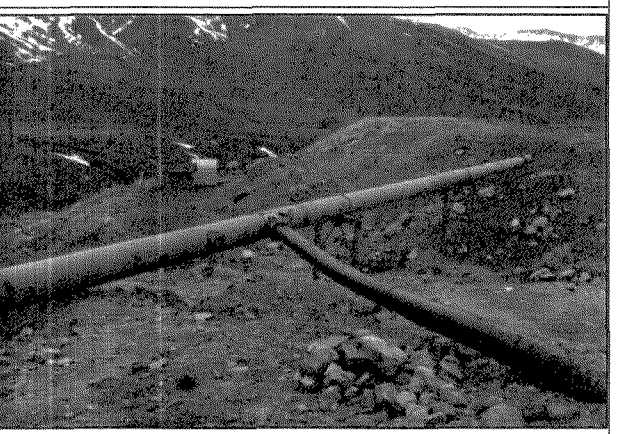
CANAL DE TOMA

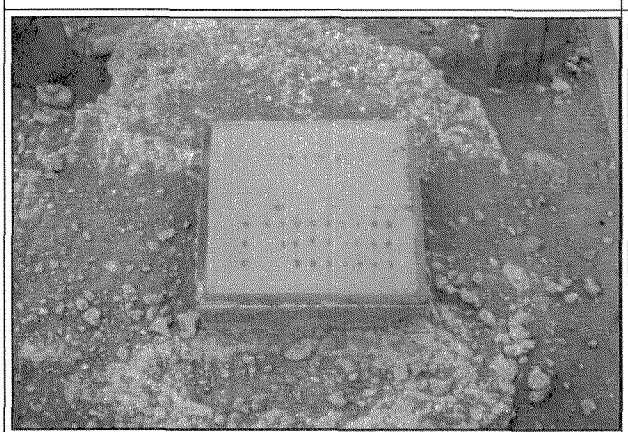
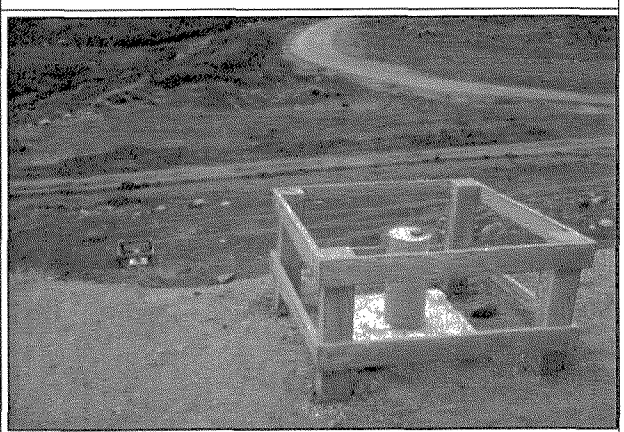
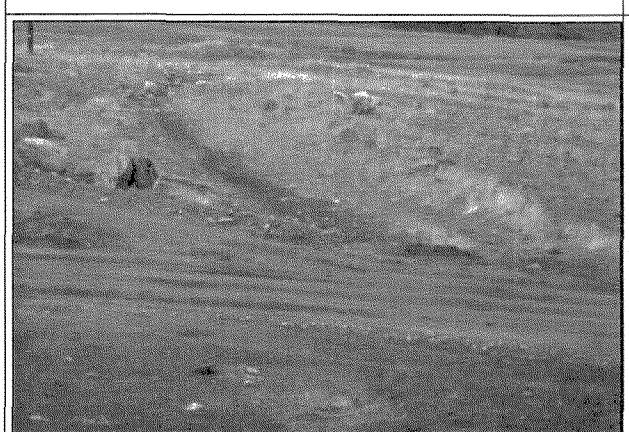


CANAL DE TOMA



OBRAS DE ENTREGA



OBRAS DE ENTREGA	PARAMENTOS VERTICALES
	
MEDICION DE ASENTAMIENTOS EN CORONAMIENTO DEL MURO	TUBOS PARA PIEZOMETROS EN CORONAMIENTO Y TALUD DEL MURO
	
FILTRACIONES AL PIE DEL MURO	FILTRACIONES AL PIE DEL MURO
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Los Sapos - Muro 1
Propietario	Codelco Chile, División El Teniente
RUT Propietario	61.704.000-K
Año de construcción	1962
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	1969 - 1990
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Coya
Fuente del recurso	Estero Sapos

Nº de ficha	1.1
Fecha (dd/mm/año)	22-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	Machalí	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.229.978	E = 367.162
Coordenadas UTM Centro	N = 6.230.229	E = 367.337
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.229.627	E = 367.219
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m.	ED = 2.228 ; C = 2.229 ; EI = 2.228	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

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

"x" indica el uso o destino del embalse

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

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	785		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 7,00 ;	C = 6,50 ;	EI = 7,50
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	24 (altura de muro)		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,8		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 30° ;	C = 30° ;	EI = 25°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 20° ;	C = 20° ;	EI = 20°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	24
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	22,2
Área estimada o calculada de la poza (m2)	588.600
Ancho máximo de la poza (km)	0,54
Largo de la poza (km)	1,09
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	6,0

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N=6.230.229 E= 367.337	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Limo Arenosa (gravas aisladas)

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Geometría irregular debido a diversos quiebres en el muro (ver monografía)
Compacidad del material estructural	Media - Alta
Uniformidad de los taludes	Uniformes en ambos taludes
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 presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Si, en varios sectores a lo largo del muro que son controlados por bombas
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada, aguas arriba tiene membrana de pvc, aguas abajo solo tierra

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
Vertederos libres, sin control	
Vertederos controlados por compuertas	X

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	Vertedero frontal con compuertas de madera, y canal en tierra antes y después
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	En buen estado y operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Largo 3,0 m ; ancho 5,0 m, Alto 2,70 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

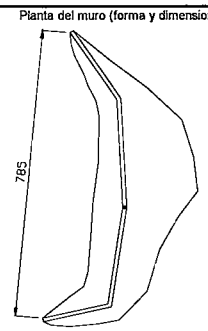
Tipo de estructura	Torre de hormigón con tubería de Fierro y PVC para la extracción de las aguas
Mediciones estructurales	Diámetro interior 1,00 m ; Altura 19,0 m
Funcionamiento actual	En buen estado, funcionando

10. CARACTERIZACION 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	Cauce natural, terreno montañosos, pendiente media 6,4%, ancho medio 15 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	6,93 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	5,66 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Alta
Distancia hacia zonas agrícolas	No hay zonas agrícolas en las cercanías al tranque
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Camino por el pie del muro
Área de riego servida por el tranque analizado	No hay áreas de riego servidas por el tranque

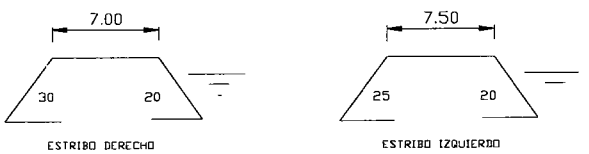
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)

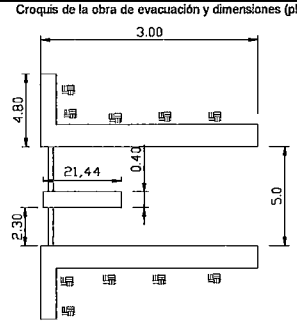


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

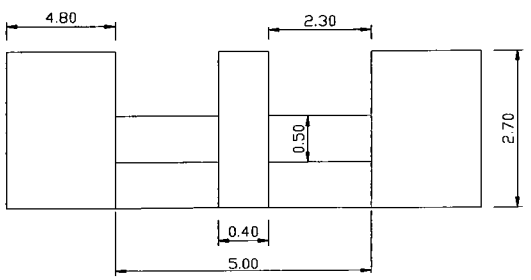
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha. indicando sus taludes respecto a



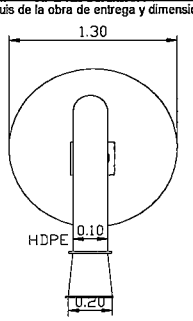
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



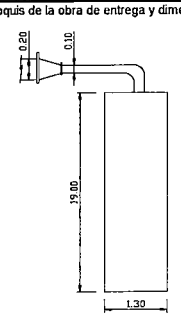
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

Muro peraltado en dos ocasiones : 1969 desde cota 2.212,5 m.s.n.m. a cota 2.216,5 m.s.n.m con altura de 4 m; el segundo peralte entre los años 1989-1990 desde cota 2.216,5 m.s.n.m. a cota 2.223,5 m.s.n.m. con altura de 7 m

A los pies del muro se observan abundantes filtraciones , las cuales son controladas por piezómetros ubicados a lo largo del muro

A lo largo de los muros se encuentra ubicados los siguientes instrumentos : 11 piezómetros Casagrande, 7 monolitos de asentamiento, 3 acelerógrafos, 1 limnímetro de nivel de agua

Durante su vida útil, el embalse Los Sapos ha presentado problemas de filtraciones en diferentes puntos, que al parecer no han afectado mayormente su estabilidad, pero que habrían significado pérdidas importantes de agua. Por esta razón, la presa se revistió con geomembrana recientemente, la que no ha permitido cortar por completo las filtraciones, pero sí ha contribuido a disminuirlas. También, se aprovechó de equipar la presa con elementos de control, principalmente de piezometría por los coronamientos y por los taludes de aguas abajo, así como también de control de desplazamientos mediante la construcción de monolitos y construcción de aforadores de caudales de filtración. También, dispone de un limnímetro para el control de la cota del nivel de las aguas. Todos estos elementos son muy útiles. (ver fotografías).

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Los Sapos - Muro 3
Propietario	Codelco Chile, División El Teniente
RUT Propietario	61.704.000-K
Año de construcción	1962
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	1989 - 1990
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Coya
Fuente del recurso	Estero Sapos

Nº de ficha	1
Fecha (dd/mm/año)	22/10/2009

Cumplimiento Art. 294 del Código de Aguas	✓
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	Machali	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.229.708	E = 366.922
Coordenadas UTM Centro	N = 6.230.712	E = 366.864
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.229.810	E = 366.742
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m.	ED = 2.226 ; C = 2.226 ; EI = 2.229	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

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

"x" indica el uso o destino del embalse

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 (m)	785		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 7,00 ;	C = 7,00 ;	EI = 7,20
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	12 (altura de muro)		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,8		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 30° ;	C = 30° ;	EI = 30°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 20° ;	C = 20° ;	EI = 20°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

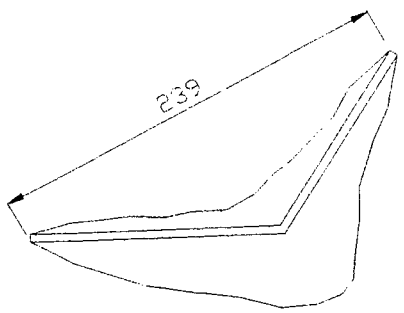
7. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Geometria regular
Compacidad del material estructural	Media - Alta
Uniformidad de los taludes	Uniformes en ambos taludes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se aprecian depresiones 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 presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Si, en varios sectores a lo largo del muro que son controlados por bombas
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada. aguas arriba tiene membrana de pvc, aguas abajo solo tierra

10. CARACTERIZACION 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	Cauce natural, terreno montañosos, pendiente media 6,4%, ancho medio 15 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	8,93 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	5,66 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Alta
Distancia hacia zonas agrícolas	No hay zonas agrícolas en las cercanías al tranque
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Camino por el pie del muro
Área de riego servida por el tranque analizado	No hay áreas de riego servidas por el tranque

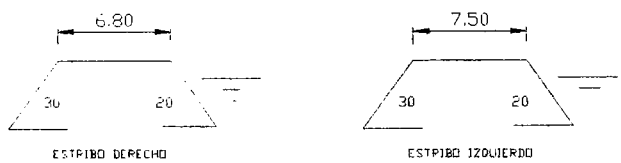
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)



Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



12. OBSERVACIONES

Este muro se encuentra separado del muro 2 por un pequeño monticulo de tierra natural que se interna en la poza

A los pies del muro se observan abundantes filtraciones , las cuales son controladas por piezometros ubicados a lo largo del muro

A lo largo del muro se encuentran ubicados monolitos de control de asentamientos

En las cercanias del estribo izquierdo se encuentran las regletas de medicion de altura de agua en la poza (en m.s.n.m.)

EMBALSE LOS MAQUIS

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

2. EMBALSE LOS MAQUIS

2.1 Ubicación

2.2 Características Generales

2.3 Crecidas Afluentes al Embalse

- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

2.4 Análisis de Estabilidad

- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

2.5 Determinación de Filtraciones

2.6 Verificación del Oleaje

2.7 Análisis de Riesgo (Hazop)

2.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

2. EMBALSE LOS MAQUIS

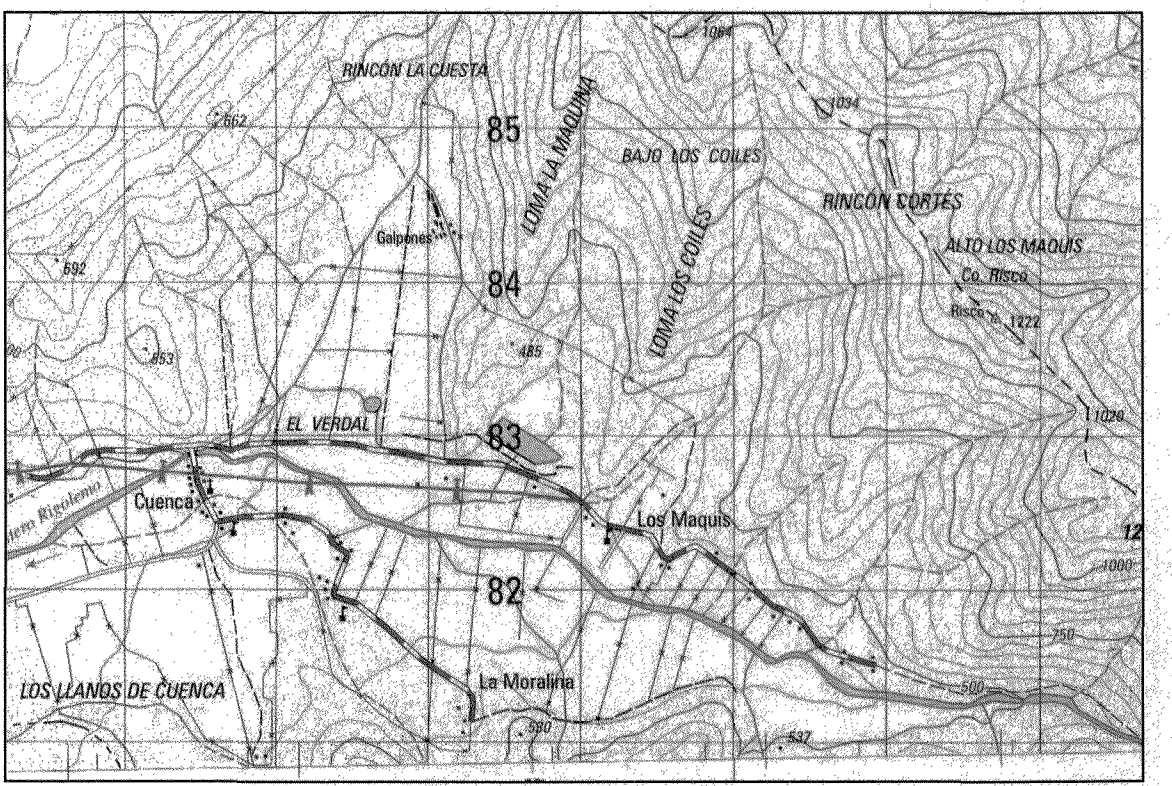
2.1 Ubicación

El embalse Los Maquis se ubica en la comuna de Malloa, provincia de Cachapoal, en las coordenadas UTM 6.182.844 Norte y 331.555 Este, Datum WGS 84. Se localiza en la cuenca de Rapel, subcuenca del estero Zamorano y la fuente corresponde al estero Rigolemo.

Acceso desde la Ruta 5 por desvío Pelequén hacia calle principal, luego hacia el sur 600 m aproximadamente, finalmente por ruta H-711, seguir por 8 km.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 2.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE LOS MAQUIS



Fuente: Carta IGM

2.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a la Comunidad Los Maquis. El uso y destino del embalse es de riego.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 0,384 hm^3. La altura máxima del muro es de 10,6 m, con una longitud de coronamiento de 531 m y ancho promedio del coronamiento de 3,0 m y borde libre de 0,80 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,43:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,48:1.

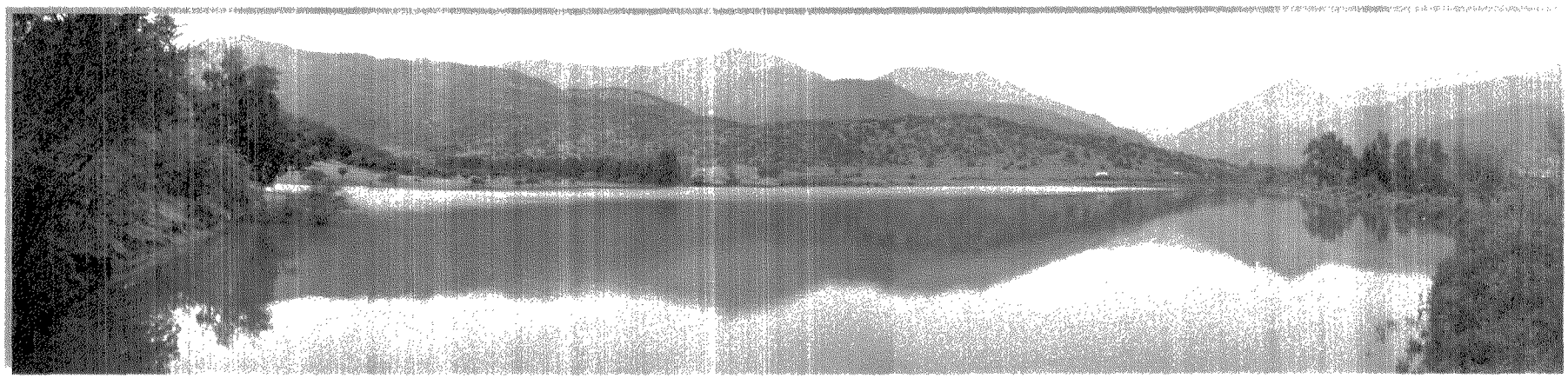
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal, libre sin control, con cajón de hormigón de 2,00 x 2,80 m y una altura de 2,80 m, el que descarga a un canal de tierra. Se encuentra en regular estado de conservación funcionando.

La ***obra de entrega*** corresponde a una estructura rectangular de hormigón armado de 1 x 1 m y una altura de 7,3 m, dentro de la cual sale una cañería por la base de 600 mm de diámetro. La obra se encuentra en buen estado y operativa.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 2.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE LOS MAQUIS





Vista panorámica Embalse Los Maquis

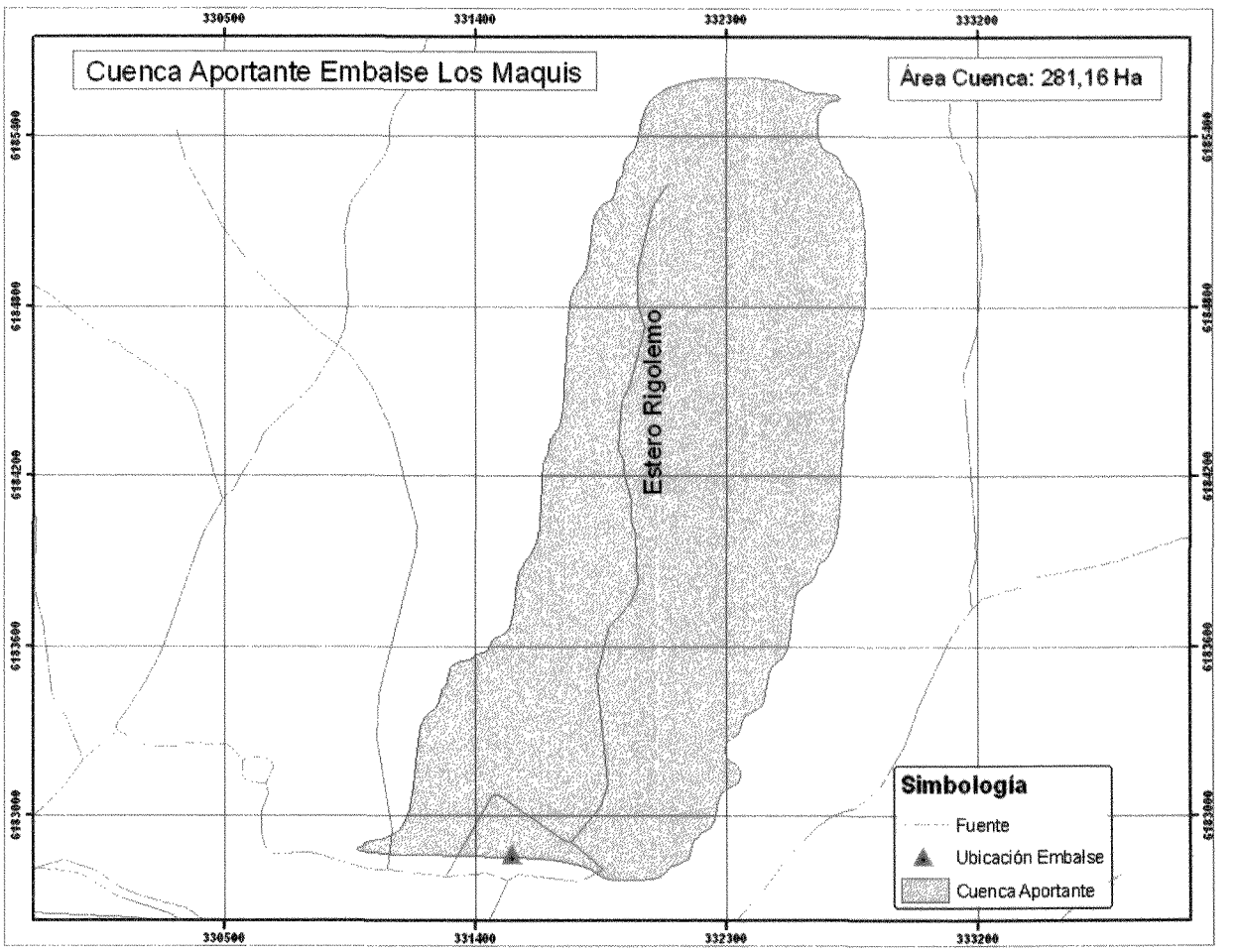
2.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Los Maquis tiene como fuente al estero Rigolemo, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 2,81 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 2.3-1
CUENCA EMBALSE LOS MAQUIS



CUADRO 2.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Los Maquis
SUPERFICIE (ha)	Total	281,2
	Pluvial	281,2
PERÍMETRO (m)	Total	9.660,0
	Pluvial	9.660,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	1.056,1
	Mínima	394,6
	Diferencia	661,5
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	33,7
	Cauce	16,3
LONGITUD CAUCE (km)	Total	3,22
	Desde centro de gravedad	1,61
CENTROIDE CUENCA	UTM E	331.889
	UTM N	6.183.970
	Altura (msnm)	465,8
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	332.022
	UTM N	6.183.938
	Altura (msnm)	462
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $$tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (hr)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (hr)
Los Maquis	0,30	1,71	0,02	0,43	0.43

➢ **Precipitaciones Máximas**

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HRS EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 hrs,T=10)	Zona CF
Los Maquis	San Fernando	0,088	83.7	Cachapoal

➢ **Caudales de Crecidas**

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Los Maquis	T=2	0,47	Cachapoal	0,64	5,21	1,14	4,48
	T=5	0,60	Cachapoal	0,86	6,95	1,63	7,63
	T=10	0,68	Cachapoal	0,98	7,93	2,77	9,86
	T=15	0,73	Cachapoal	1,06	8,58	3,29	11,49
	T=20	0,77	Cachapoal	1,13	9,15	3,75	12,88
	T=25	0,80	Cachapoal	1,17	9,47	4,07	13,85
	T=50	0,87	Cachapoal	1,31	10,61	5,09	16,87
	T=100	1	Cachapoal	1,45	11,74	6,63	21,46

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

- Q_{10} Caudal medio diario máximo con período de retorno de 10 años (m^3/s)
- $P_{24}^{T=10}$ Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años (mm)
- Ap Área Pluvial de la cuenca

(km^2)

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Los Maquis	0,28	1,01	1,36	1,56	1,76	1,89	2,34	2,86

- **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Los Maquis	7,146	8,444	9,425

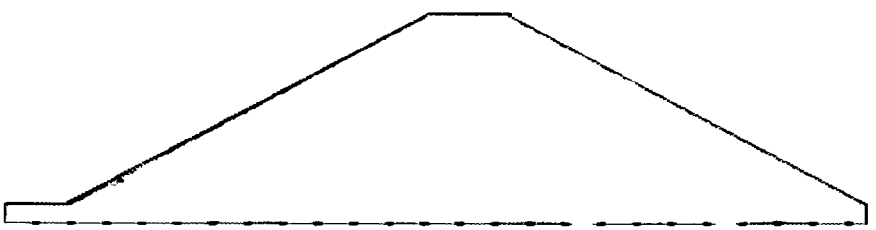
2.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una Arcilla limosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	10,6 m
Ancho coronamiento	3,0 m
Borde libre	0,8 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,43 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,48 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 2.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 25°	1,5	1,75	1,95

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 2.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

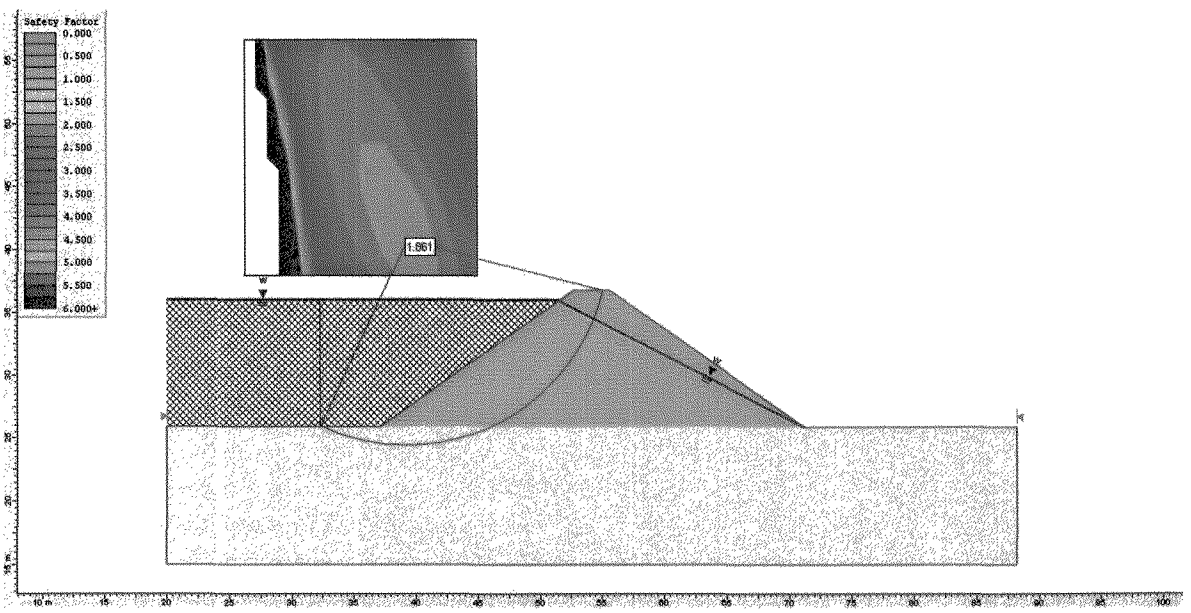


FIGURA 2.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

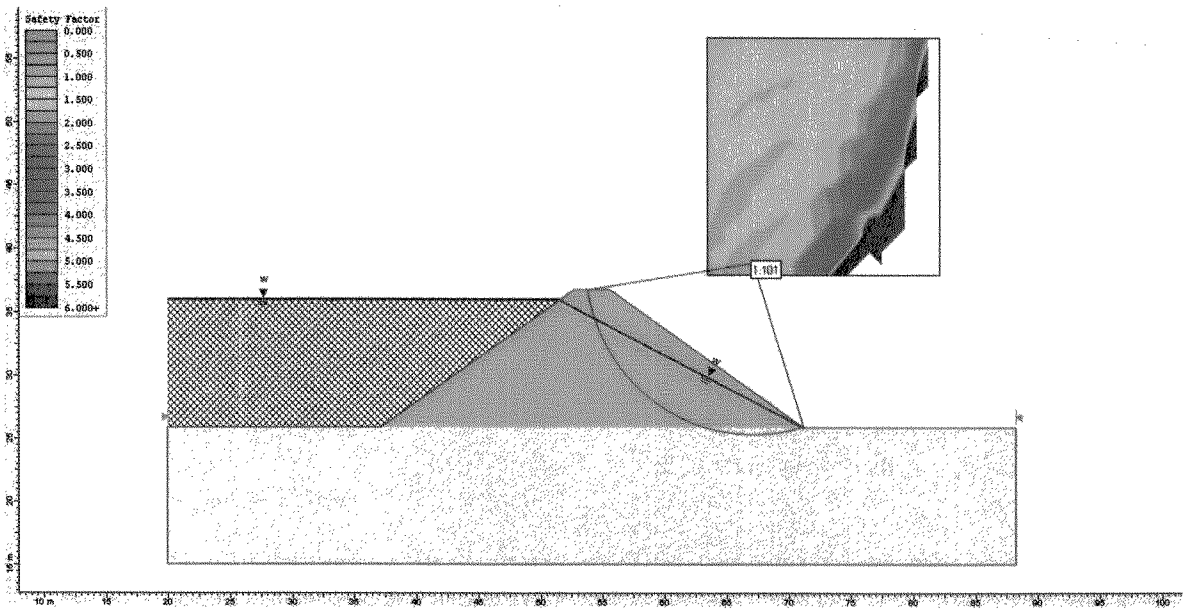


FIGURA 2.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

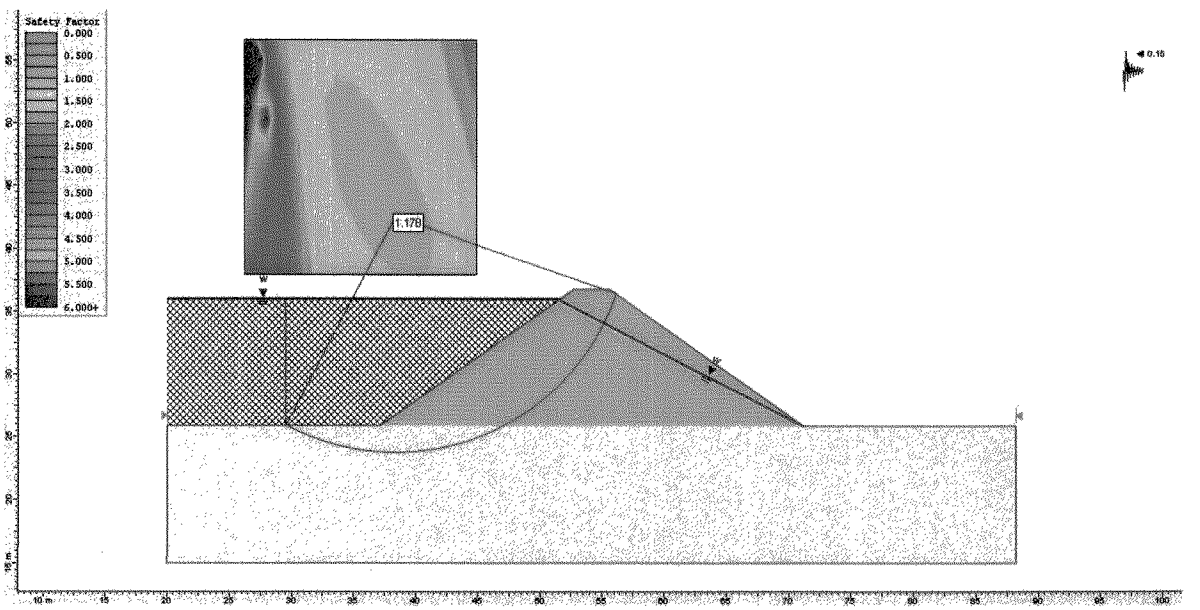


FIGURA 2.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

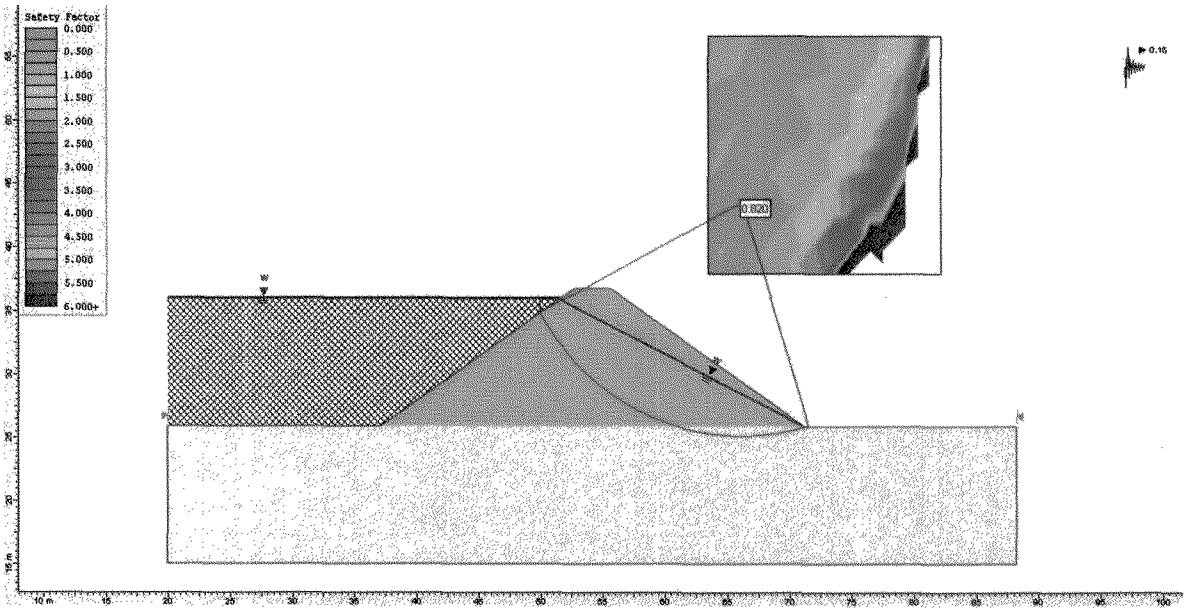


FIGURA 2.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

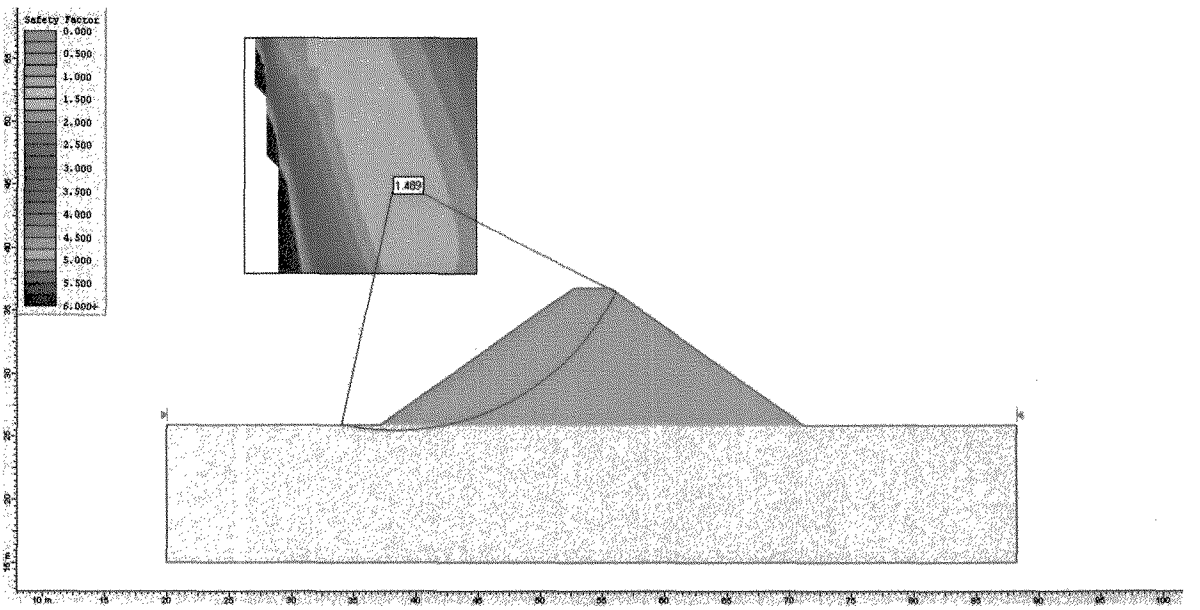


FIGURA 2.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

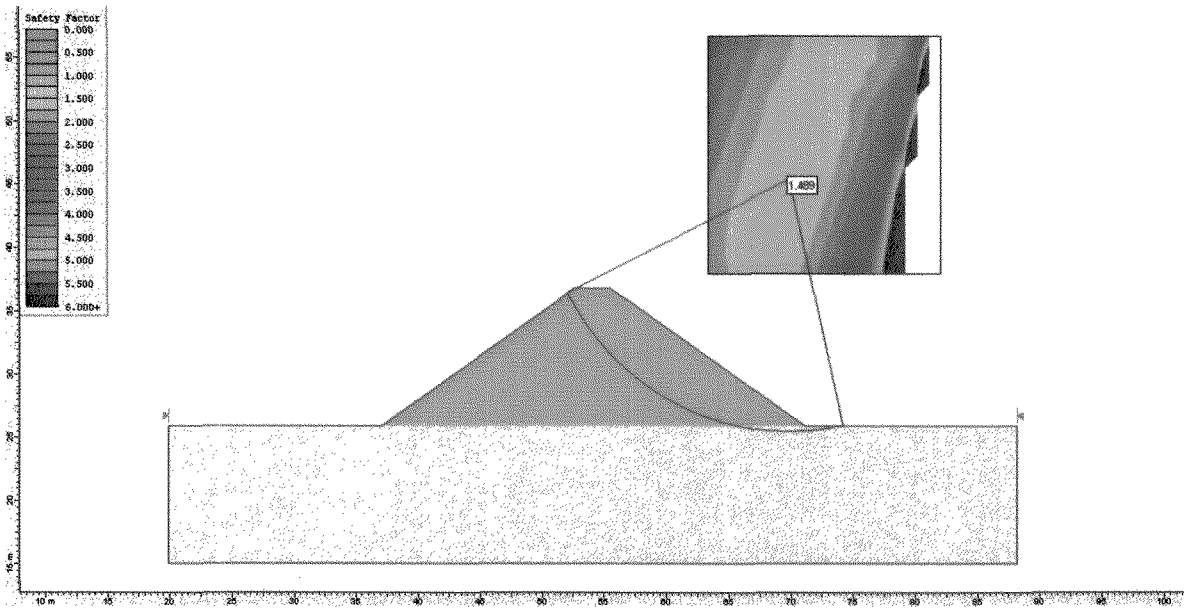


FIGURA 2.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

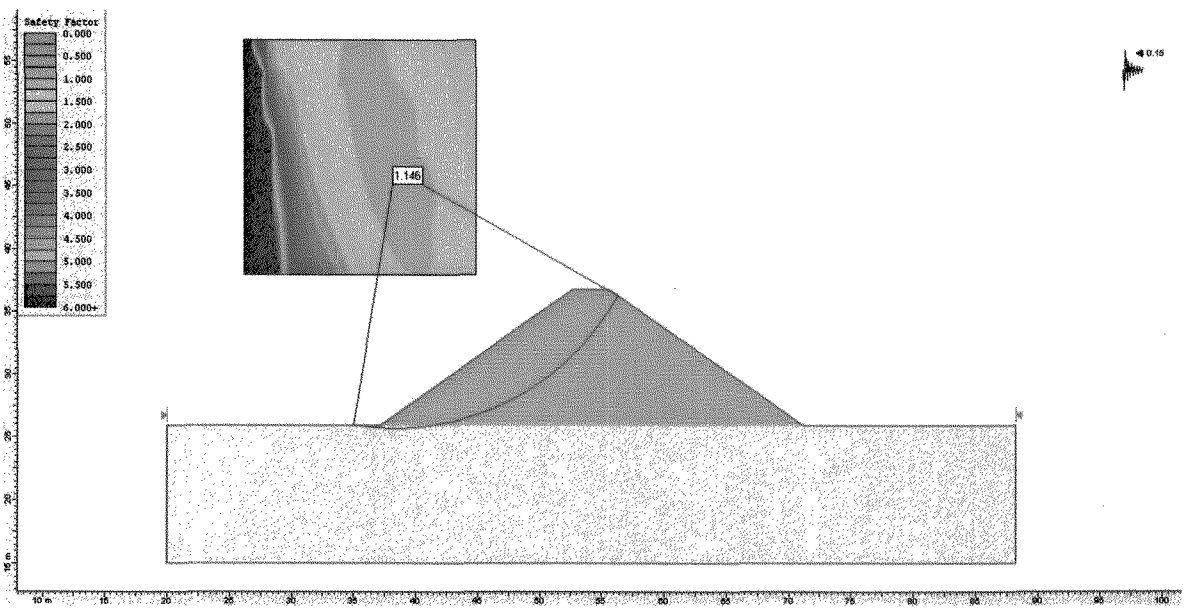
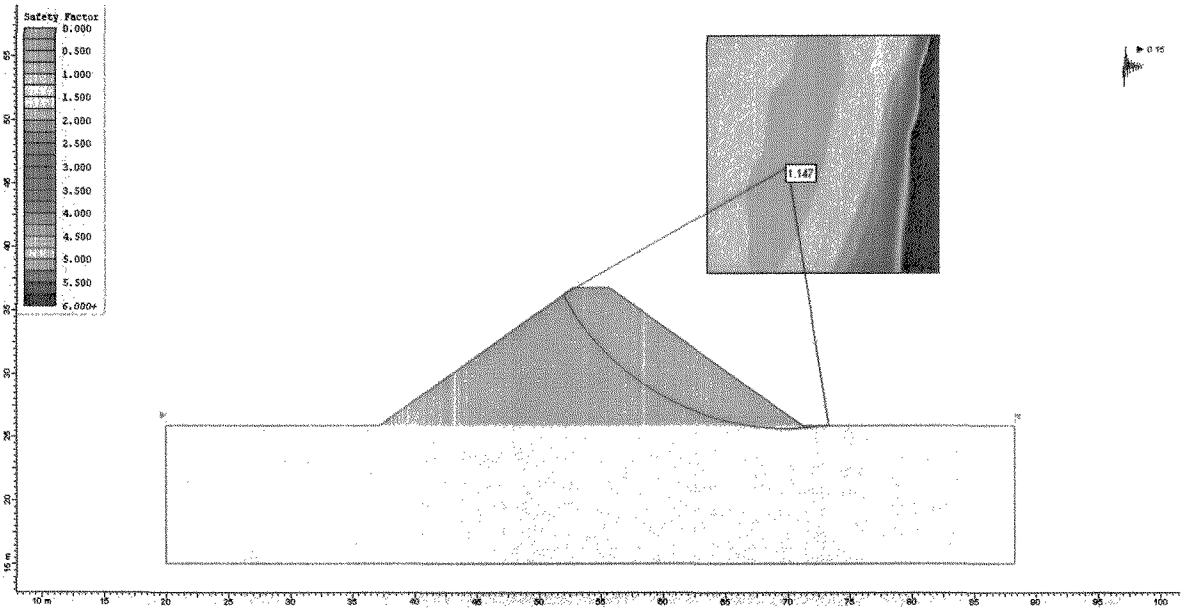


FIGURA 2.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 2.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Los Maquis	1,861	1,101	1,178	0,820

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Los Maquis	1,489	1,489	1,146	1,147

2.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Los Maquis***, se tiene:

Lh (m) =	33,9	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,7	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	9,8	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
LOS MAQUIS	33,9	0	11,31	10,6	0,8	9,825	1,7	16,7	No

2.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Los Maquis.

LOS MAQUIS
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	317	0,1970	0,1088
2	36	0,8090	0,6545	314	0,1951	0,1277
3	30	0,8660	0,7500	321	0,1995	0,1496
4	24	0,9135	0,8346	268	0,1665	0,1390
5	18	0,9511	0,9045	246	0,1529	0,1383
6	12	0,9781	0,9568	252	0,1566	0,1498
7	6	0,9945	0,9891	288	0,1790	0,1770
8	0	1,0000	1,0000	260	0,1616	0,1616
9	6	0,9945	0,9891	256	0,1591	0,1573
10	12	0,9781	0,9568	266	0,1653	0,1581
11	18	0,9511	0,9045	276	0,1715	0,1551
12	24	0,9135	0,8346	286	0,1777	0,1483
13	30	0,8660	0,7500	278	0,1727	0,1296
14	36	0,8090	0,6545	272	0,1690	0,1106
15	42	0,7431	0,5523	269	0,1671	0,0923
	Suma	**13,5109**			Suma	**2,1031**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,156 millas
F = 250,51 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,46	0,7509
Molitor	2,35	0,7151
Creager	0,96	0,2937
Bur. of Rec	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **0,80 m**, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

2.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

2.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

2.7.2 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 evacuación: **1,56** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,336 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **0,52** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	7,15	0,95	0,00	0
0,002	8,44	0,95	0,00	0
0,0010	9,43	0,95	0,00	0

2.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

2.7.4 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	0,5
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

2.7.5 Riesgo

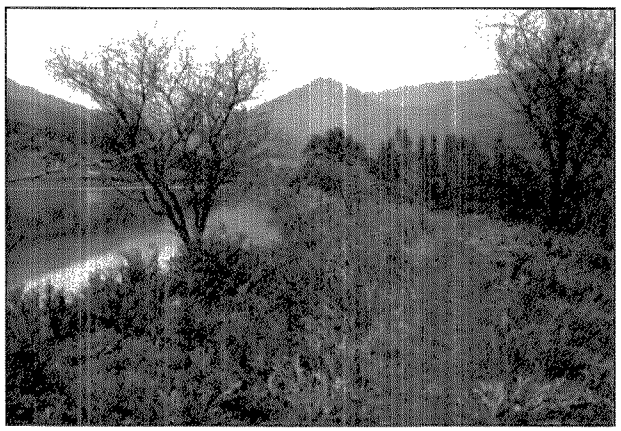
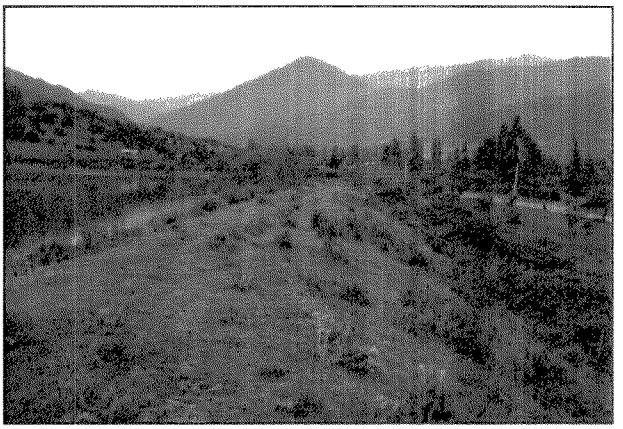
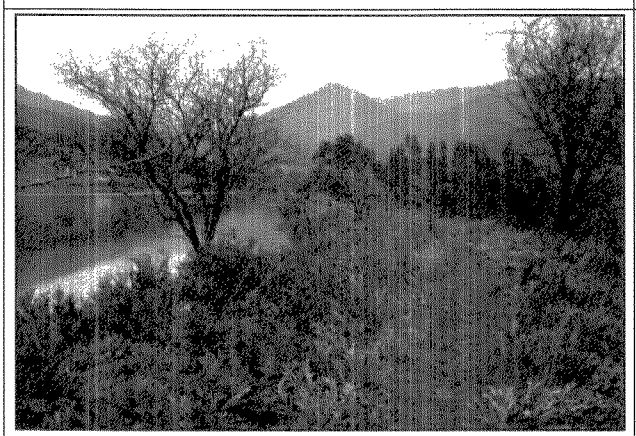
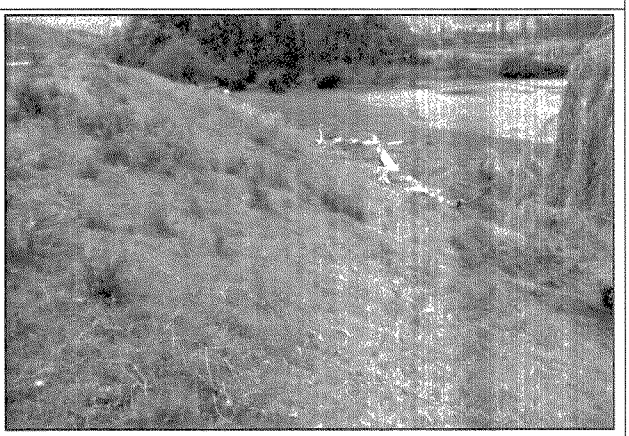
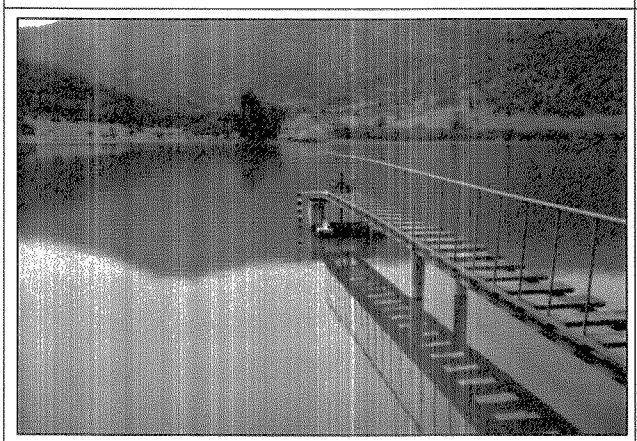
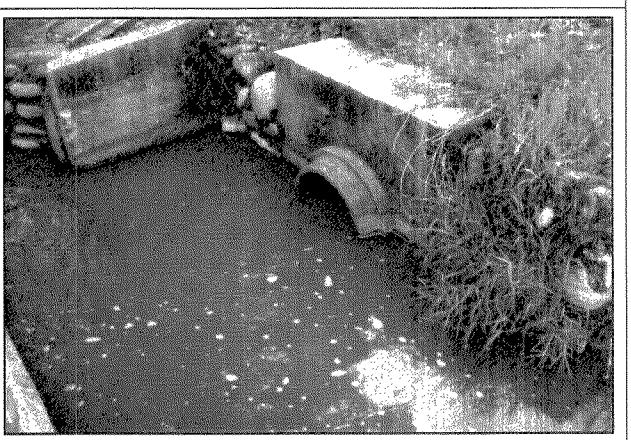
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

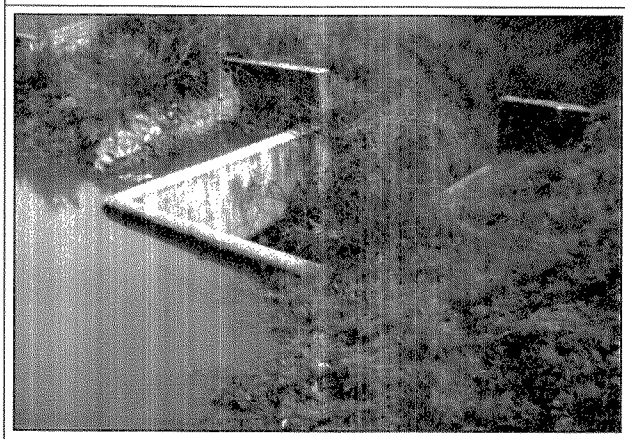
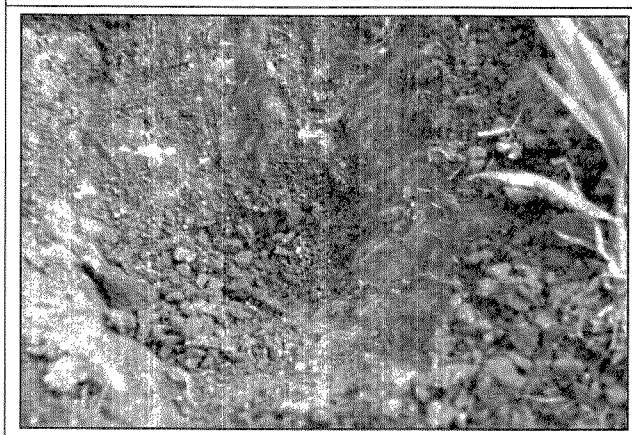
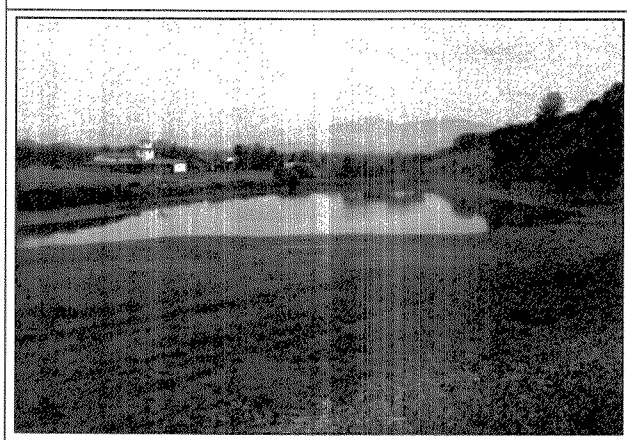
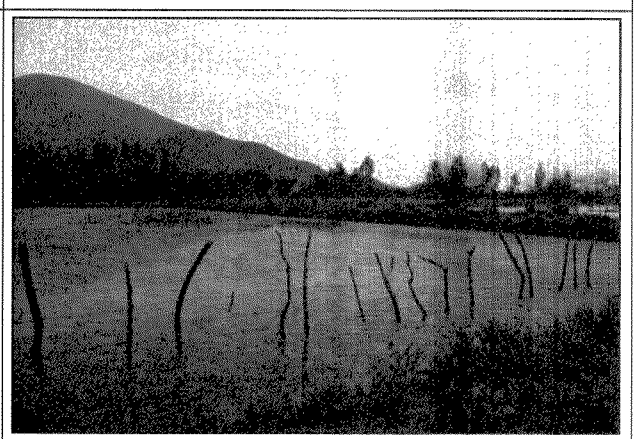
	Riesgo Sismo	**Riesgo Escorrentía**						**Riesgo Piping**
		Pluvial			**Nival**			
Riesgo	0,80	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,0

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

2.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Los Maquis.

VISTA MURO	VISTA MURO
	
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA	VISTA TALUD AGUAS ABAJO
	
OBRA DE ENTREGA	OBRA DE ENTREGA
	

EVACUADOR DE CRECIDAS	EVACUADOR DE CRECIDAS
	
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	ZONA DE FILTRACION
	
RESERVA 1	RESERVA 2
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	LOS MAQUIS
Propietario	Tranque Comunitario
RUT Propietario	Sin Rut
Año de construcción	S/I
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	2001
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Estero Zamorano
Fuente del recurso	Estero Rigolemo

Nº de ficha	2
Fecha (dd/mm/año)	13-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	Malloa	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.182.996	E = 331.335
Coordenadas UTM Centro	N = 6.182.844	E = 331.555
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.182.743	E = 331.837
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m.	ED = 409 ; C = 403 ; EI = 401	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	531		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 3,10 ;	C = 2,90 ;	EI = 3,0
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	19,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,80		
Paramentos verticales	SI		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 35° ;	C = 40° ;	EI = 28°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 37° ;	C = 33° ;	EI = 36°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	10,6
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	9,8
Área estimada o calculada de la poza (m2)	156.600
Ancho máximo de la poza (km)	0,54
Largo de la poza (km)	0,29
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,384

7. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.182.844 E= 331.555	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Limosa

7. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular con deformaciones.
Compacidad del material estructural	Media - Alta
Uniformidad de los taludes	Regularmente uniformes en ambos taludes
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 presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Se aprecian filtracion visible en el metro 240 a partir del estribo derecho. (ver álbum fotográfico)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
Vertederos laterales	
Vertederos de campana	

Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:	
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	Vertedero frontal, libre sin control
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	Regular estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Largo : 2,80 m ; alto 2,80 m, ancho 2,00 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

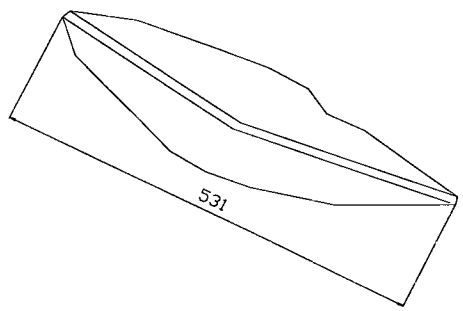
Tipo de estructura	Cajón cuadrado de hormigón con compuerta y válvula de volante.
Mediciones estructurales	Ancho 1,00 m ; largo 1,00 m; altura 7,30 m ; diámetro cañería de salida 0,60 m
Funcionamiento actual	Buen estado, operartivo

10. CARACTERIZACION 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 artificial en tierra, terreno de quebrada, pendiente media 2,6%, ancho medio 3,0 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,57 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,57 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media - Alta
Distancia hacia zonas agrícolas	0,11 Km.
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,10 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	300 ha

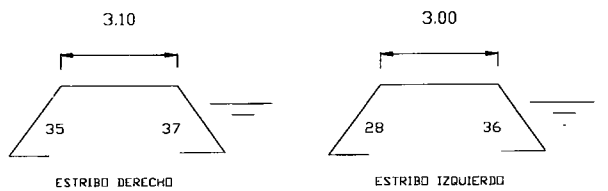
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

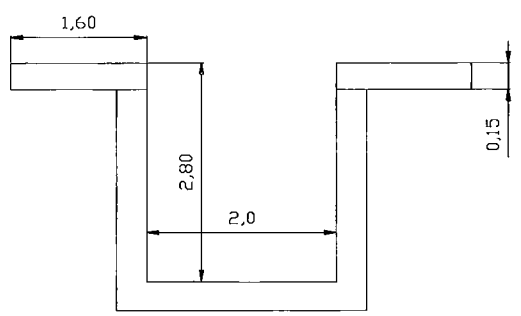


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

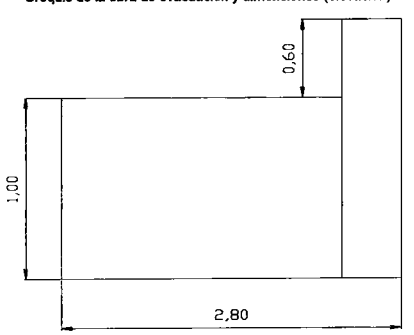
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



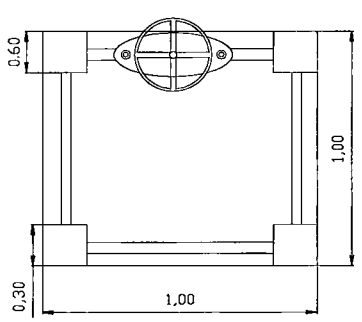
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



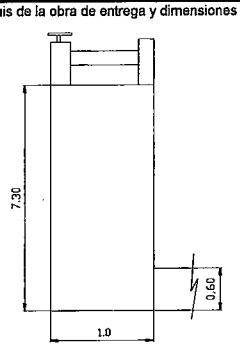
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

Hacia aguas abajo en el estribo derecho se encuentra una pequeña reserva desde donde regulan la entrega al canal principal. La profundidad actual es de 7,18 m. de profundidad en el sector de la obra de entrega que se encuentra a 194 m. del estribo derecho. (ver álbum fotográfico)

En el estribo izquierdo se encuentra otra pequeña reserva que se llena con el canal de entrada. (ver álbum fotográfico)

EMBALSE PILAICITO

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

3. EMBALSE PILAICITO
3.1 Ubicación
3.2 Características Generales
3.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
3.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
3.5 Determinación de Filtraciones
3.6 Verificación del Oleaje
3.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
3.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

3. EMBALSE PILAICITO

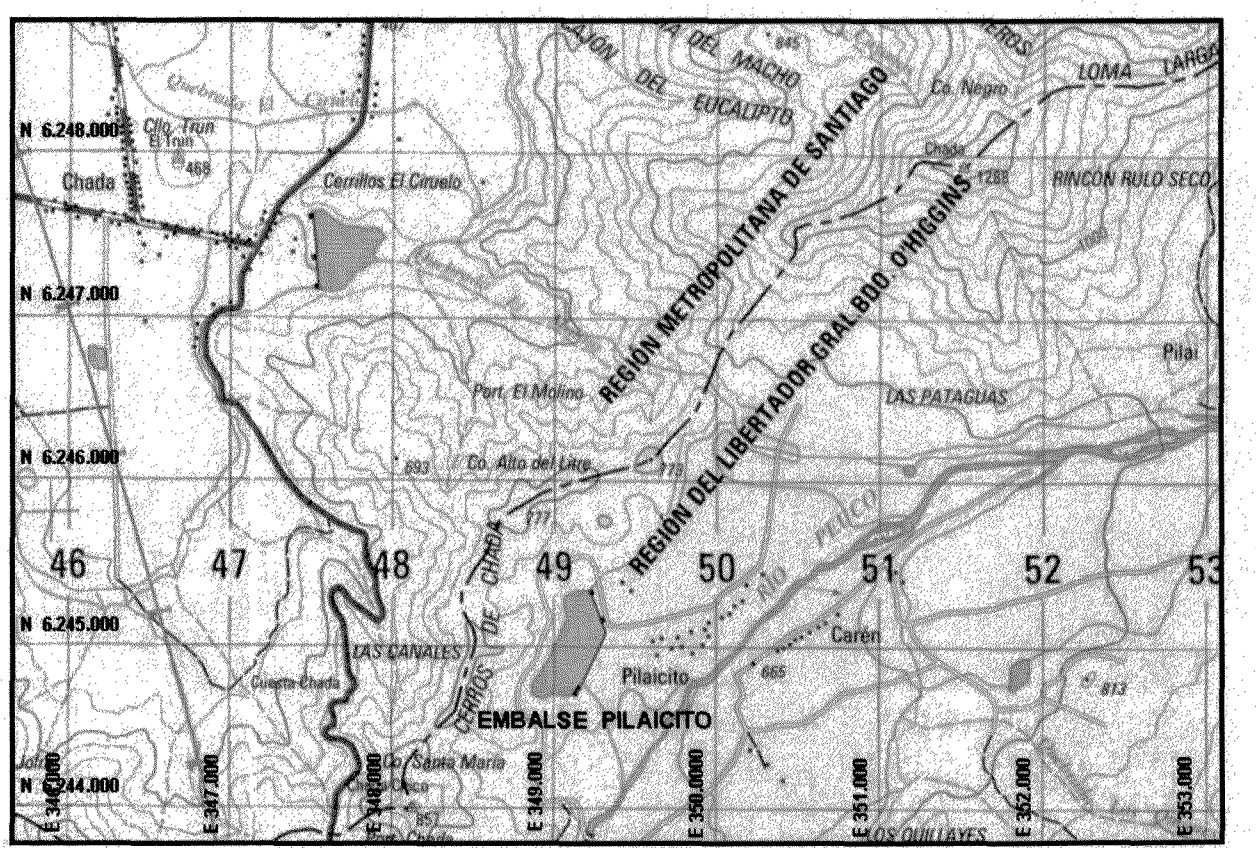
3.1 Ubicación

El embalse Pilaicito se ubica en la comuna de Mostazal, provincia de Cachapoal, en las coordenadas UTM 6.244.890 Norte y 349.185. Datum WGS 84 a una Altitud de 677 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Maipo, subcuenca del Río Cachapoal y la fuente corresponde al Río Peuco.

Este sitio de embalse se localiza entre el límite entre la Región Metropolitana y VI Región y el río Puco, al norte del camino H-15 que une las localidades de La Punta y Chada. Se llega al sitio del embalse por el camino H115G que nace en el puente que cruza el río Peuco que corre paralelo al río por la ribera sur, desde allí se empalma directamente con el embalse.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 3.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE PILAICITO



Fuente: Carta IGM

3.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a la Comunidad O'Higgins de Pilai. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1940.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 0,499 hm^3. La altura máxima del muro es de 13,9 m, con una longitud de coronamiento de 405 m y ancho promedio del coronamiento de 3 m y borde libre de 0,70 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,48:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,66:1.

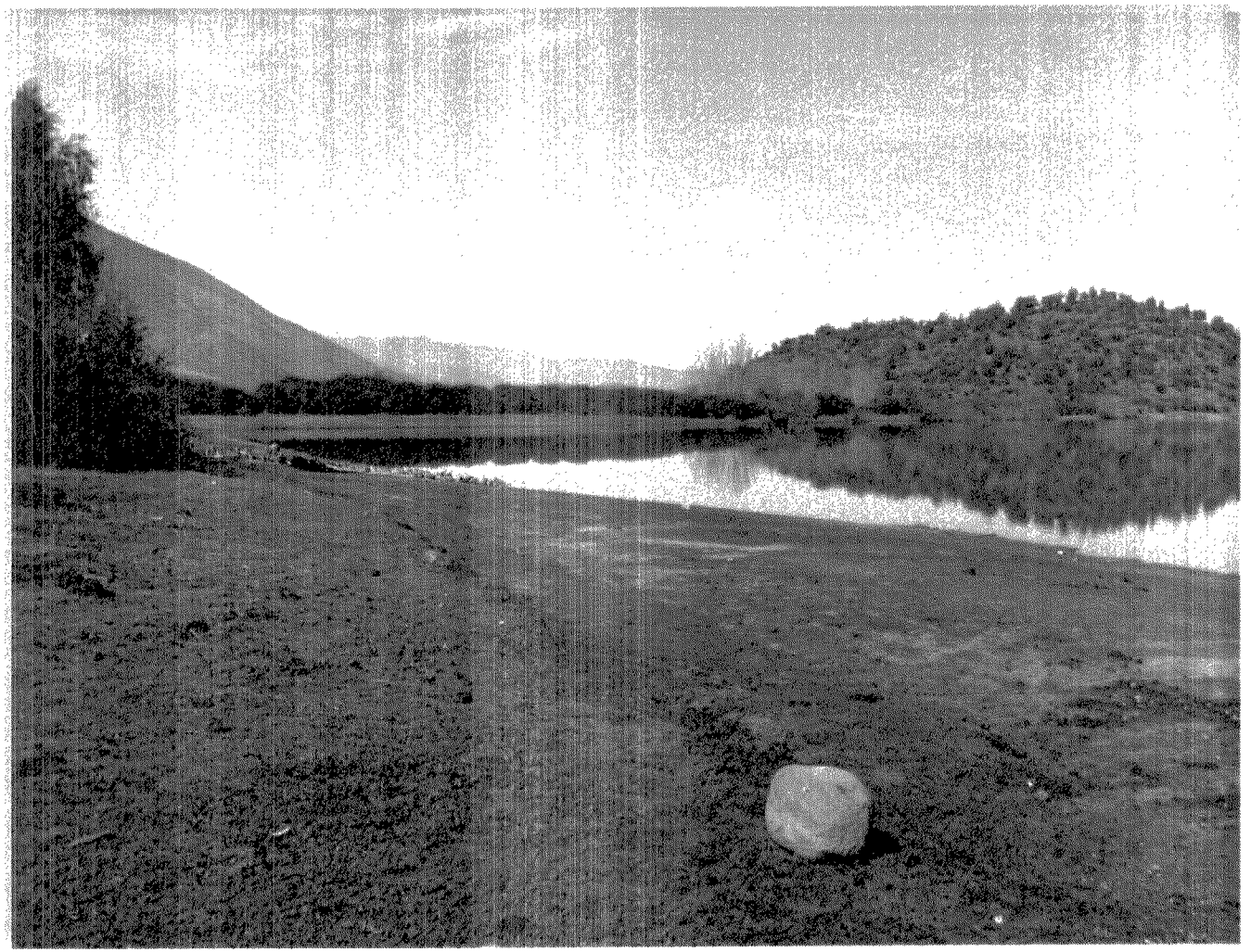
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un canalón de tierra de sección irregular con un ancho medio de 2,30 m y 0,50 m de alto. No tiene estructura de control. Se encuentra en regular estado de mantención y operación.

La ***obra de entrega*** corresponde a una estructura circular de hormigón armado de 1,10 m de diámetro con un volante de acero que permite controlar la tubería de entrega de 0,80 m. La obra se encuentra en regular estado de mantención y operación.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 3.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE PILAICITO





Vista panorámica Embalse Pilaicito

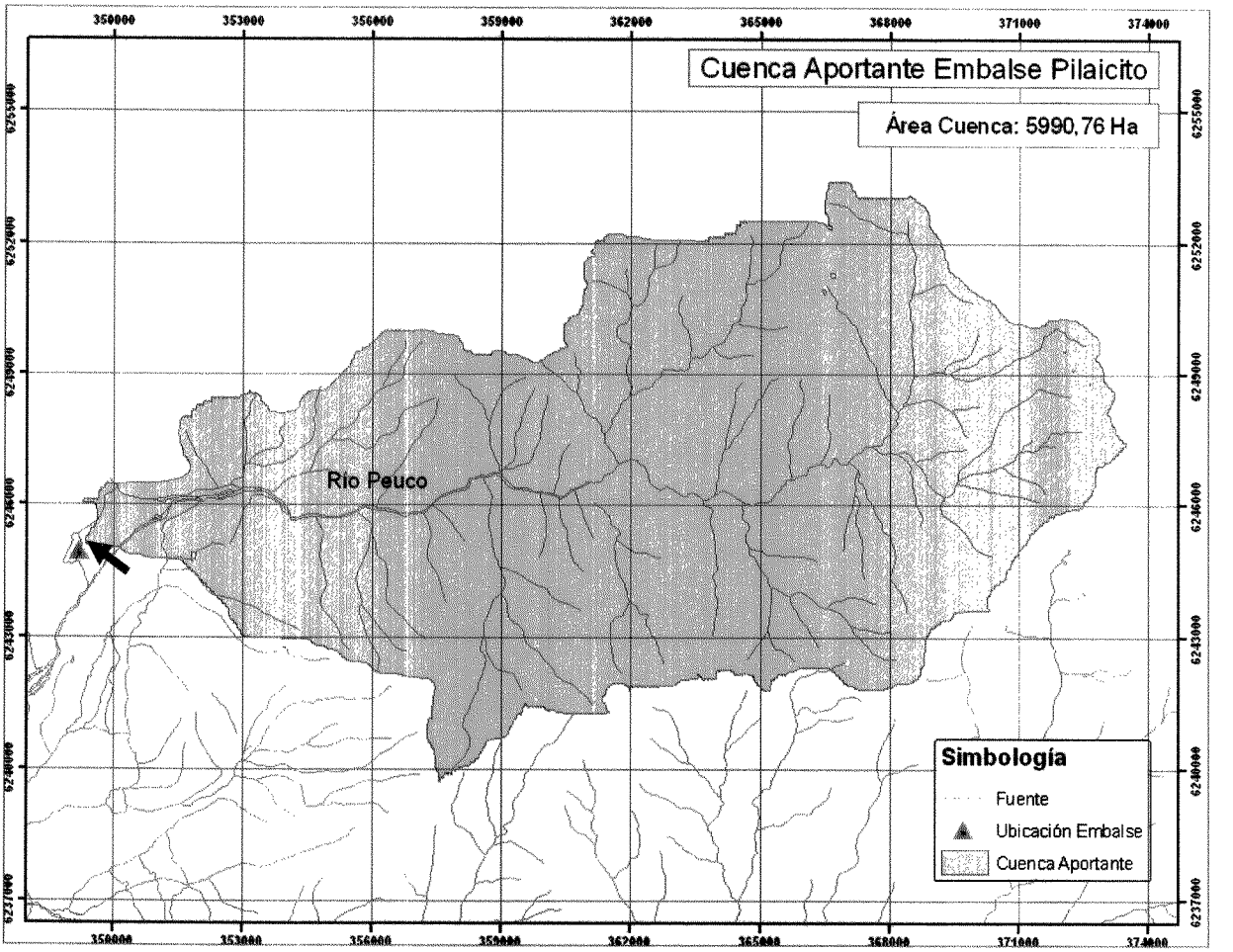
3.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Pilaicito tiene como fuente al río Peuco, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie total de 176,9 km^2, siendo la superficie pluvial de 59,9 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 3.3-1
CUENCA EMBALSE PILAICITO



CUADRO 3.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Pilaicito
SUPERFICIE (ha)	Total	17.692,6
	Pluvial	5.990,8
PERÍMETRO (m)	Total	91.980,0
	Pluvial	69.120,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	1.780,00
	Mínima	667,02
	Diferencia	1.112,98
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	38,9
	Cauce	15,9
LONGITUD CAUCE (km)	Total	19,62
	Desde centro de gravedad	9,81
CENTROIDE CUENCA	UTM Este	357.794
	UTM Norte	6.246.137
	Altura (msnm)	1035,57
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM Este	358.011
	UTM Norte	6.246.330
	Altura (msnm)	1037,51
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $$tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Documentación Recursos Hídricos
Área de Documentación

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (hr)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Pilaicito	1,99	2,26	0,1	1,66	1,5

➢ **Precipitaciones Máximas**

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 hrs,T=10)	Zona CF
Pilaicito	Rapel	0,192	140	Coya

➢ **Caudales de Crecidas**

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

NOMBRE EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Pilaicito	T=2	0,47	Coya	0,639	18,850	31,520	98,300
	T=5	0,60	Coya	0,857	25,290	45,362	168,308
	T=10	0,68	Coya	0,980	28,960	77,650	218,460
	T=20	0,77	Coya	1,136	33,517	105,404	286,313
	T=25	0,80	Coya	1,160	34,370	112,960	305,000
	T=50	0,87	Coya	1,310	38,740	142,520	373,900
	T=100	1,00	Coya	1,450	42,663	184,632	473,304

➢ **Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)**

-Crecidas Pluviales

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1.19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Pilaicito	26,59	53,49	72,28	82,72	93,25	100,47	124,33	151,79

- Crecidas de deshielo

El método denominado DGA-AC para crecidas de deshielo, corresponde a un análisis regional de crecidas del período de deshielo, desarrollado en base a los análisis de frecuencias efectuado a las series de excedencia para el período nival de caudales medios diarios máximos y caudales instantáneos máximos, correspondientes a 234 estaciones de control existente en el país.

El área de la cuenca del embalse Pilaicito presenta influencia nival y por lo tanto crecidas de deshielo en el período octubre – marzo, para lo cual se calcula dicha crecida para este período.

Las relaciones empleadas por este método son:

$$Q_{10} = 1{,}81 \cdot 10^{-4} \cdot An \cdot (Lat - 26{,}2)^{3{,}392}$$

Donde:

Q_{10} Caudal medio diario con período de retorno 10 años (m^3/s)

An Área Nival de la cuenca (km^2)
Lat Latitud media de la cuenca, en grados (°)

$$Q(T) = \beta \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y el coeficiente β es igual a 1,18.

CURVA DE FRECUENCIA REGIONAL ZONA HOMOGENEA NIVAL "Wn"
CUENCAS VI REGIÓN

T	Q(T)/Q(10)		
	Media	**Máx.**	**Mín.**
2	0,65	0,77	0,57
5	0,87	0,92	0,83
10	1	1	1
15	1,10	1,10	1,10
20	1,12	1,15	1,07
25	1,16	1,2	1,1
50	1,27	1,35	1,16
75	1,33	1,43	1,2
100	1,36	1,47	1,21

CARACTERÍSTICAS CUENCA APORTANTE

Embalse	Área nival (km^2)	Latitud media (·C)	Q(10) (m^3/s)
Pilaicito	117,018	36	48,77

CAUDAL MÁXIMO MEDIO DIARIO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m^3/s)	Pilaicito
2	37,41
5	50,07
10	57,55
15	63,31
20	64,46
25	66,76
50	73,09
75	76,54
100	78,27

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m^3/s)	Pilaicito
2	44,31
5	52,95
10	57,55
15	63,54
20	66,18
25	69,06
50	77,69
75	82,30
100	84,60

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)			
	T=200	T=250	T=500	T=1000
Pilaicito	199,6	208,43	235,84	263,25

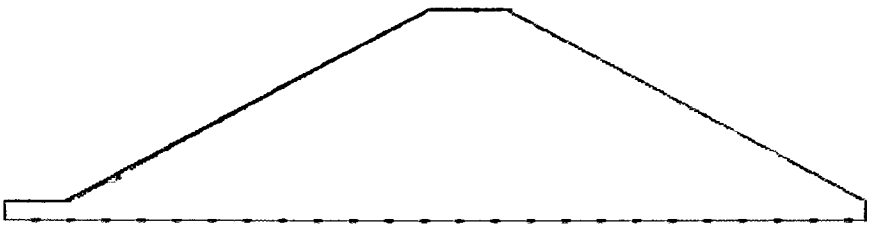
3.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla limo arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	13,9 m
Ancho coronamiento	3,0 m
Borde libre	0,7 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,48 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,66 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 3.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (T/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 25°	1,5	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 3.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

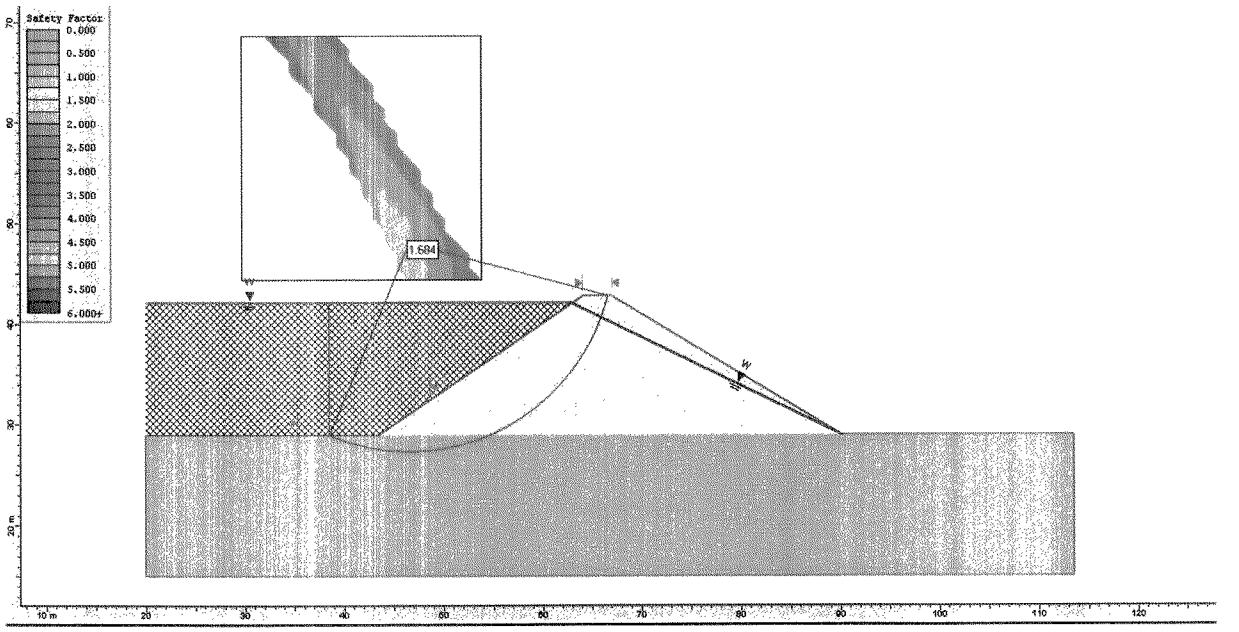


FIGURA 3.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

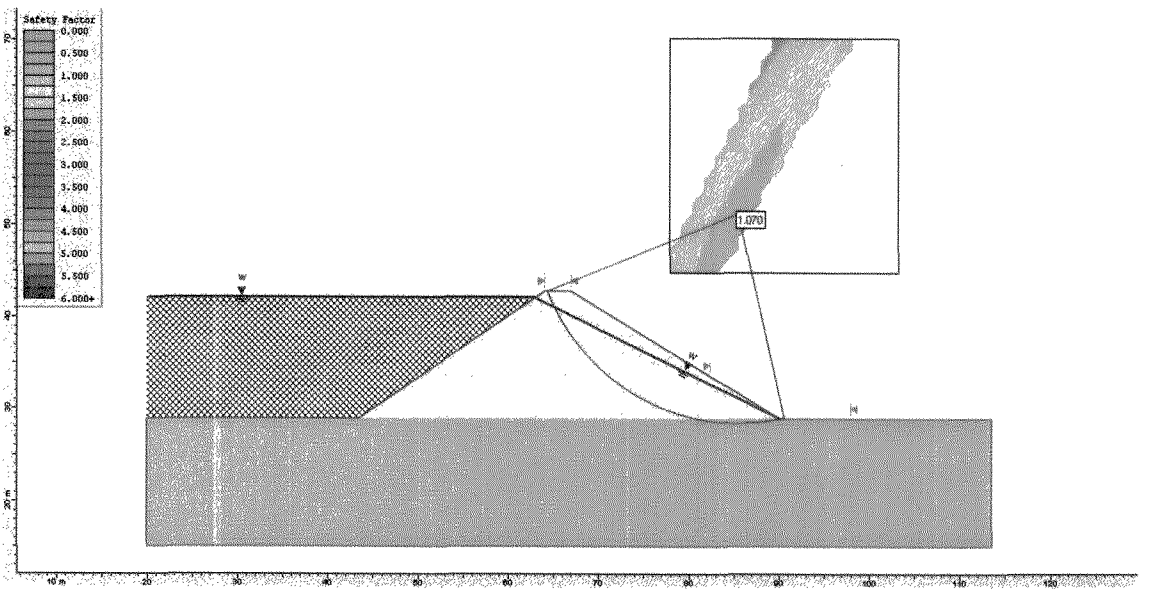


FIGURA 3.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

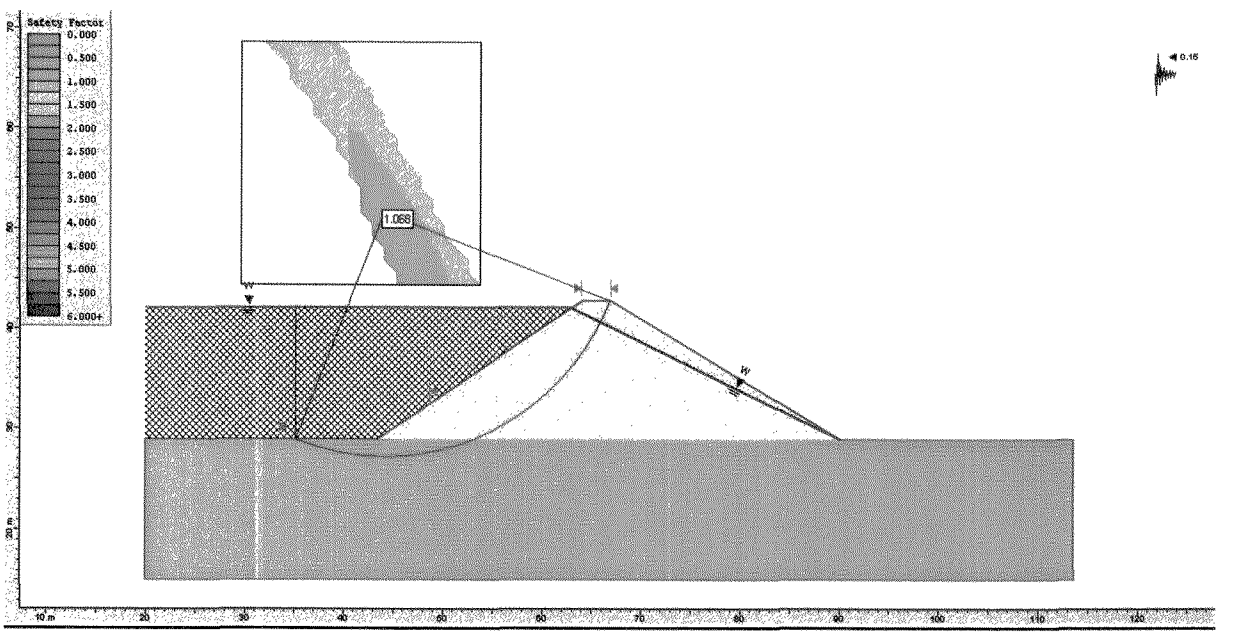


FIGURA 3.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

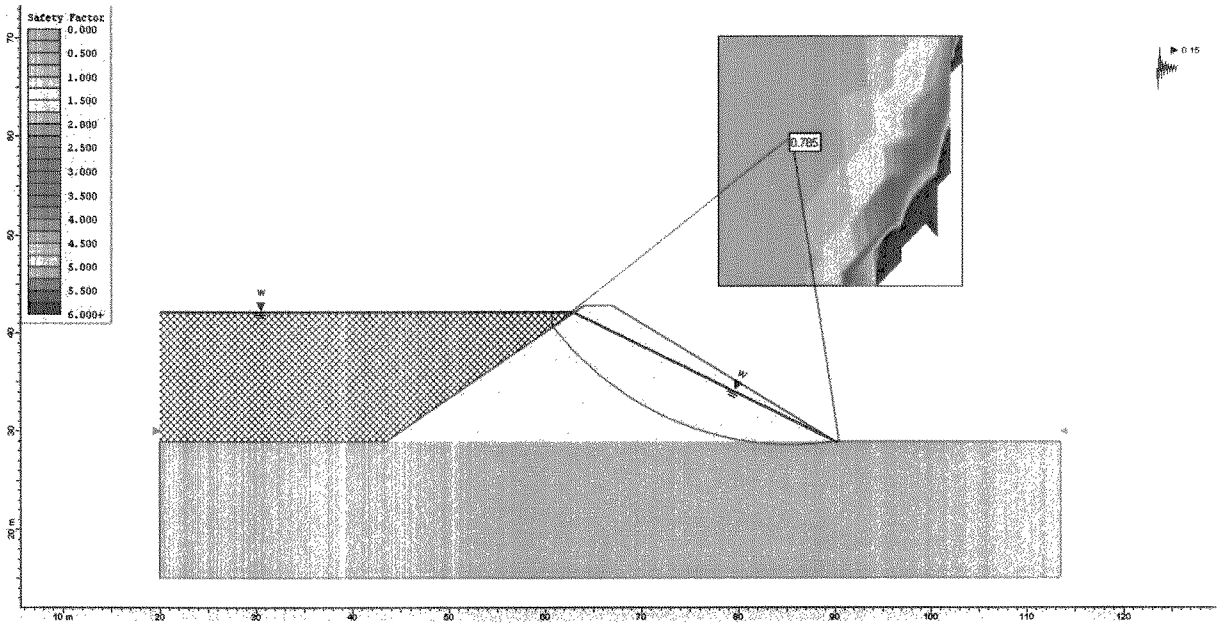


FIGURA 3.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

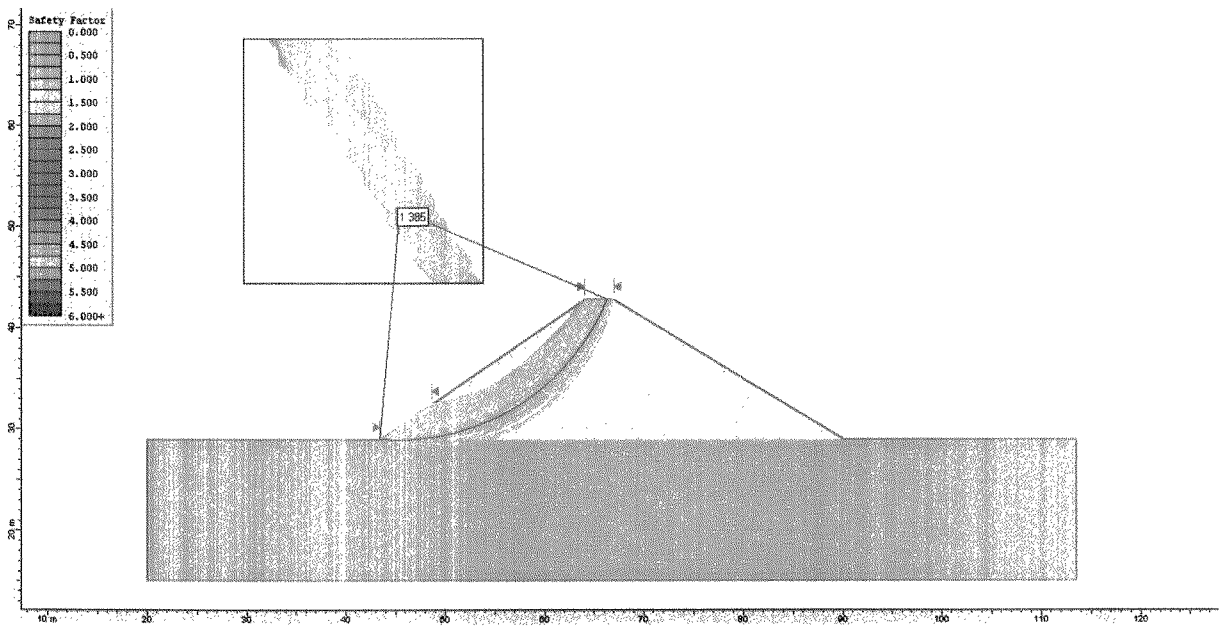


FIGURA 3.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

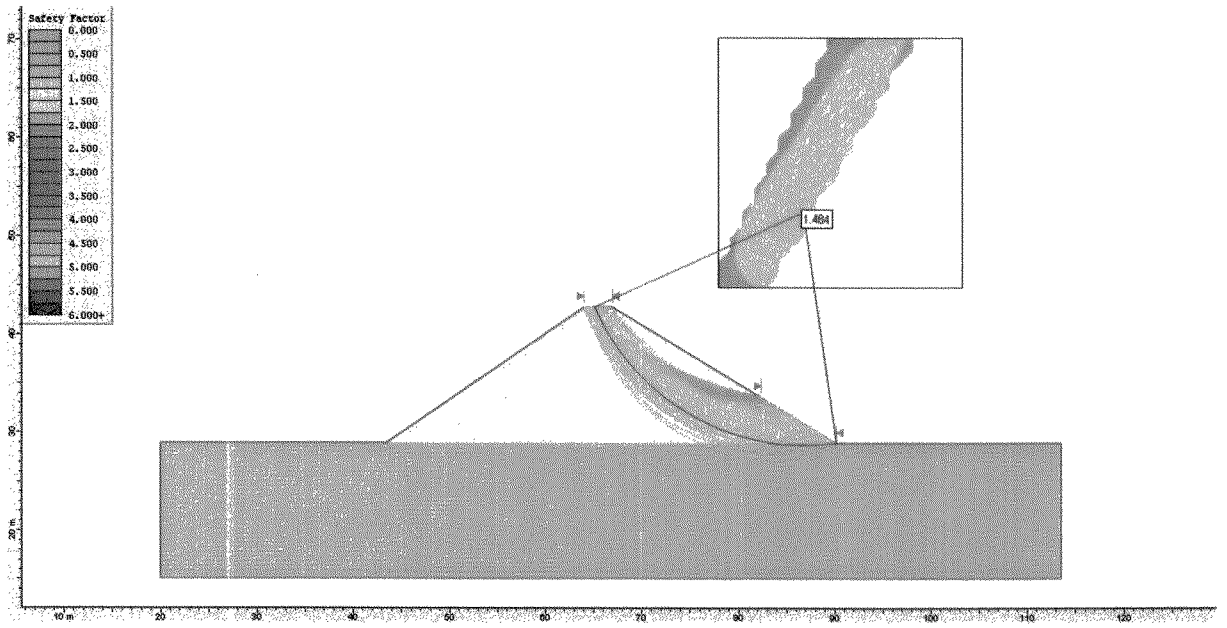


FIGURA 3.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

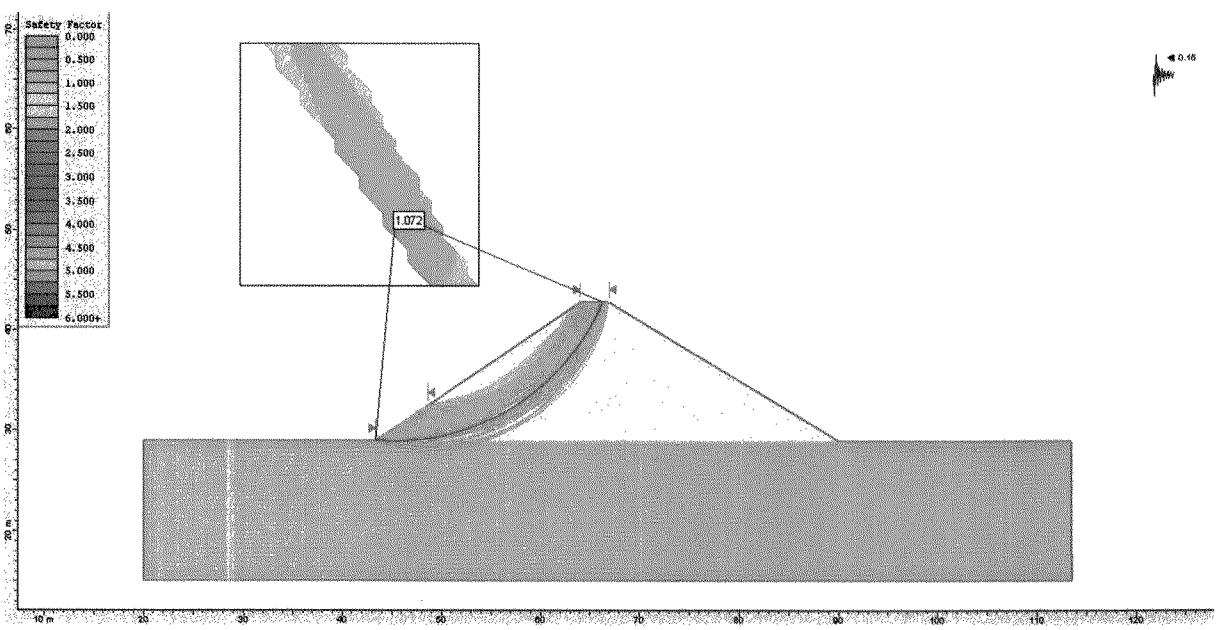
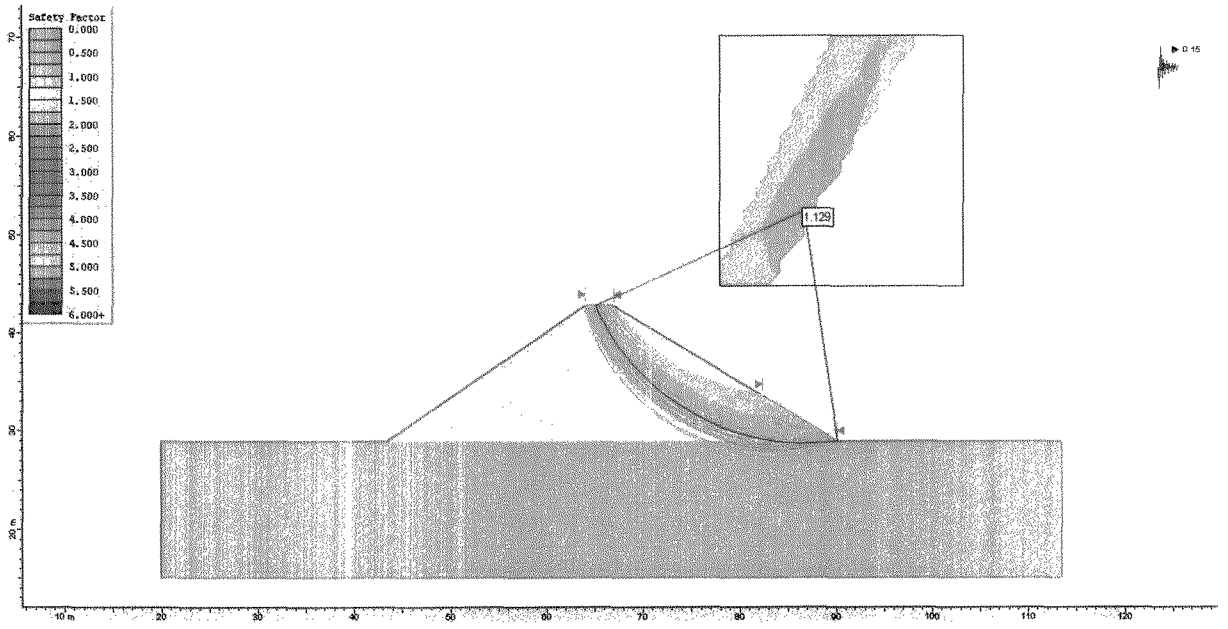


FIGURA 3.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 3.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Pilaicito	1,684	1,070	1,068	0,785

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Pilaicito	1,385	1,484	1,072	1,129

3.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del Embalse ***Pilaicito***, se tiene:

Lh (m) =	46,8	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,8	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	13,21	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
PILAICITO	46,8	0	15,59	13,9	0,7	13,21	1,8	23,8	No

3.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Pilaicito.

PILAICITO
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	206	0,1280	0,0707
2	36	0,8090	0,6545	235	0,1460	0,0956
3	30	0,8660	0,7500	264	0,1640	0,1230
4	24	0,9135	0,8346	373	0,2318	0,1934
5	18	0,9511	0,9045	423	0,2628	0,2377
6	12	0,9781	0,9568	436	0,2709	0,2592
7	6	0,9945	0,9891	441	0,2740	0,2710
8	0	1,0000	1,0000	433	0,2691	0,2691
9	6	0,9945	0,9891	394	0,2448	0,2421
10	12	0,9781	0,9568	272	0,1690	0,1617
11	18	0,9511	0,9045	270	0,1678	0,1517
12	24	0,9135	0,8346	268	0,1665	0,1390
13	30	0,8660	0,7500	261	0,1622	0,1216
14	36	0,8090	0,6545	252	0,1566	0,1025
15	42	0,7431	0,5523	250	0,1553	0,0858
	Suma	**13,5109**			Suma	**2,5242**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,187 millas
F = 300,67 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,49	0,7592
Molitor	2,36	0,7200
Creager	1,03	0,3142
Bur. of Rec	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de 0,70 m, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

3.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

3.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

3.7.2 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 evacuación: **0,78** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,336 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **0,26** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	199,60	0,95	96,68	0,95
0,002	235,84	0,95	112,67	0,95
0,0010	263,25	0,95	126,50	0,95

3.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

3.7.4 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	0,25

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	0,125

3.7.5 Riesgo

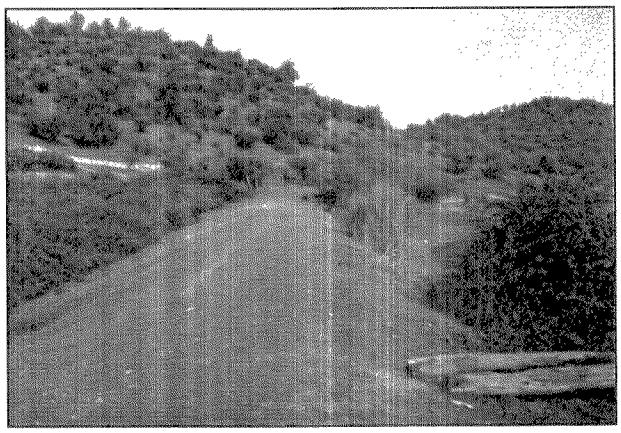
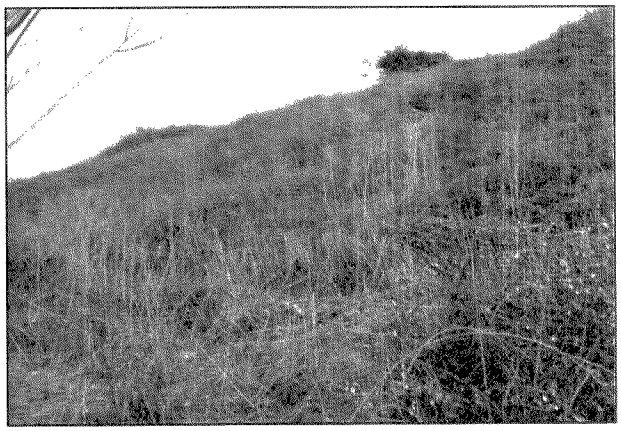
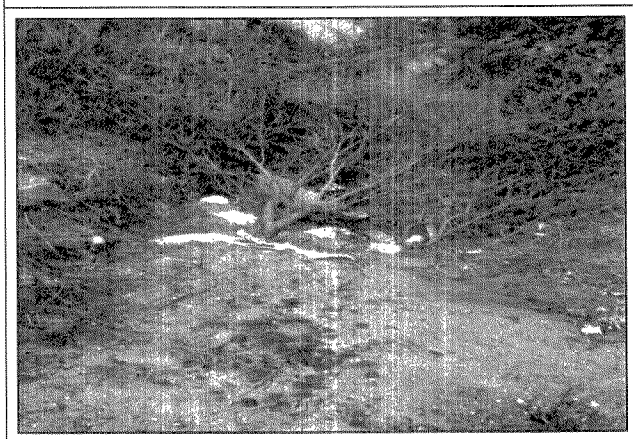
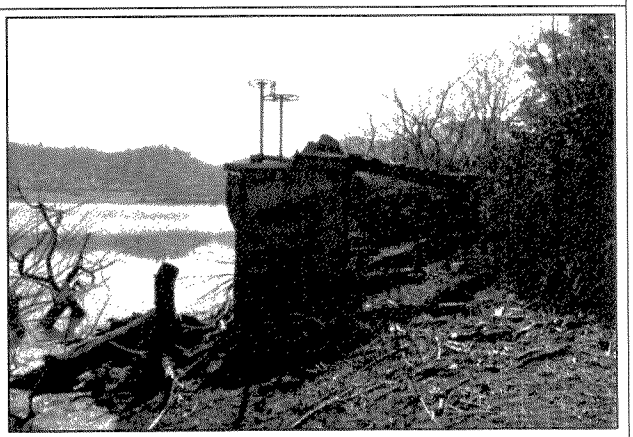
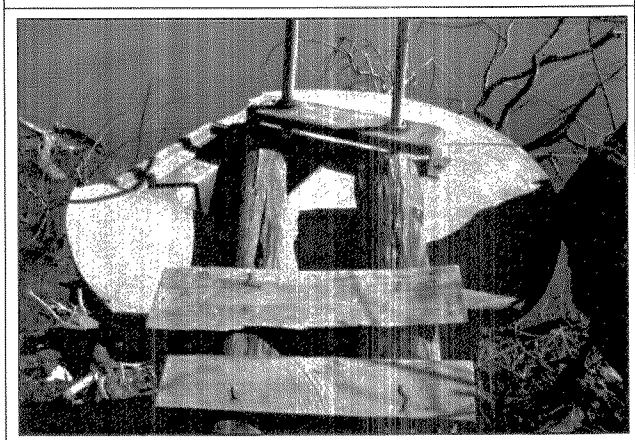
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

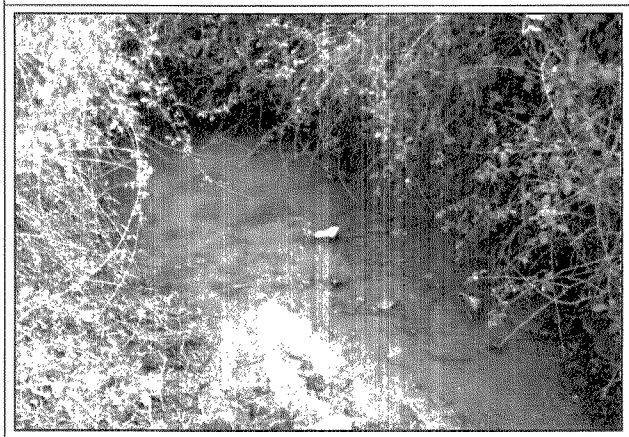
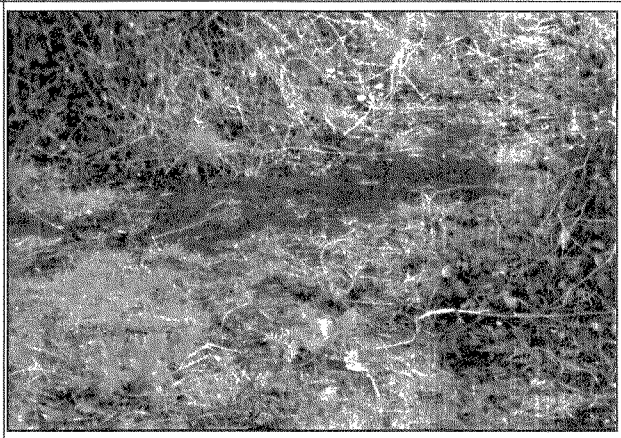
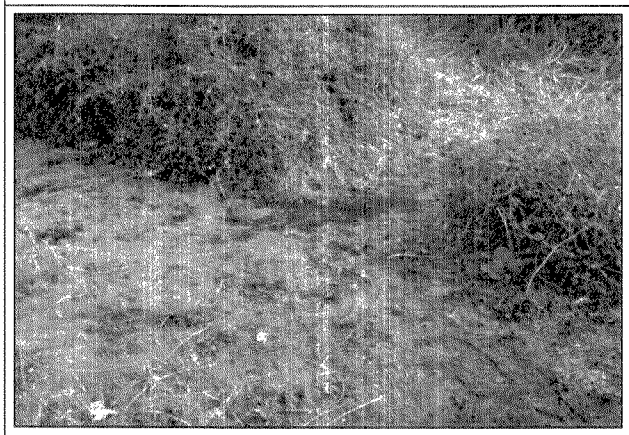
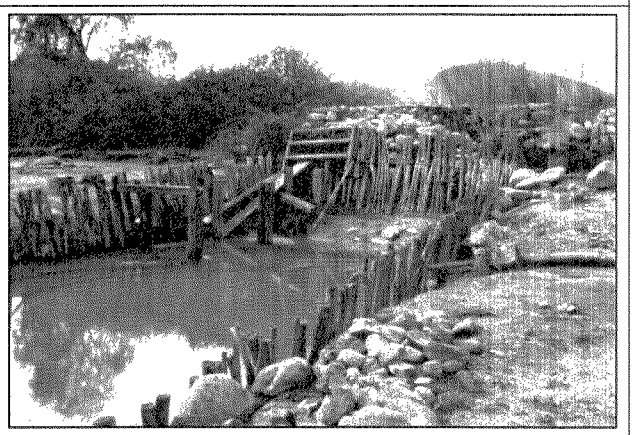
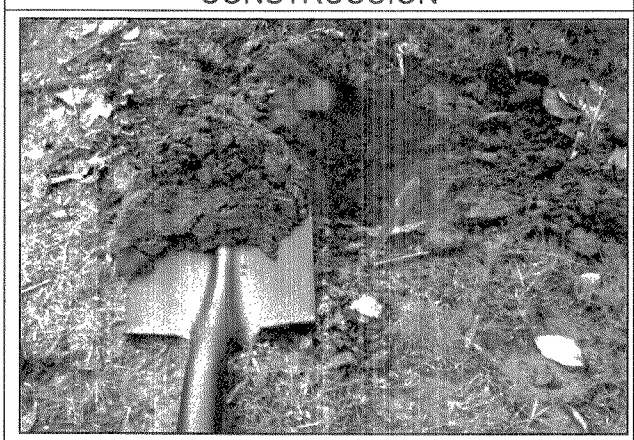
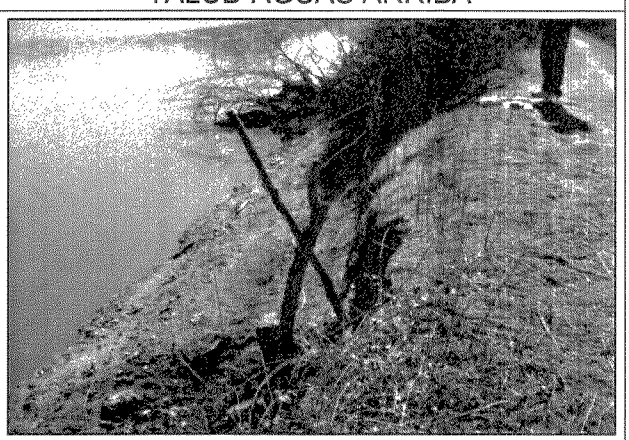
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,10	0,06	0,02	0,01	0,06	0,02	0,01	0,25

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

3.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Pilaicito.

VISTA MURO HACIA ESTRIBO DERECHO	TALUD AGUAS ABAJO CON CUBIERTA VEGETAL
	
EVACUADOR DE CRECIDAS	OBRA DE ENTREGA
	
OBRA DE ENTREGA	CANAL DE ENTREGA
	

CANAL DE ENTREGA	FILTRACIÓN VISIBLE EN EL TALUD AGUAS ABAJO EN EL PIE
	
ZONA DE SATURACIÓN	ESTRUCTURA A UN COSTADO DEL EMBALSE
	
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	SOCAVACIÓN O EROSION POR OLEAJE EN TALUD AGUAS ARRIBA
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Pilaicito
Propietario	Comunidad O'higgins de Pilai
RUT Propietario	2.255.136-1
Año de construcción	1940
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	
Cuenca / Código DGA	Río Cachapoal
Subcuenca / Código DGA	Río Cachapoal
Fuente del recurso	Río Peuco - Canal Romeral

N° de ficha	3
Fecha (dd/mm/año)	20-08-2009

Cumplimiento Art. 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	San Francisco de Mostazal	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.244.759	E= 349.116
Coordenadas UTM Centro	N= 6.244.890	E= 349.185
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.245.114	E= 349.309
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m.	ED= 673 C= 677	EI= 672

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable /	
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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	405		
Ancho del coronamiento (m)	ED= 3,30	C= 2,40	EI= 3,10
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	27		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,7		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo (°)	ED= 27°	C= 29°	EI= 37,5°
Ángulo talud de aguas arriba (°)	ED= 34°	C= 34°	EI= 31°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	13,9
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	13,2
Área estimada o calculada de la poza (m2)	151.200
Ancho máximo de la poza (km)	0,63
Largo de la poza (km)	0,24
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,499

7. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.245.043 E= 349.258	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Limo Arenosa

7. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Talud aguas debajo de forma regular, talud aguas arriba irregular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Talud aguas abajo uniforme, talud aguas arriba irregular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se aprecian depresiones
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se aprecian deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	SI, ubicadas en los metros 135, 219 y 292 desde el estribo derecho en el pie del talud aguas abajo
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	SI, ubicadas en punto medio del talud aguas abajo (ver álbum fotográfico)
Tipo de revestimiento del muro	Muro de tierra compactada. Talud aguas abajo cubierto en un 96% por matorral, 2% árboles y 2% suelo desnudo

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
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	
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	Canal en tierra
Estado de conservación y operatividad	Conservación en regular estado, en funcionamiento
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación) (m)	Sección rectangular ancho 2,30 ; alto 0,50 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

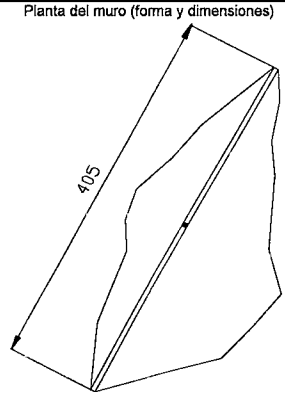
Tipo de estructura	Torre circular de hormigón armado
Mediciones estructurales	Alto 10,40 m ; diámetro interior : 1,50 m ; Paredes : 0,20 m. Salida por la parte inferior por tubería de hormigón de diámetro : 0,80 m
Funcionamiento actual	En funcionamiento

10. CARACTERIZACION 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, terreno plano al pie de cerro, agrícolas, pendiente media 2,3%, ancho medio 3,0 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	7,5 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	7,5 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media a Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacentes
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,5 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	100 ha

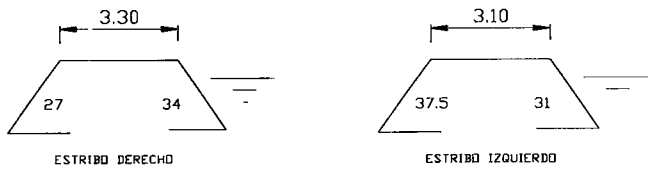
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

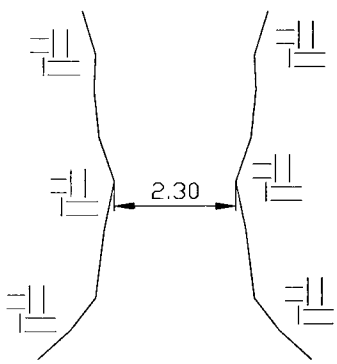


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

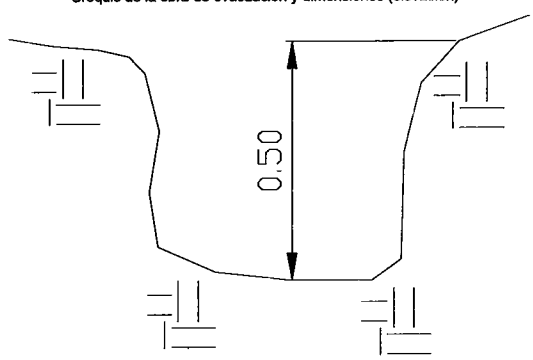
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes respecto a la horizontal.



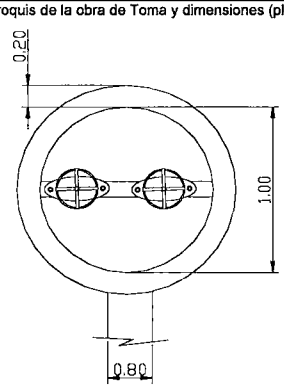
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



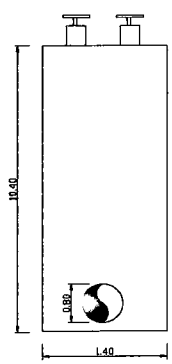
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de Toma y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de Toma y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

Desde estibo derecho hasta 210 m talud aguas arriba se presenta erosionado por el oleaje (ver álbum fotográfico)

EMBALSE ROMERAL

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

4. EMBALSE ROMERAL
4.1 Ubicación
4.2 Características Generales
4.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
4.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
4.5 Determinación de Filtraciones
4.6 Verificación del Oleaje
4.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
4.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

4. EMBALSE ROMERAL

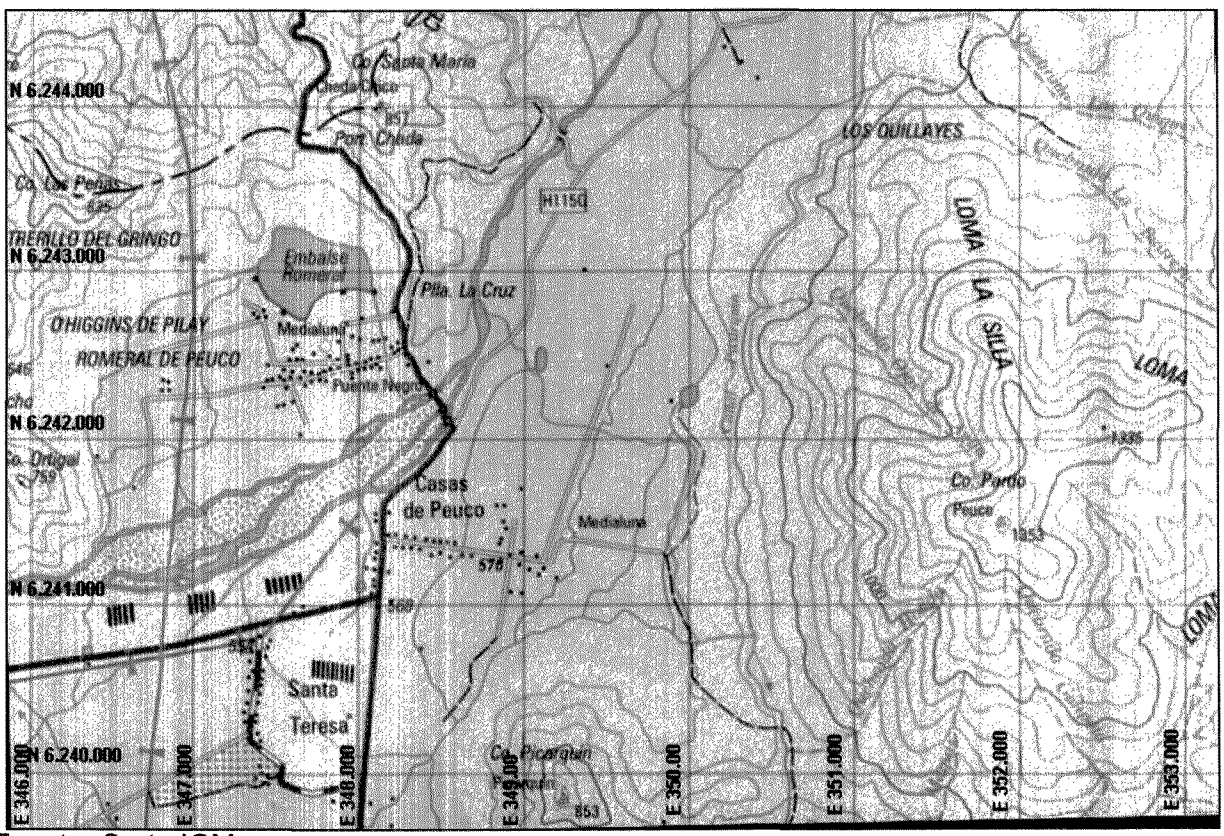
4.1 Ubicación

El embalse Romeral se ubica en la comuna de Mostazal, provincia de Cachapoal, en las coordenadas UTM 6.243.049 Norte y 347.347, Datum WGS 84 a una Altitud de 585 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Maipo, subcuenca del Río Cachapoal y la fuente corresponde al Río Peuco.

Este sitio de embalse se localiza entre el límite entre la Región Metropolitana y VI Región y el Río Peuco, al norte del camino H-15 que une las localidades de La Punta y Chada. Se llega al sitio del embalse por este camino cruzando el río Peuco por un poco menos que 1 km, desde allí se toma un camino lateral al poniente hasta llegar al mismo sitio de embalse.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 4.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE ROMERAL



Fuente: Carta IGM

4.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a la Comunidad O'Higgins de Pilay. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1940.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 0,616 hm^3. La altura máxima del muro es de 8,5 m, con una longitud de coronamiento de 148 m y ancho promedio del coronamiento de 2,1 m y borde libre de 0,5 m. Los taludes de los muros son:

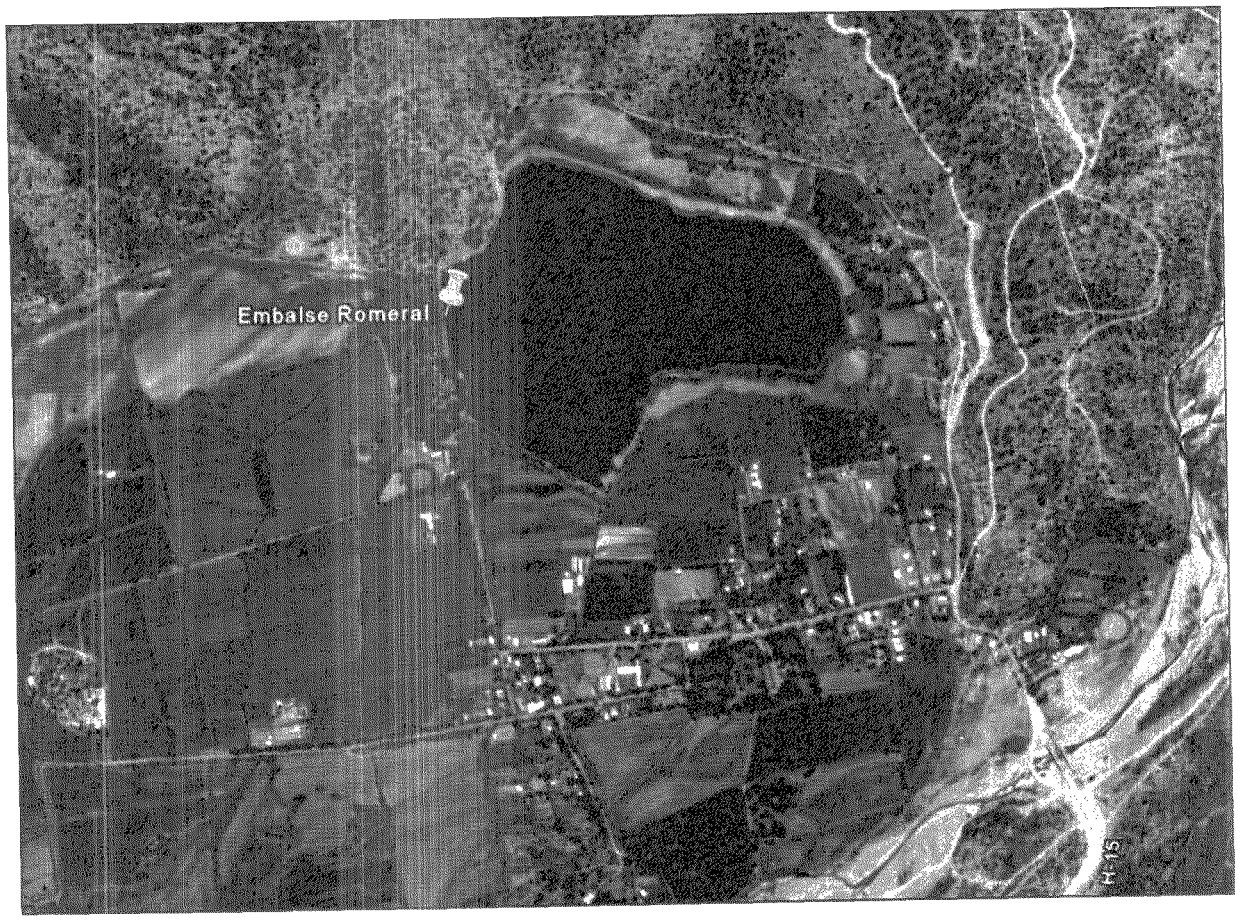
	MURO 1	MURO 2
Talud Aguas Arriba H:V	1,11:1	1,92:1
Talud Aguas Abajo H:V	1,73:1	1,92:1

El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal de hormigón de longitud 6,0 m; ancho 3,0 m; altura 1,50 m, la cual se encuentra en buen estado de conservación y operación.

La ***obra de entrega*** corresponde a una torre circular de paredes de hormigón armado con compuerta volante de fierro, con una tubería de hormigón armado de sección rectangular por el fondo del muro. Sus medidas principalmente son: espesor paredes: 0,20 m; Ø interior 1,10 m; altura: 0,7 m; Profundidad del evacuador: 7 m. La salida también es con una obra de hormigón de 2,1ancho x 1,5 alto y Ø tubería 0,40 m

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 4.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE ROMERAL





Vista panorámica Embalse Romeral

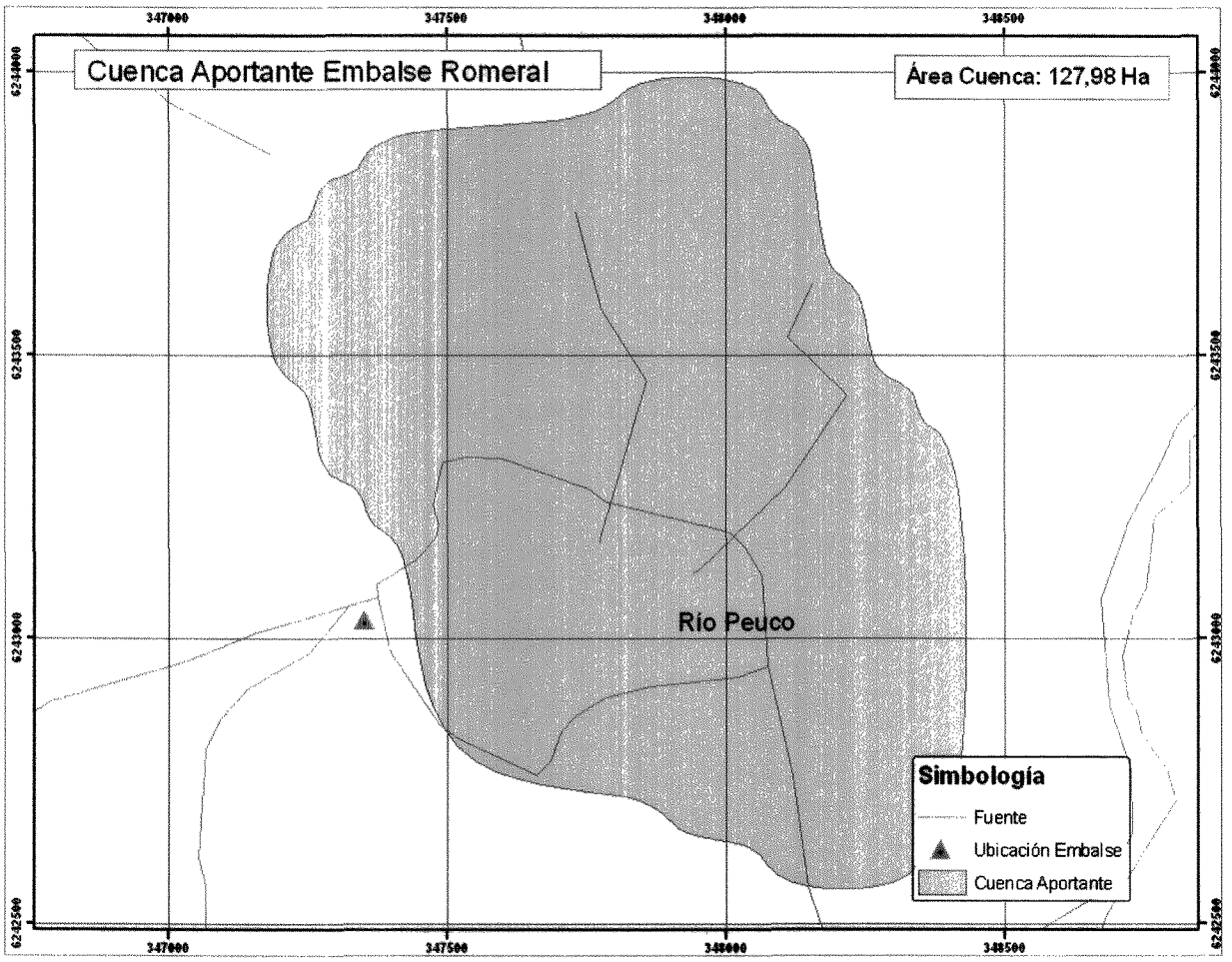
4.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Romeral tiene como fuente al río Peuco, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 1,28 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 4.3-1
CUENCA EMBALSE ROMERAL



CUADRO 4.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Romeral
SUPERFICIE (ha)	Total	128,0
	Pluvial	128,0
PERÍMETRO (m)	Total	5.400,0
	Pluvial	5.400,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	802,21
	Mínima	586,70
	Diferencia	215,51
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	18,6
	Cauce	4,9
LONGITUD CAUCE (km)	Total	1,08
	Desde centro de gravedad	0,54
CENTROIDE CUENCA	UTM Este	347.804
	UTM Norte	6.243.370
	Altura (msnm)	593,21
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM Este	347.742
	UTM Norte	6.243.170
	Altura (msnm)	583,52
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (hr)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Romeral	0,13	0,52	0,03	0,24	0,24

➢ **Precipitaciones Máximas**

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Romeral	Rapel	0,062	120	Coya

➢ **Caudales de Crecidas**

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

NOMBRE EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Romeral	T=2	0,47	Coya	0,639	5,190	0,880	3,610
	T=5	0,60	Coya	0,857	6,960	1,270	6,184
	T=10	0,68	Coya	0,980	7,970	2,170	8,030
	T=20	0,77	Coya	1,136	9,223	2,951	10,519
	T=25	0,80	Coya	1,160	9,460	3,160	11,210
	T=50	0,87	Coya	1,310	10,660	3,990	13,740
	T=100	1,00	Coya	1,450	11,740	5,169	17,390

➢ Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Romeral	0,95	1,68	2,26	2,59	2,92	3,15	3,89	4,75

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)			
	T=200	T=250	T=500	T=1000
Romeral	5,61	5,85	6,62	7,39

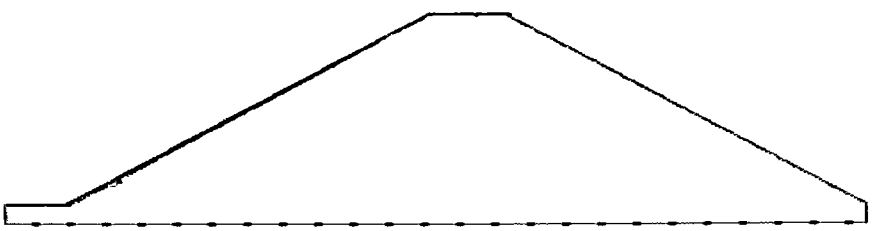
4.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

	MURO 1	MURO 2
Altura:	7,5 m	8,5 m
Ancho coronamiento	2,7 m	2,1 m
Borde libre	0,5 m	0,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,11 : 1	H : V= 1,92 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,73 : 1	H : V= 1,92 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 4.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Arenosa	ø = 22°	2,5	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 4.4-1
MURO 1: TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

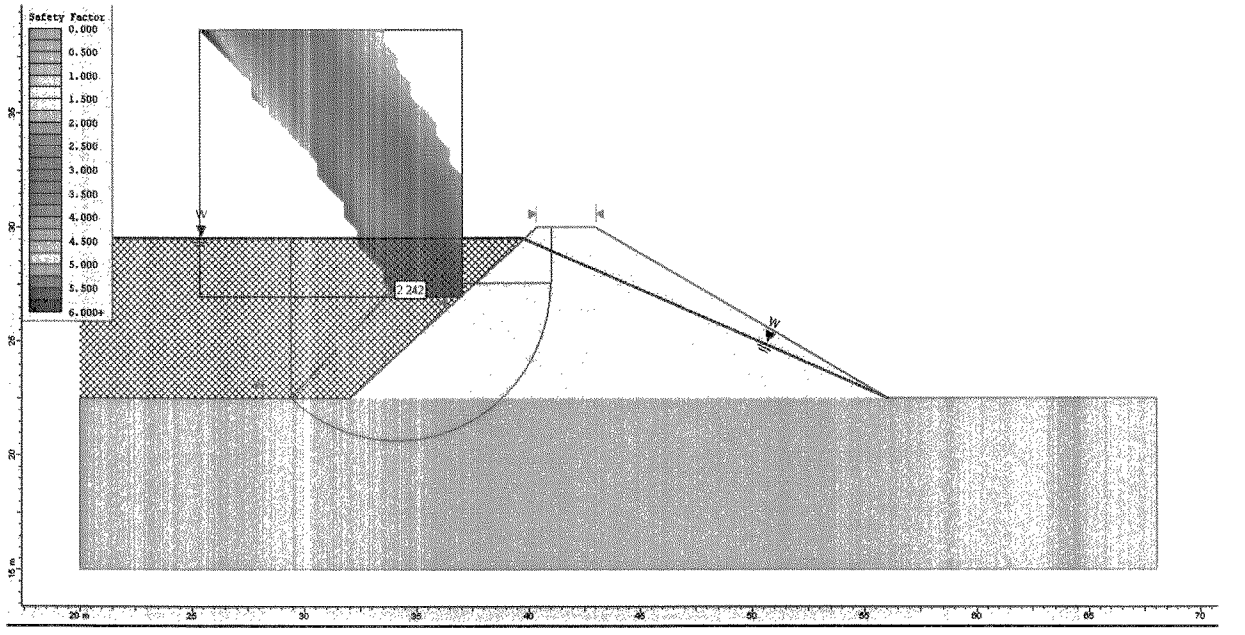


FIGURA 4.4-2
MURO 1: TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

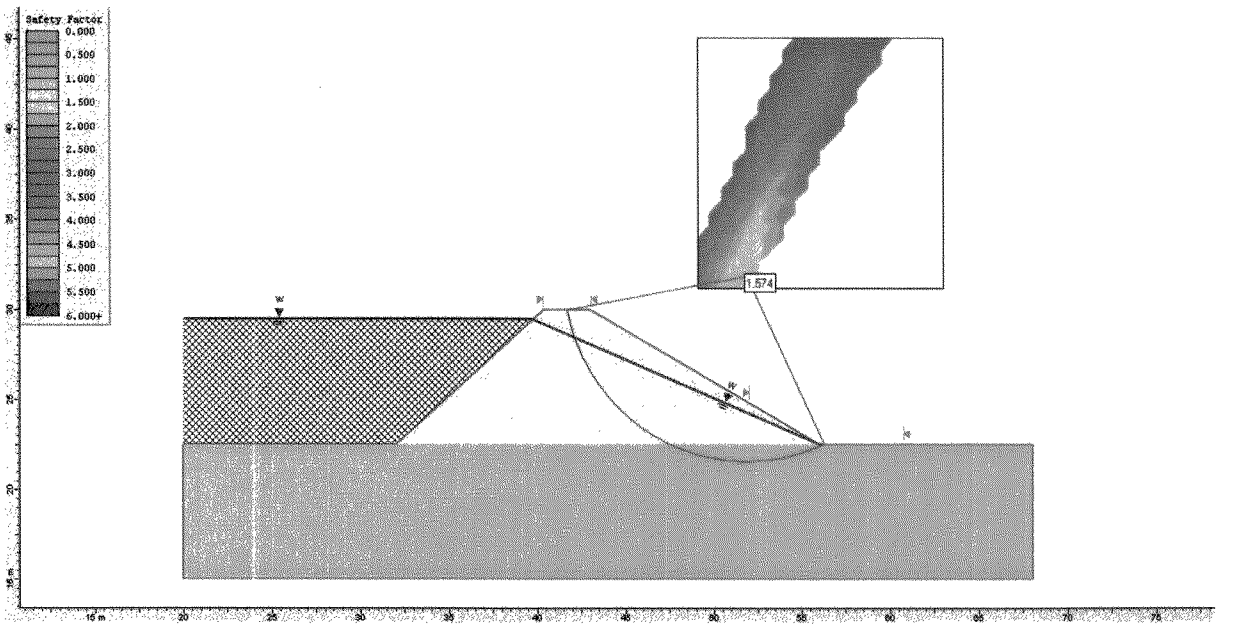


FIGURA 4.4-3
MURO 1: TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

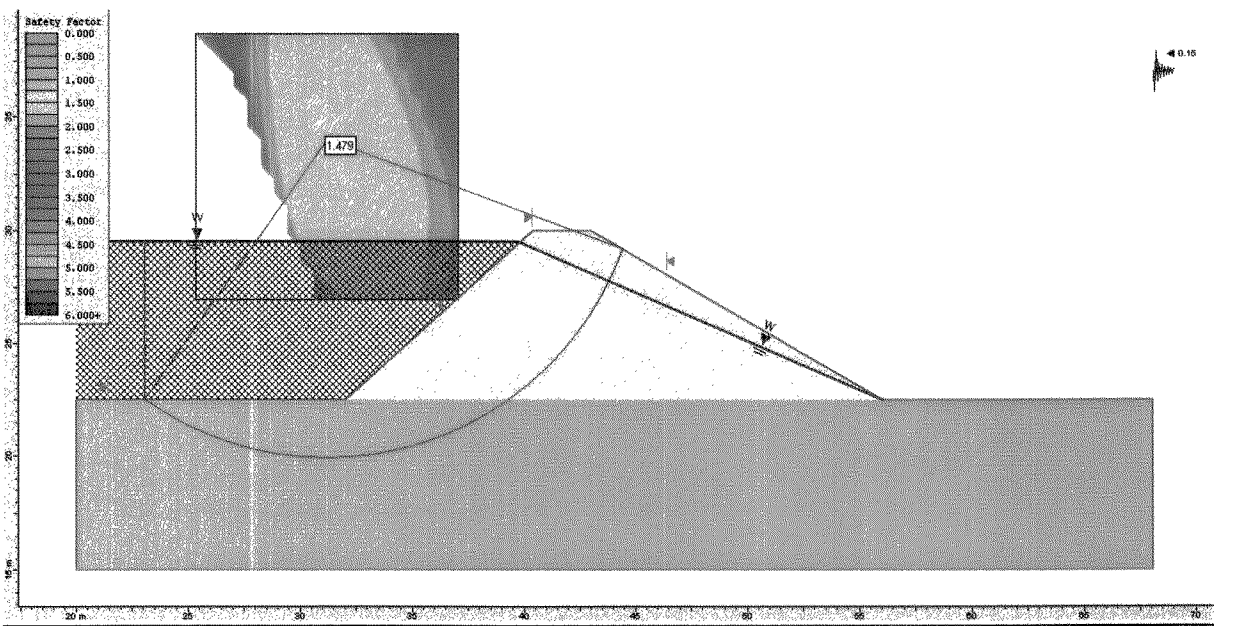


FIGURA 4.4-4
MURO 1: TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

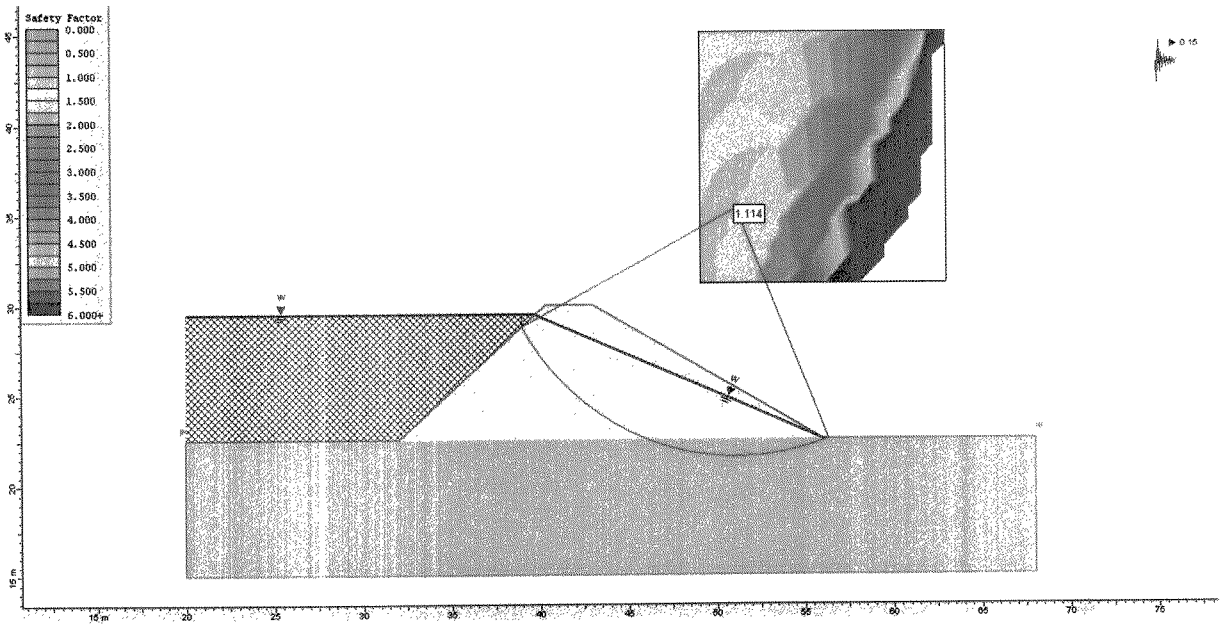


FIGURA 4.4-5
MURO 1: TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

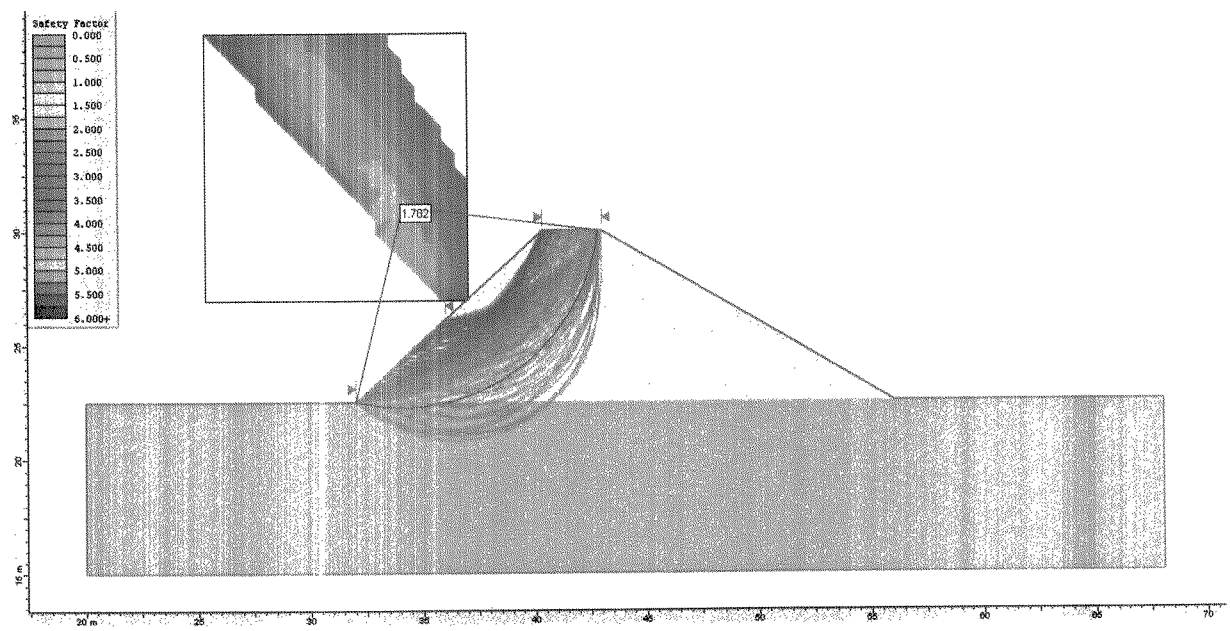


FIGURA 4.4-6
MURO 1: TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

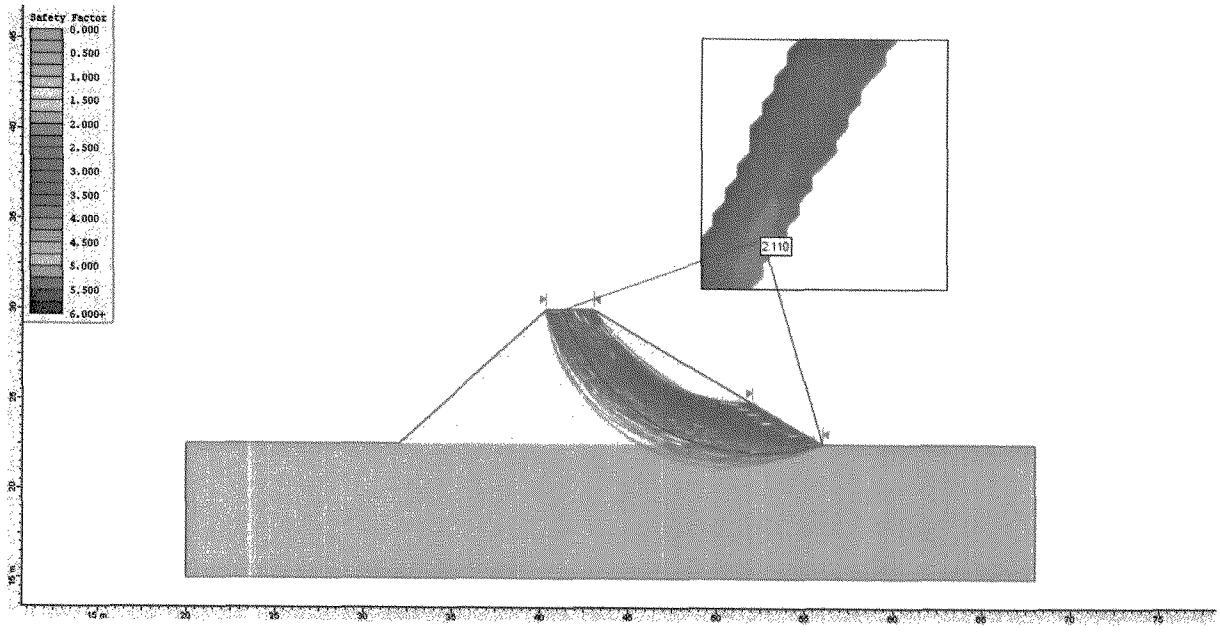


FIGURA 4.4-7
MURO 1: TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

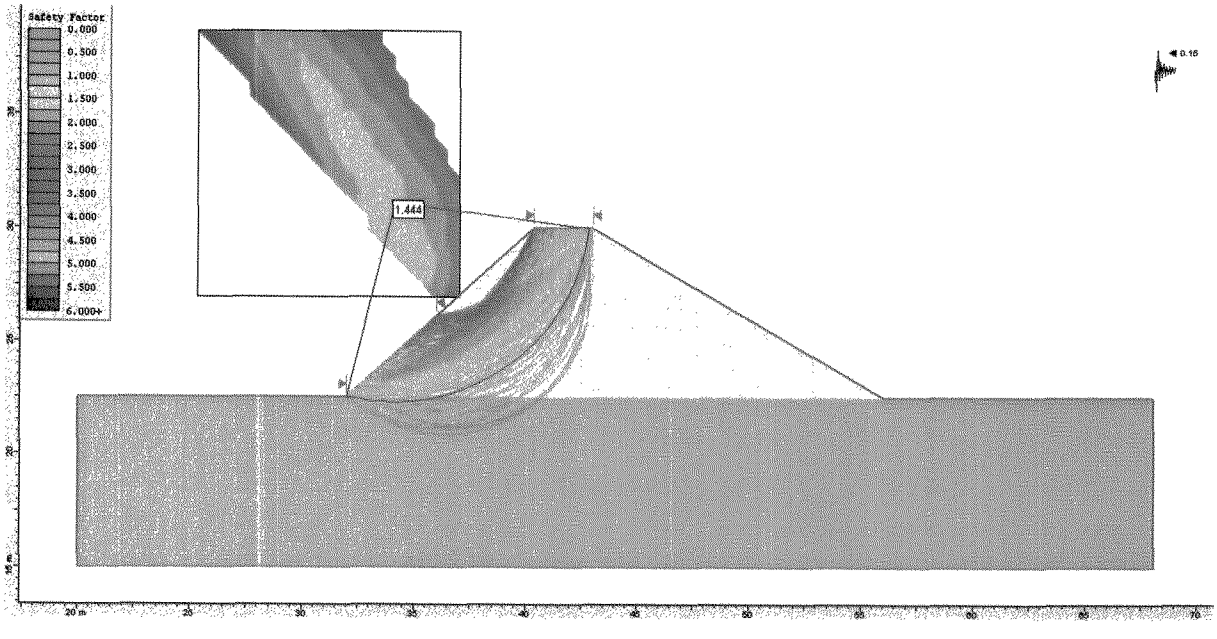


FIGURA 4.4-8
MURO 1: TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA

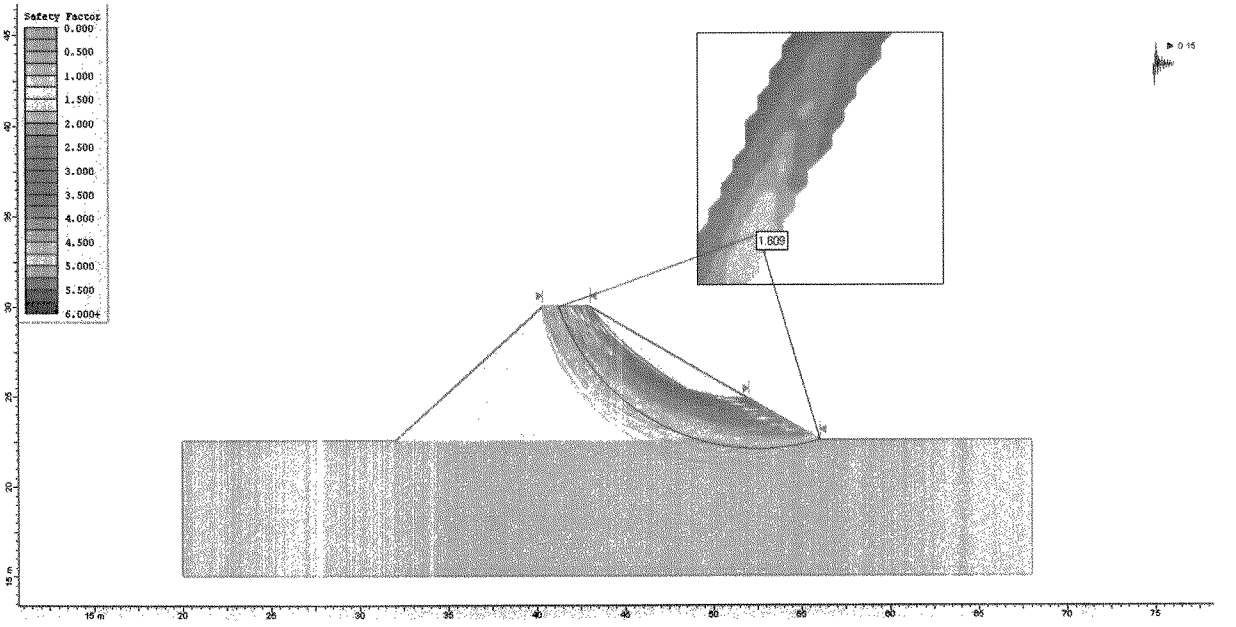


FIGURA 4.4-9
MURO 2: TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

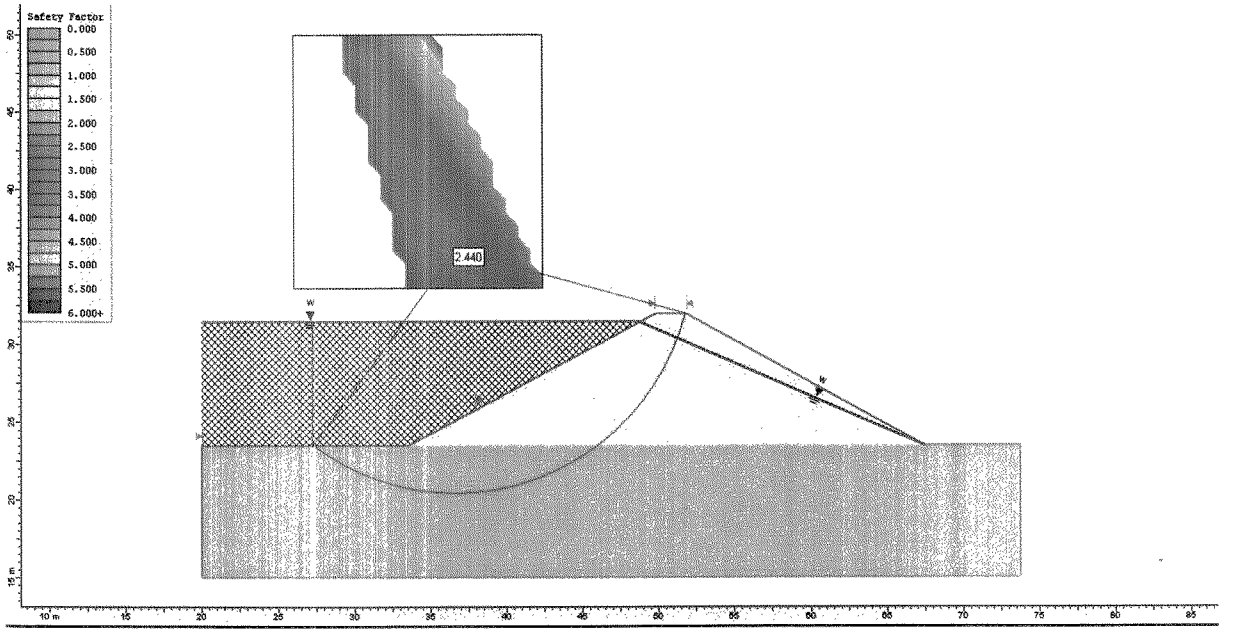


FIGURA 4.4-10
MURO 2: TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

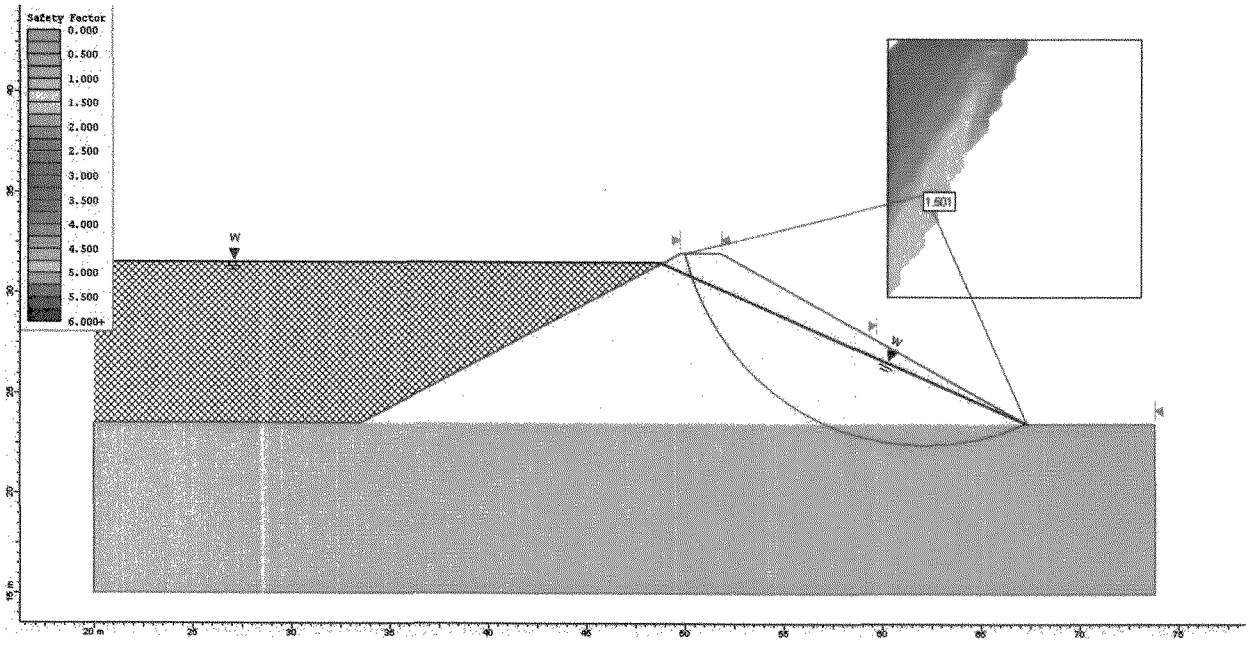


FIGURA 4.4-11
MURO 2: TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

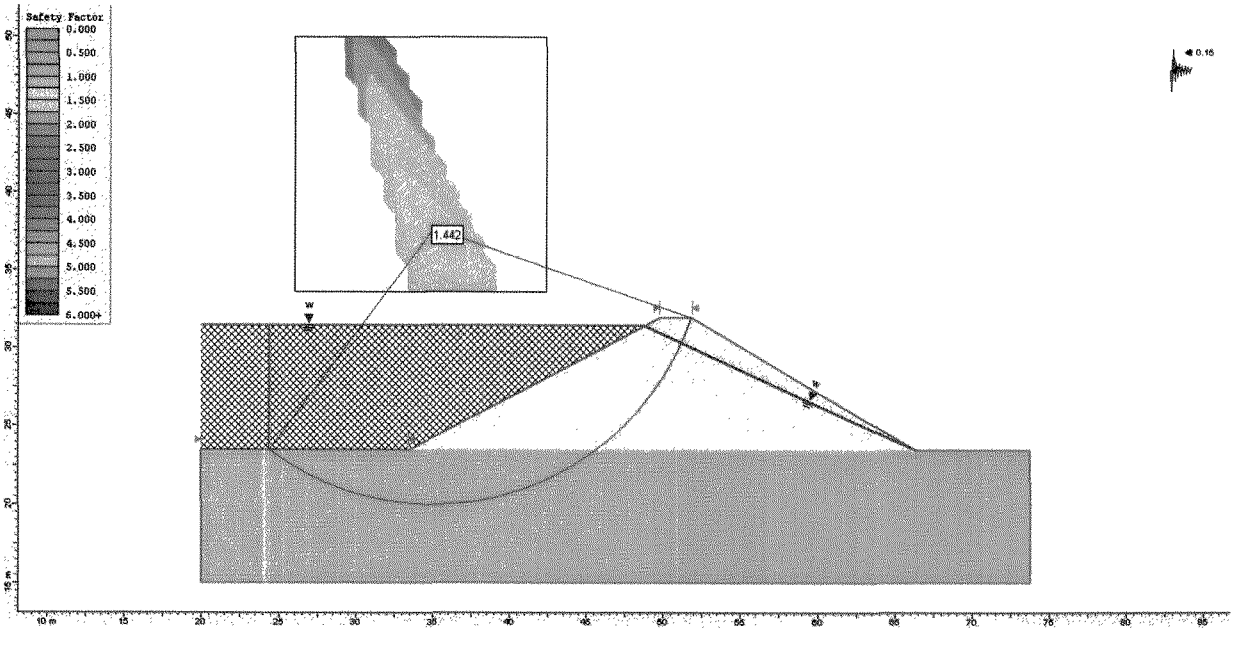


FIGURA 4.4-12
MURO 2: TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

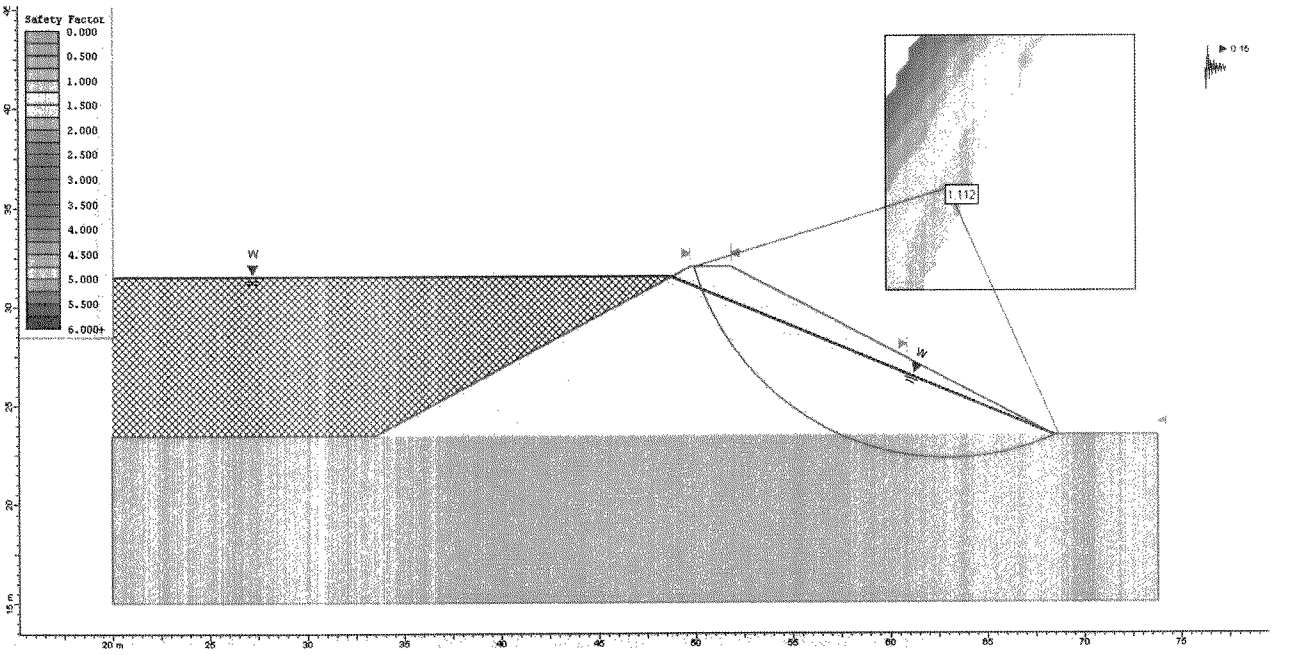


FIGURA 4.4-13
MURO 2: TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

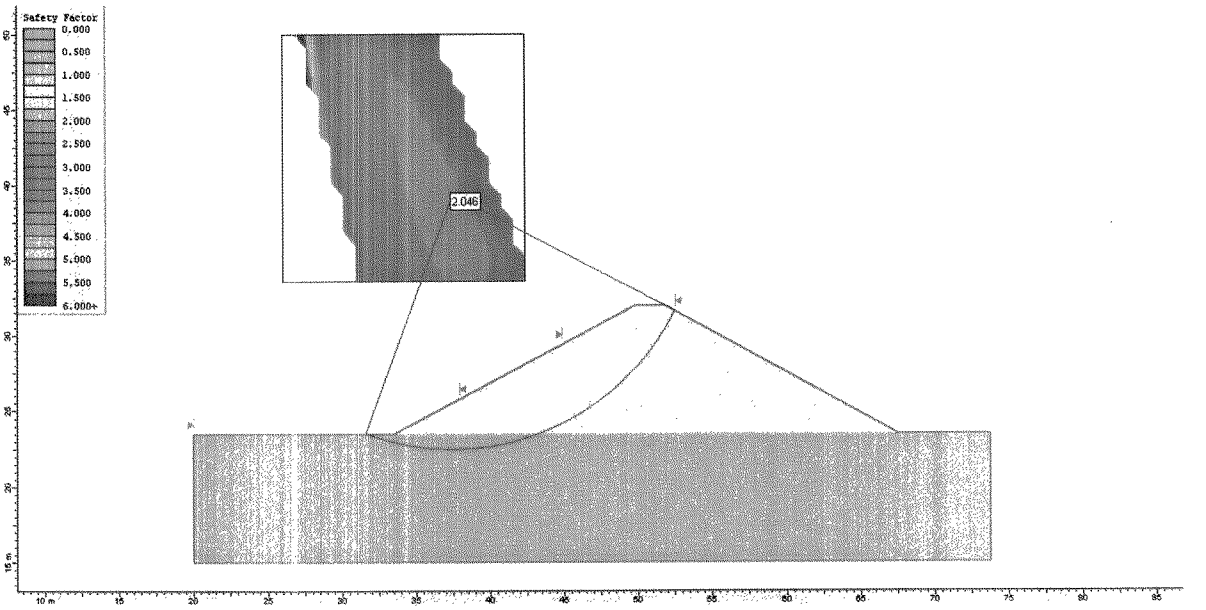


FIGURA 4.4-14
MURO 2: TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

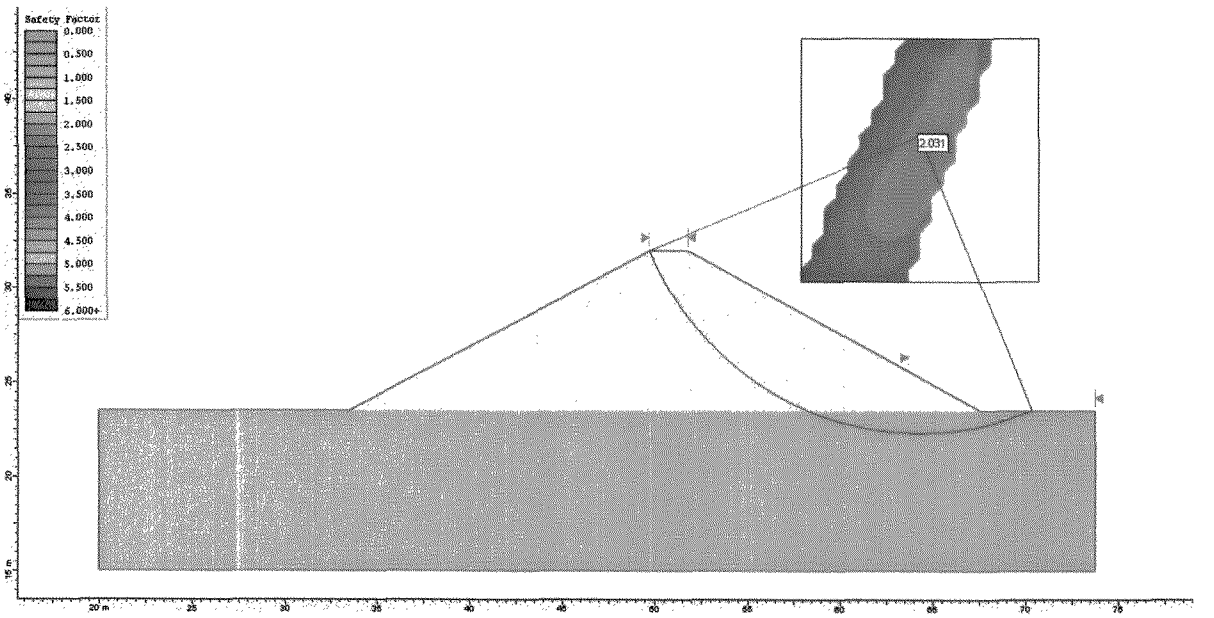


FIGURA 4.4-15
MURO 2: TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

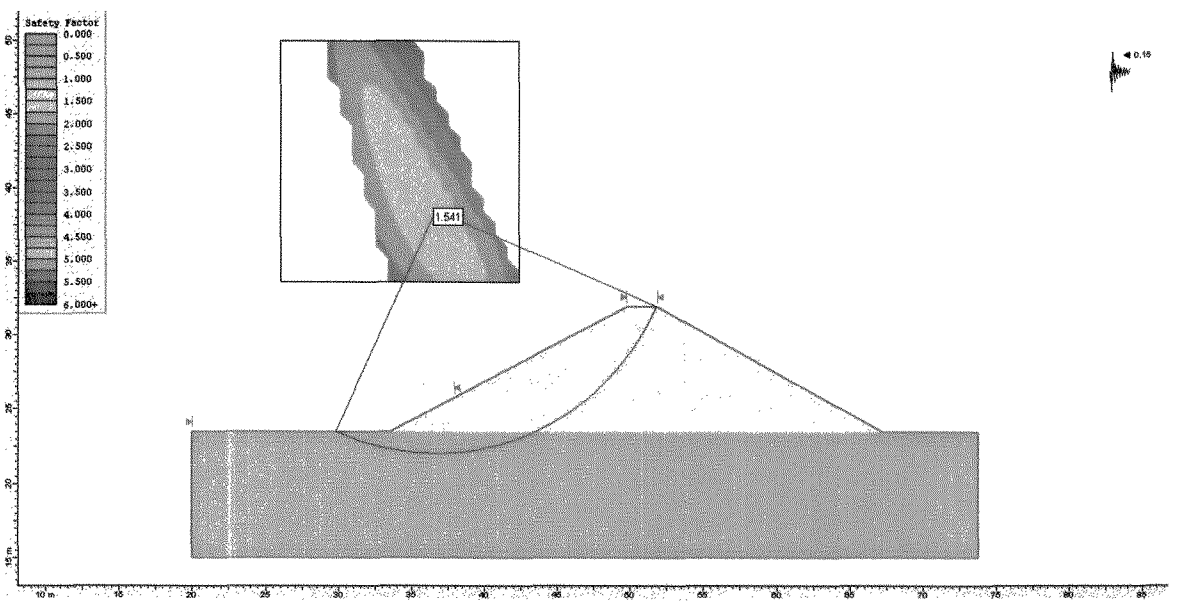
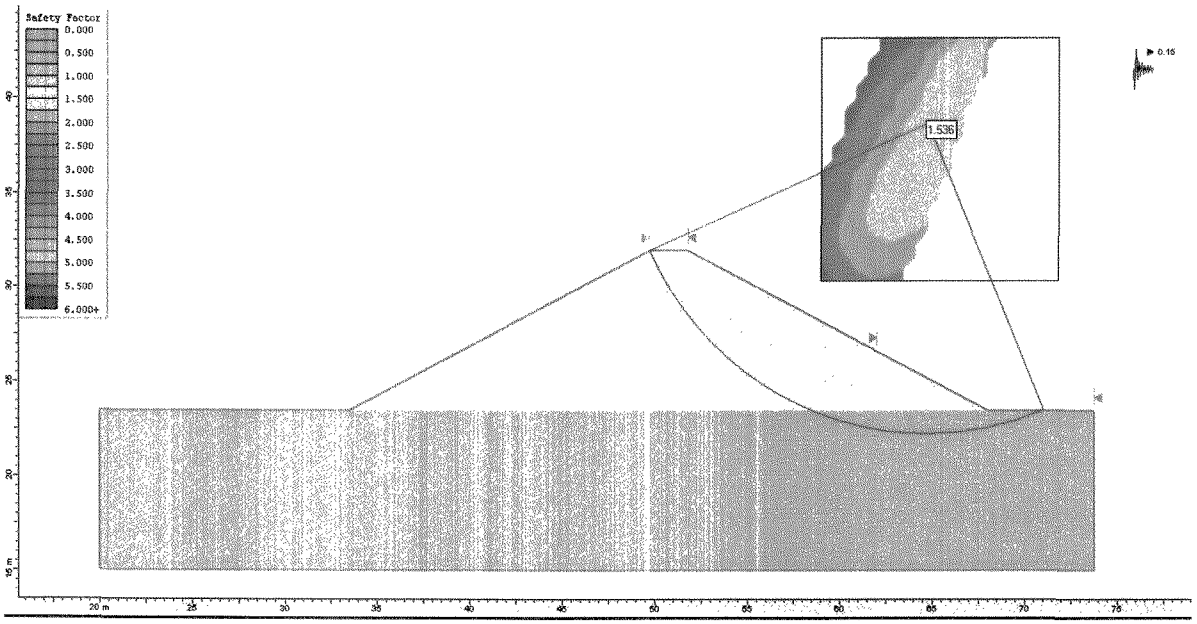


FIGURA 4.4-16
MURO 2: TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 4.4-2
MURO 1: FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1.5		Factor de seguridad 1.1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Romeral M1	2,242	1,547	1,479	1,114

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1.5		Factor de seguridad 1.1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Romeral M1	1,782	2,110	1,444	1,609

CUADRO 4.4-3
MURO 2: FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1.5		Factor de seguridad 1.1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Romeral M2	2,447	1,320	1,447	1,025

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1.5		Factor de seguridad 1.1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Romeral M2	2,109	1,639	1,576	1,360

4.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Romeral***, se tiene:

	MURO 1	MURO 2	
Lh (m) =	24,0	23,4	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,8	1,8	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	7,0	5,04	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
ROMERAL M1	24,0	0	8,01	7,5	0,5	7	1,80	12,6	No

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
ROMERAL M2	23,4	0	7,80	5,5	0,5	5,041	1,80	9,1	No

4.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Romeral

ROMERAL
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea N°	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	°			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	144	0,0895	0,0494
2	36	0,8090	0,6545	148	0,0920	0,0602
3	30	0,8660	0,7500	142	0,0882	0,0662
4	24	0,9135	0,8346	137	0,0851	0,0710
5	18	0,9511	0,9045	158	0,0982	0,0888
6	12	0,9781	0,9568	147	0,0913	0,0874
7	6	0,9945	0,9891	153	0,0951	0,0940
8	0	1,0000	1,0000	163	0,1013	0,1013
9	6	0,9945	0,9891	155	0,0963	0,0953
10	12	0,9781	0,9568	141	0,0876	0,0838
11	18	0,9511	0,9045	131	0,0814	0,0736
12	24	0,9135	0,8346	94	0,0584	0,0487
13	30	0,8660	0,7500	87	0,0541	0,0405
14	36	0,8090	0,6545	79	0,0491	0,0321
15	42	0,7431	0,5523	71	0,0441	0,0244
	Suma	**13,5109**			Suma	**1,0168**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,075 millas
F = 121,12 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,39	0,7278
Molitor	2,31	0,7029
Creager	0,74	0,2244
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de 0,50 m, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

4.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

4.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	
		Muro 1	Muro 2
No se registra falla para el evento dado	0,05	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		

4.7.2 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	0,9
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación: **2.34** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,432 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **1,01** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	5,61	0,95	0,00	0
0,002	6,62	0,95	0,00	0
0,0010	7,39	0,95	0,00	0

4.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado	
		Muro 1	Muro 2

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	0,2	0,2
Si existe sistema de drenaje	0		
Si el material es cohesivo	0,05		

4.7.4 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	0,25

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

4.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

Riesgo	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Muro 1	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00
Muro 2	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía para los muros 1 y 2.

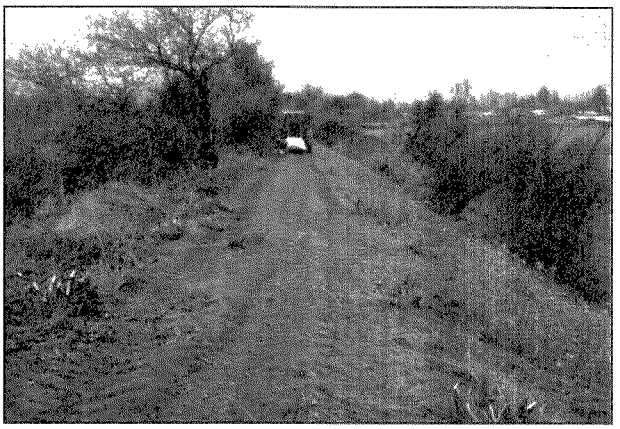
4.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del embalse Romeral.

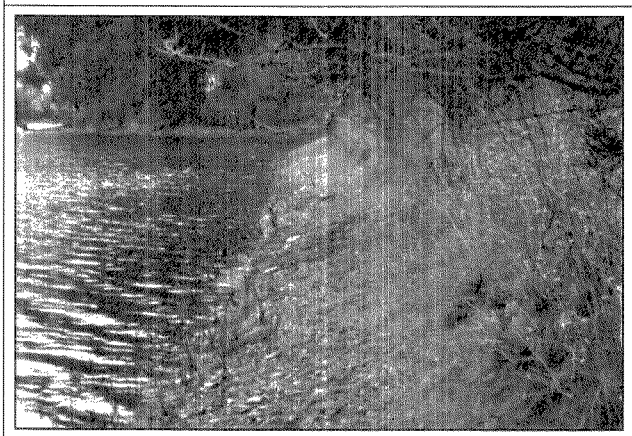
VISTA MURO 1 DESDE ESTRIBO DERECHO



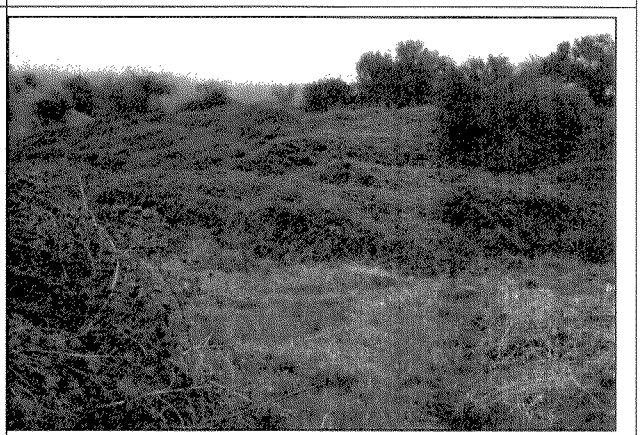
VISTA MURO 2 DESDE ESTRIBO DERECHO



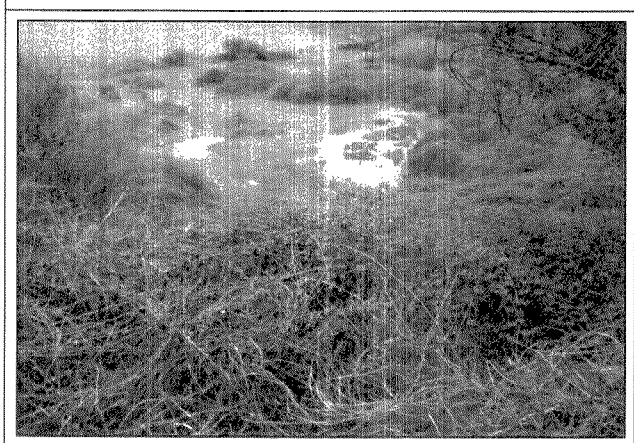
VISTA TALUD AGUAS ABAJO MURO 1



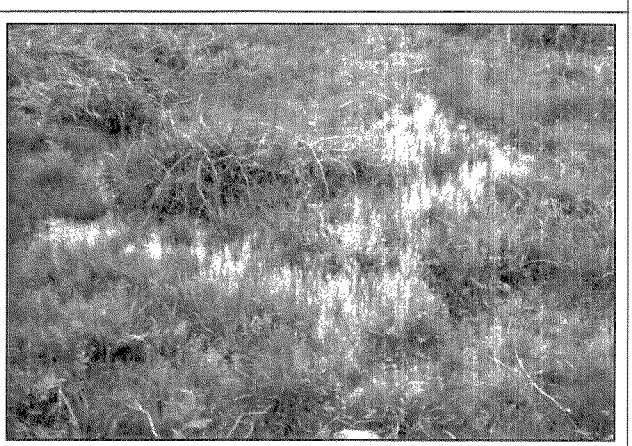
CUBIERTA DE VEGETACIÓN EN TALUD AGUAS ABAJO MURO 1

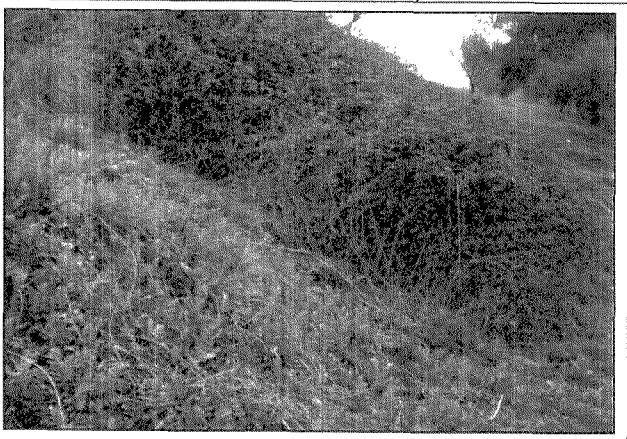
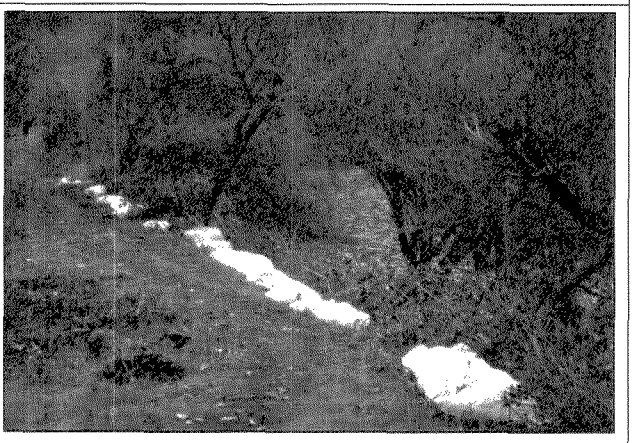
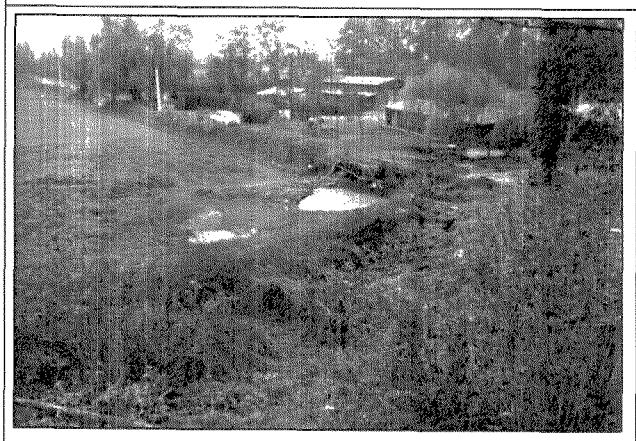
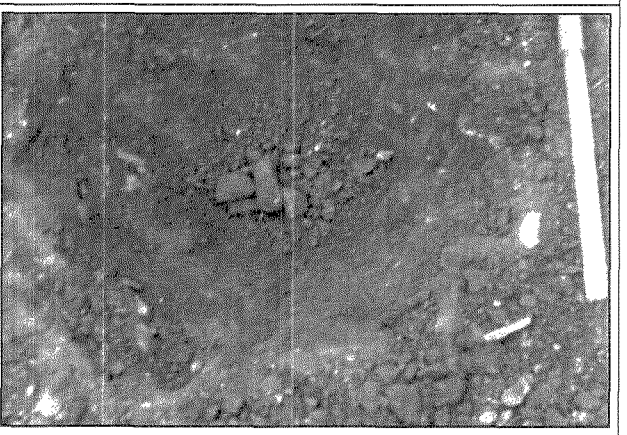
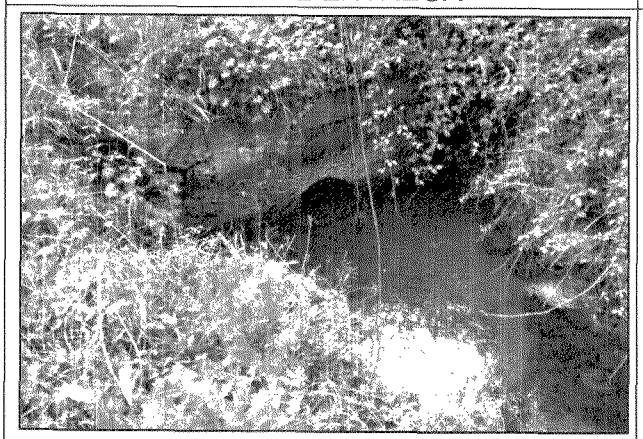
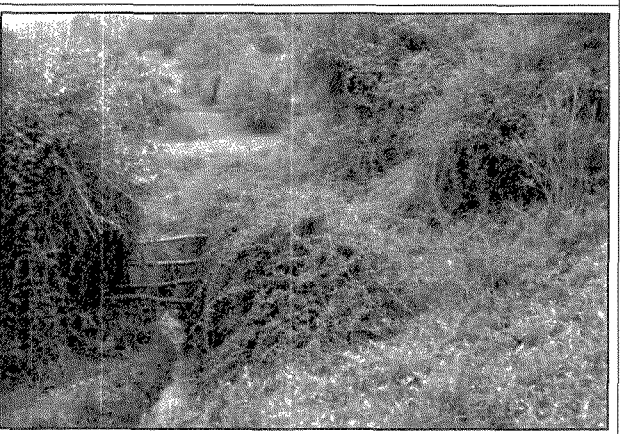


ZONA DE SATURACIÓN MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO



SATURACIÓN TALUD AGUAS ABAJO MURO 1



POSIBLE FILTRACIÓN EN MURO 1 EN EL TALUD AGUAS ABAJO EN EL PIE (ZARZAMORAS)	COLOCACIÓN DE SACOS DE ARENA Y VEGETACIÓN EN TALUD AGUAS BAJO DE MURO 2
	
FILTRACIÓN ESTRIBO DERECHO MURO 2	CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
	
OBRA DE ENTREGA	OBRA DE ENTREGA
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Romeral Muro 1
Propietario	Comunidad O'higgins de Pilai
RUT Propietario	En Trámite
Año de construcción	1940
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Maipo
Subcuenca / Código DGA	Río Aconcagua
Fuente del recurso	Río Peuco

N° de ficha	4.1
Fecha (dd/mm/año)	02-09-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	San Francisco de Mostazal	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.243.111	E= 347.339
Coordenadas UTM Centro	N= 6.243.049	E= 347.347
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.242.967	E= 347.354
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED= 581; C= 585; EI=589	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	148		
Ancho del coronamiento (m)	ED=2,3;	C= 2,6;	EI= 3,2
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	15,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,5		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo (°)	ED=26°;	C: 30°;	EI : 34°
Ángulo talud de aguas arriba (°)	ED=45°;	C: 40°;	EI : 40°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	8,5
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	8,0
Área estimada o calculada de la poza (m2)	308.000
Ancho máximo de la poza (km)	0,4
Largo de la poza (km)	0,77
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,616

7. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.243.049 E= 347.347	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Arenosa

ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Aguas arriba socavados por oleaje, aguas abajo uniformes a semiuniformes, cubiertos por zarzas
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se visualizan depresiones
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	Gran sector saturado bajo el muro a 50 mts app en los metrajes 0 a 100. altura del agua entre 10 y 30 cms, área bastante considerable (ver álbum fotográfico)
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Posibles filtraciones en el metraje 100, dado la existencia de grandes zarzas (ver álbum fotográfico)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada mezclada con piedras (bolones), además de protección con zarzas y matorral arborescente

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
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	
Trapezoidales	X
Triangulares	
Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Frontal
Material constructivo	De Mampostería en piedra
Estado de conservación y operatividad	En buen estado, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	longitud 6,0 m ; ancho 3,0 m; altura 1,50 m

9. CARACTERISTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

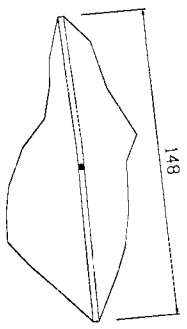
Tipo de estructura	Torre circular de paredes de hormigón armado con compuerta volante de fierro / Tubería de hormigón armado de sección rectangular por el fondo del muro
Mediciones estructurales	Espesor paredes : 0,20 m ; Ø interior 1,10 m; altura : 0,7 m; Profundidad del evacuador: 7 mts. La salida también es con una obra de hormigón de 2,1ancho x 1,5 alto y Ø tubería 0,40 m
Funcionamiento actual	En buen estado, funcionando

10. CARACTERIZACION 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, terreno plano, agrícolas, pendiente media de1%, ancho medio cauce 13,0 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	246 m
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	246 m
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacentes
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Adyacentes
Área de riego servida por el tranque analizado	150 ha

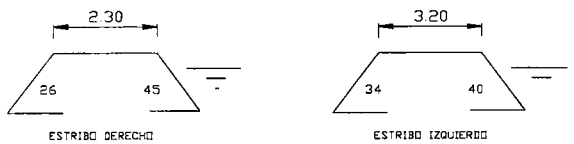
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

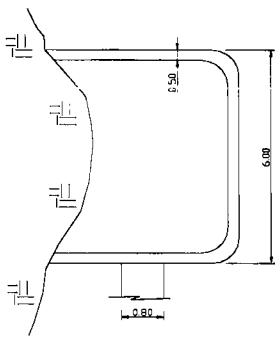


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

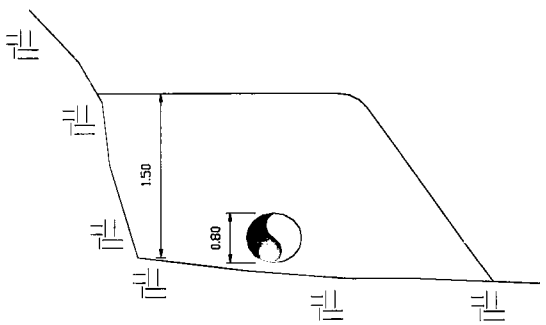
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes respecto a la horizontal.



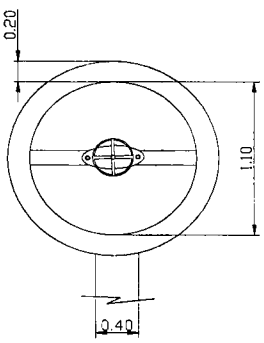
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



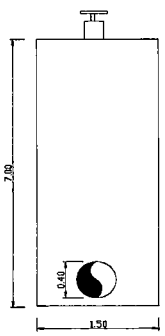
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

Infiltraciones y sectores saturados aguas abajo del muro, a 50 m aprox. Se encuentra saturado a pesar de contar con un canal de contorno para el control de aguas

La obra de toma se encuentra en el metro 108 desde el estribo derecho, el material es de hormigón con compuerta de fierro, la salida es mediante tubería

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Romeral Muro 2
Propietario	Comunidad O'higgins de Pilai
RUT Propietario	En Trámite
Año de construcción	1940
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Maipo
Subcuenca / Código DGA	Río Aconcagua
Fuente del recurso	Río Peuco

N° de ficha	4.2
Fecha (dd/mm/año)	02-09-2009

Cumplimiento Art. 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	San Francisco de Mostazal	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.242.867	E= 347.385
Coordenadas UTM Centro 1	N= 6.242.807	E= 347.487
Coordenadas UTM Centro 2	N= 6.242.734	E= 347.631
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.242.857	E= 347.703
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED= 591; C1= 586; C2=583; EI=586	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C1= Centro1 C2= Centro2
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha	
Longitud del coronamiento (m)	427
Ancho del coronamiento (m)	ED= 2,4 ; C1= 2,3 ; C2= 1,8 ; EI= 2,0
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	12,0
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,5
Paramentos verticales	NO
Con eclímetro	
Angulo talud de aguas abajo (°)	ED= 30° ; C1= 30°; C2= 25° ; EI= 25°
Angulo talud de aguas arriba (°)	ED= 30° ; C1= 30°; C2= 25° ; EI= 25°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

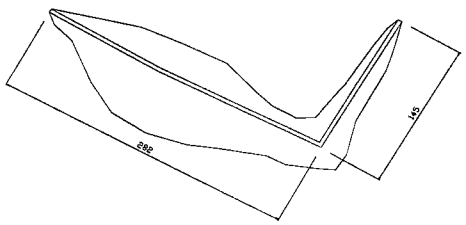
7. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Talud aguas arriba socavados por oleaje, aguas abajo uniformes a semiuniformes, cubiertos por zarzas
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se visualizan depresiones
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Se presenta una filtración en la parte baja del muro, en el estribo derecho de este (ver álbum fotográfico)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada mezclada con piedras (bolones), además de protección en ambos taludes con zarzas y matorral arborescente

10. CARACTERIZACION 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, terreno plano, agrícolas, pendiente media de1%, ancho medio cauce 13,0 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	248 m
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	248 m
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacentes
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Adyacentes
Área de riego servida por el tranque analizado	150 ha

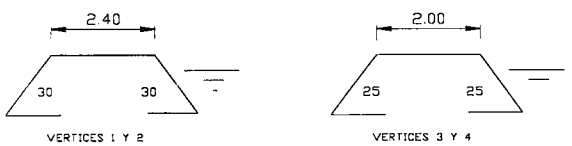
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)



Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes respecto a la horizontal.



12. OBSERVACIONES

El Muro 2 corresponde a muro auxiliar, separado del muro principal por pequeño cerro.

El muro 2 presenta zocavamiento por oleaje en todo su largo lo que hace que el talud se pierda o disminuya

Al momento de la visita el talud aguas arriba estaba siendo reforzado con sacos con arena y cubierta vegetal de espinos cortados.

EMBALSE PICARQUÍN

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

5. EMBALSE PICARQUÍN

5.1 Ubicación

5.2 Características Generales

5.3 Crecidas Afluentes al Embalse

- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

5.4 Análisis de Estabilidad

- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

5.5 Determinación de Filtraciones

5.6 Verificación del Oleaje

5.7 Análisis de Riesgo (Hazop)

5.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

5. EMBALSE PICARQUÍN

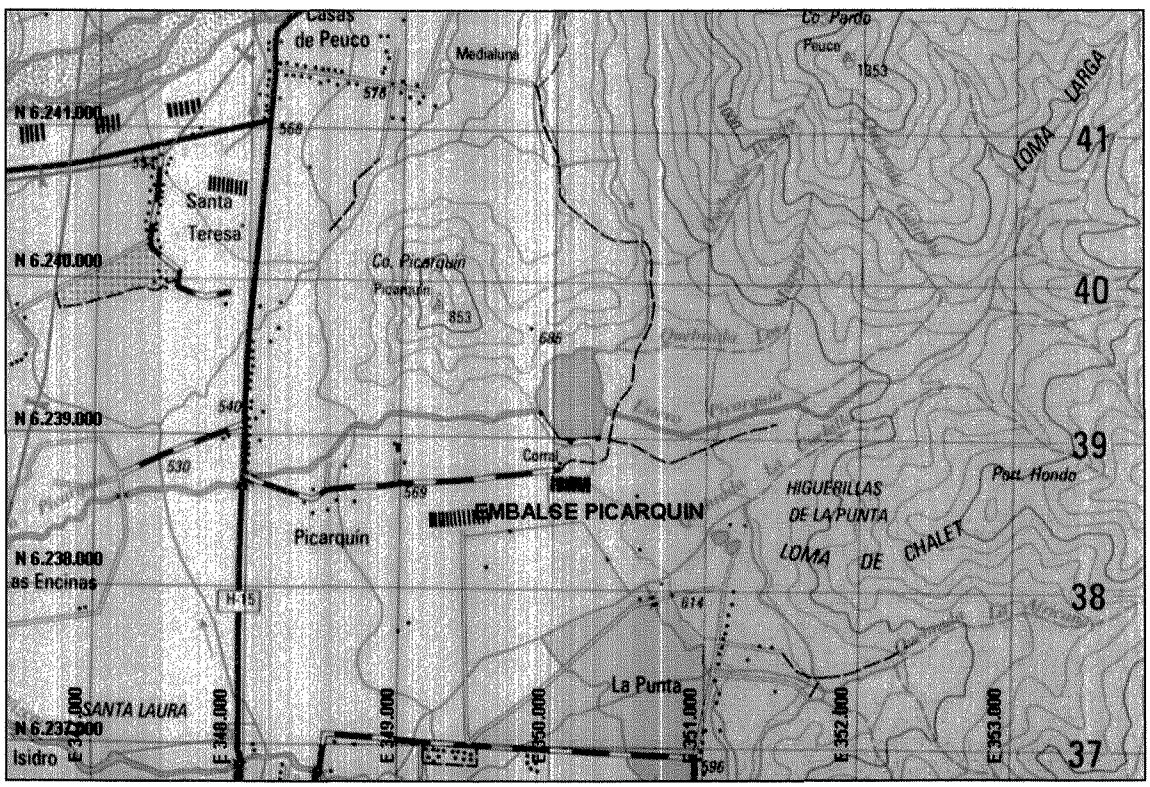
5.1 Ubicación

El embalse Picarquín se ubica en la comuna de Mostazal, provincia de Cachapoal, en las coordenadas UTM 6.238.987 Norte y 350.614 Este, Datum WGS 84. Se localiza en la cuenca del Maipo, subcuenca del Río Angostura y la fuente corresponde al estero Picarquín.

Acceso desde Ruta 5 sur por desvío por la ruta H-111 hacia el oriente hasta Santa Teresa por 6 km, luego hacia el norte hasta Casas de Peuco (aprox. 300 m) y tomar camino de 1 km hacia Recinto Picarquín. Acceso controlado. Finalmente por caminos interiores hasta el tranque.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 5.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE PICARQUÍN



Fuente: Carta IGM

5.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra, que se alimenta a través de un canal alimentador proveniente del estero Picarquín. El embalse es de propiedad de John Botto. El uso y destino del embalse es de riego.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 1,254 hm^3. La altura máxima del muro es de 20,1 m, con una longitud de coronamiento de 585 m y ancho promedio del coronamiento de 2,6 m, lo que se considera insuficiente con respecto a las recomendaciones para este tipo de presas, dada su altura. El borde libre es de 2,5 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,04:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=0,90:1, lo que constituye un serio riesgo para su estabilidad. La obra se encuentra en regular estado.

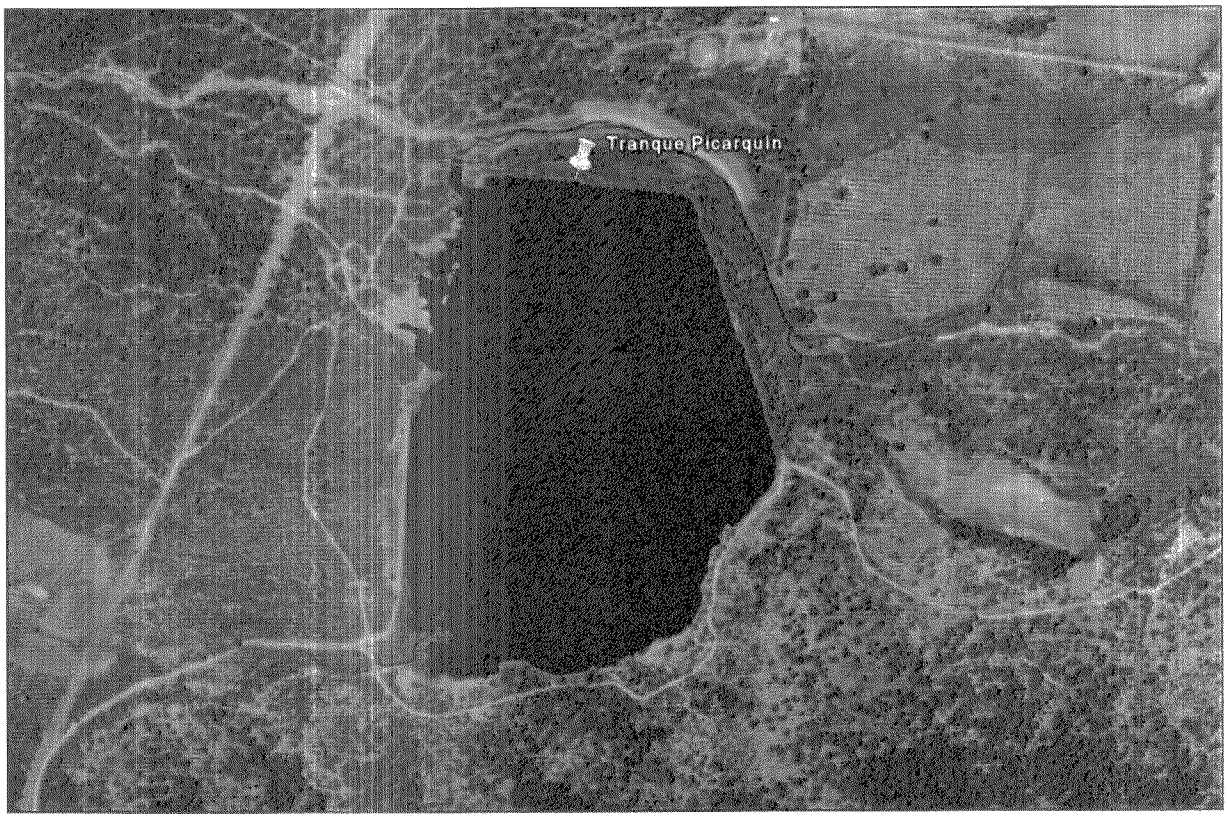
El ***evacuador de crecidas*** El vertedero se ubica en el estribo izquierdo de la presa, es del tipo frontal, está construido en hormigón y no tiene compuertas. No obstante, dispone de vanos con guías para la colocación de ellas o de tablones. El muro de embalse se apoya en el hormigón del vertedero. El vertedero tiene una carga máxima de 2,7 m, que disminuye en la medida que su umbral se peralte, lo que puede significar un riesgo de que las aguas sobrepasen el muro durante una crecida. Las medidas principales son: ancho de 13,0 m, largo 15 m. La obra, se encuentra en buen estado de conservación y operación. El vertedero entrega al cauce principal de la quebrada.

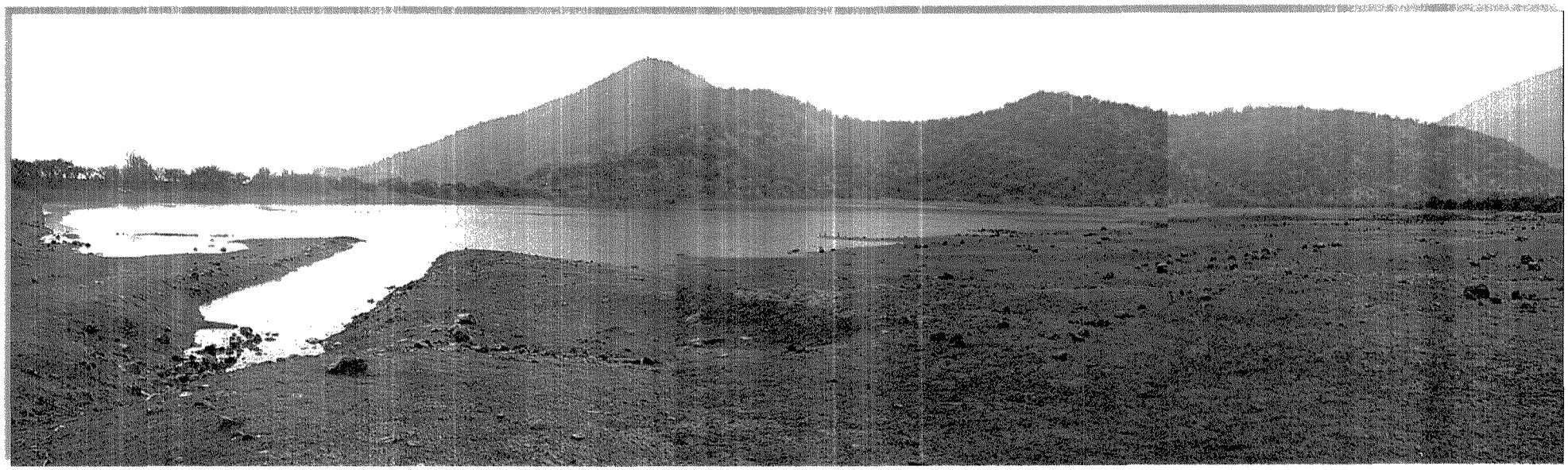
La ***obra de entrega*** se ubica aproximadamente al centro de la presa y consisten en un pique de captación con entrega a tres tuberías con válvulas de regulación ubicadas al pié del muro. El acceso al pique debe hacerse en balsa y a través de una escala de gato construida por su exterior, ya que no existe un puente desde el muro. La obra se encuentra en buen estado y operativa.

En resumen, ante la imposibilidad de observar con mayor detalle el embalse y por las dimensiones que tiene, se recomienda la realización de un estudio más detallado de su estabilidad y riesgos posibles de falla. Una eventual ruptura de la presa, podría poner en riesgo la vida de personas que se ubican aguas abajo, aunque su densidad sea baja. Además, podría perderse una gran cantidad de terreno agrícola aledaño al cauce aguas abajo. El factor positivo es que se trata de un embalse alimentado por recursos de otra cuenca, por lo que ante signos de comienzo de alguna falla, como por ejemplo aumento importante de las filtraciones, el nivel de las aguas podría bajarse en forma relativamente rápida por sus obras de entrega. Asimismo, se considera recomendable la construcción de mayores obras de control del comportamiento de la presa. Puede ser piezometría y aforadores en sectores estratégicos, como mínimo.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 5.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE PICARQUÍN





Vista panorámica Embalse Picarquín

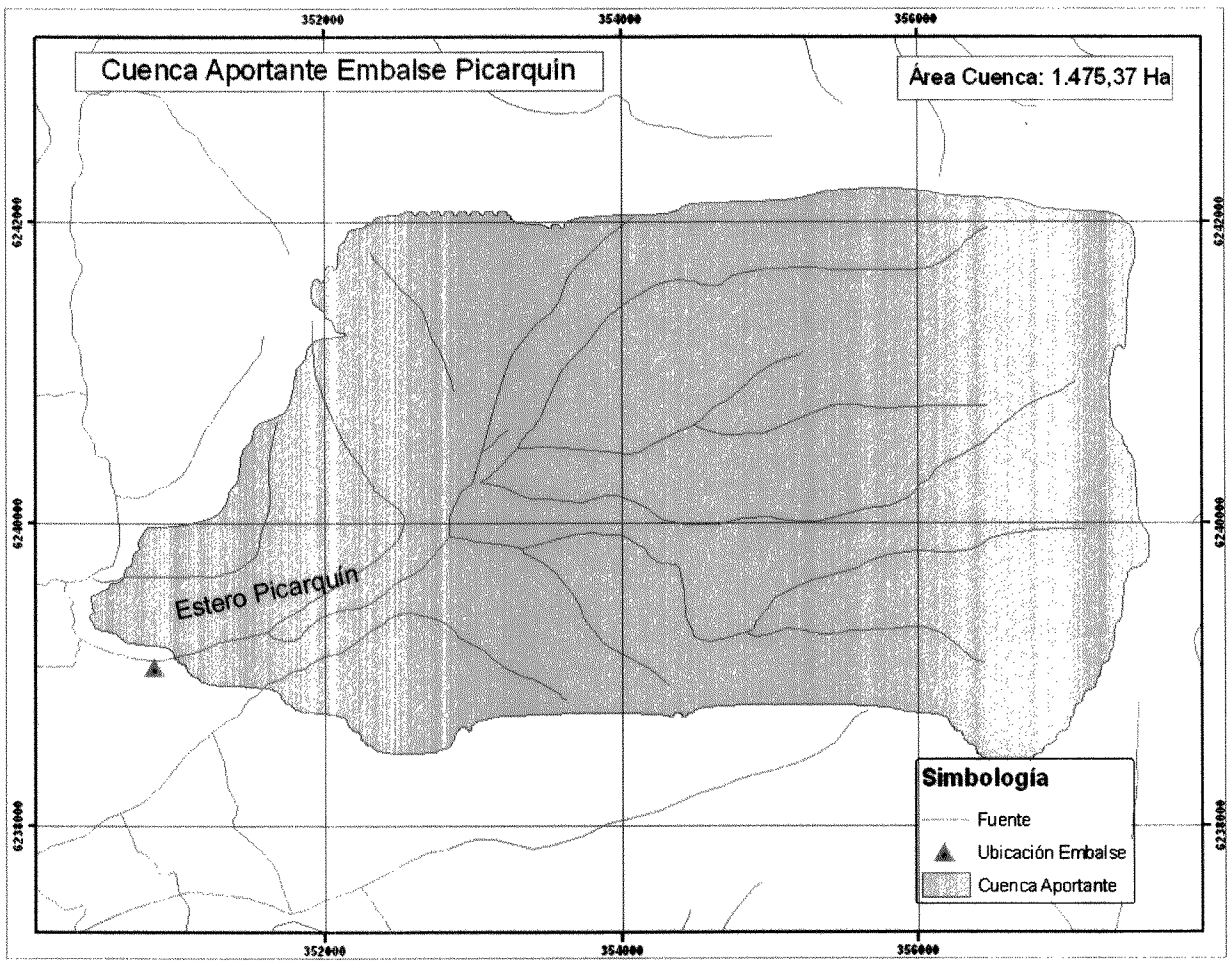
5.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Picarquín tiene como fuente al estero Picarquín, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie total de 20,55 km^2, siendo la superficie pluvial de 14,75 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 5.3-1
CUENCA EMBALSE PICARQUÍN



CUADRO 5.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Picarquín
SUPERFICIE (ha)	Total	2.055,7
	Pluvial	1.475,4
PERÍMETRO (m)	Total	26.460,0
	Pluvial	23.160,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	2.488,4
	Mínima	612,9
	Diferencia	1.875,4
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	44,2
	Cauce	30,6
LONGITUD CAUCE (km)	Total	7,72
	Desde centro de gravedad	3,86
CENTROIDE CUENCA	UTM E	353.654
	UTM N	6.240.400
	Altura (msnm)	1006,3
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	353.079
	UTM N	6.240.739
	Altura (msnm)	943
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}}\ (hrs);\quad con\ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $$tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Picarquín	0,55	1,70	0,03	0,73	0.73

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Picarquín	Rapel	0,123	140	Coya

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Picarquín	T=2	0,47	Coya	0,6	12,1	9,2	31,8
	T=5	0,60	Coya	0,9	16,2	13,2	54,5
	T=10	0,68	Coya	1,0	18,5	22,6	70,6
	T=15	0,73	Coya	1,1	20,1	26,9	82,4
	T=20	0,77	Coya	1,1	21,5	30,8	93,0
	T=25	0,80	Coya	1,2	21,9	32,7	98,3
	T=50	0,87	Coya	1,3	24,6	41,0	119,8
	T=100	1	Coya	1,4	27,2	53,5	152,5

➢ Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

-Crecidas Pluviales

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \cdot (Ap)^{0,915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Picarquín	7,38	18,03	24,37	27,88	31,43	33,87	41,91	51,17

- Crecidas de deshielo

El método denominado DGA-AC para crecidas de deshielo, corresponde a un análisis regional de crecidas del período de deshielo, desarrollado en base a los análisis de frecuencias efectuado a las series de excedencia para el período nival de caudales medios diarios máximos

y caudales instantáneos máximos, correspondientes a 234 estaciones de control existente en el país.

Para estimar el valor del caudal medio diario asociado al período de retorno 10 años se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{10} = 1{,}81 \cdot 10^{-4} \cdot An \cdot (Lat - 26{,}2)^{3{,}392}$$

Donde:

Q_{10}	Caudal medio diario con período de retorno 10 años (m^3/s)
An	Área Nival de la cuenca (km^2)
Lat	Latitud media de la cuenca, en grados (°)

Por la falta de otros métodos de cálculo y debido a la pequeña extensión de algunas cuencas, para la obtención de resultados se consultó la frecuencia máxima Q(T)/Q(10).

Finalmente la expresión queda de la siguiente forma:

$$Q(T) = \beta \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T, y el coeficiente β es igual a 1,18.

CURVA DE FRECUENCIA REGIONAL ZONA HOMOGENEA NIVAL "Wn"
CUENCAS VI REGIÓN

T	Q(T)/Q(10)		
	Media	**Máx.**	**Mín.**
2	0,65	0,77	0,57
5	0,87	0,92	0,83
10	1	1	1
15	1,10	1,10	1,10
20	1,12	1,15	1,07
25	1,16	1,2	1,1
50	1,27	1,35	1,16
75	1,33	1,43	1,2
100	1,36	1,47	1,21

CARACTERÍSTICAS CUENCA APORTANTE

Embalse	Área nival (km^2)	Latitud media (·C)	Q(10) (m^3/s)
Picarquín	5,8	35,5	2,03

CAUDAL MÁXIMO MEDIO DIARIO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m3/s)	Picarquín
2	1,55
5	2,08
10	2,39
15	2,63
20	2,67
25	2,77
50	3,03
75	3,18
100	3,25

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m3/s)	Picarquin
2	1,84
5	2,20
10	2,39
15	2,64
20	2,75
25	2,87
50	3,22
75	3,42
100	3,51

- **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Picarquín	57,73	68,19	76,10

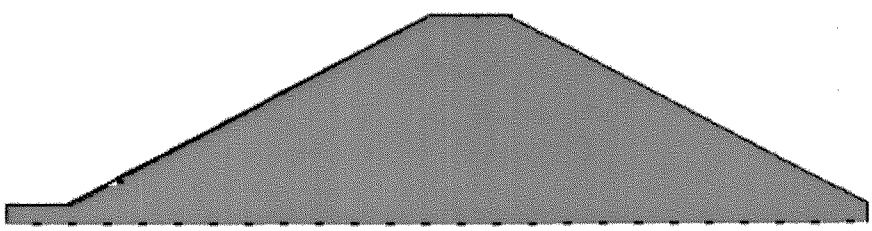
5.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una Arcilla areno limosa (algunas gravas muy meteorizadas), cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	20,1 m
Ancho coronamiento	2,6 m
Borde libre	2,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,04 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 0,90 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 5.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 30°	1.5	1,90	2,10

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 5.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

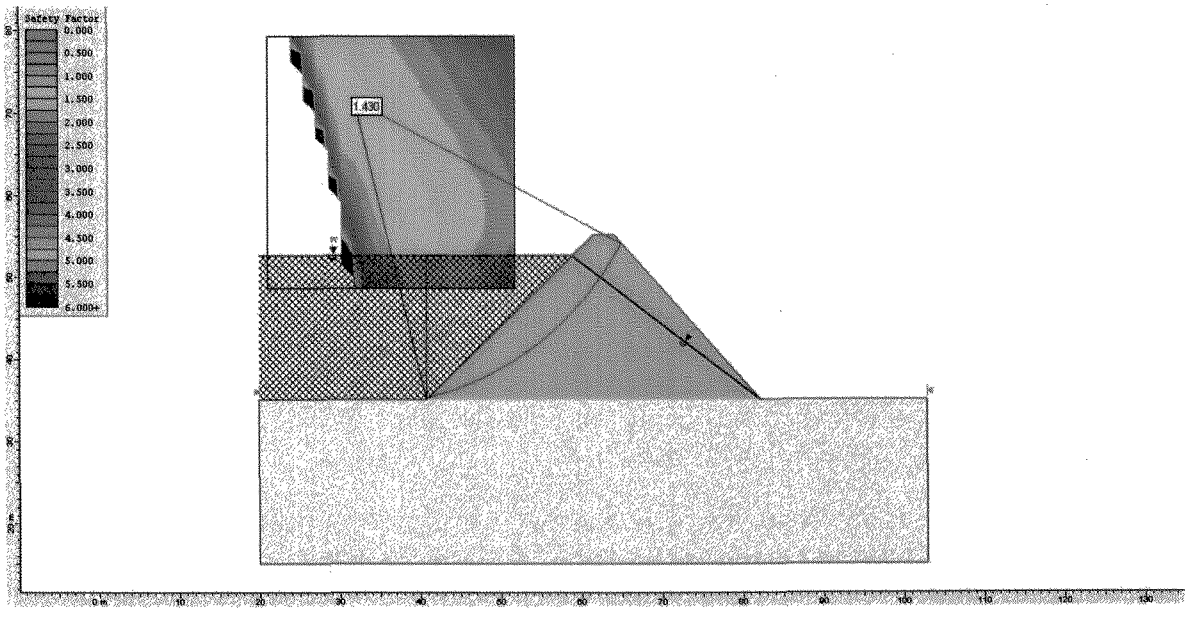


FIGURA 5.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

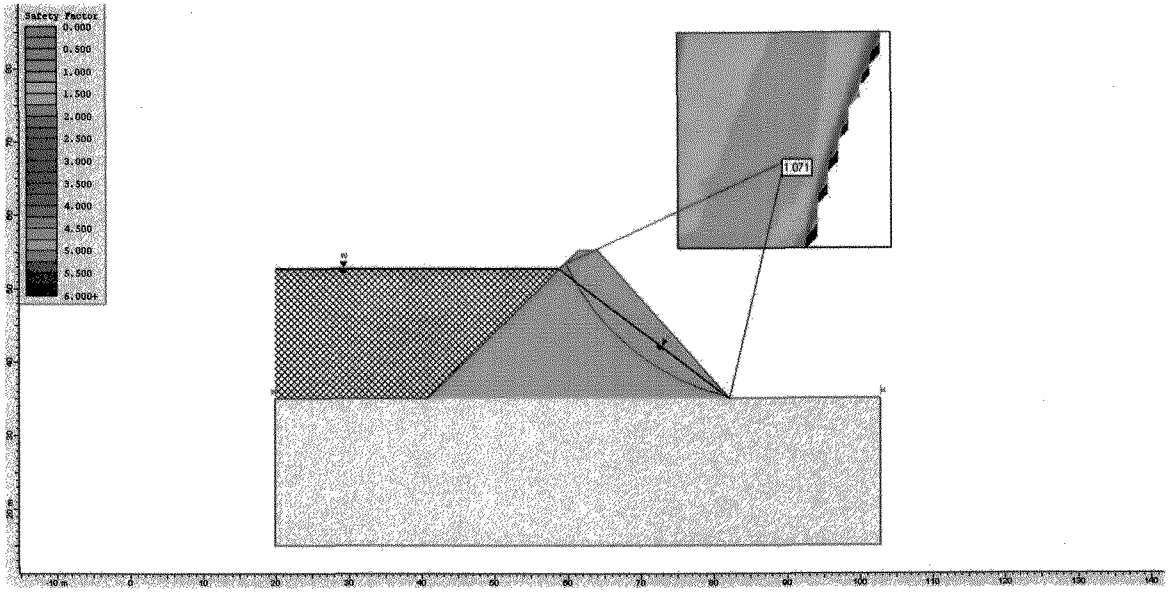


FIGURA 5.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

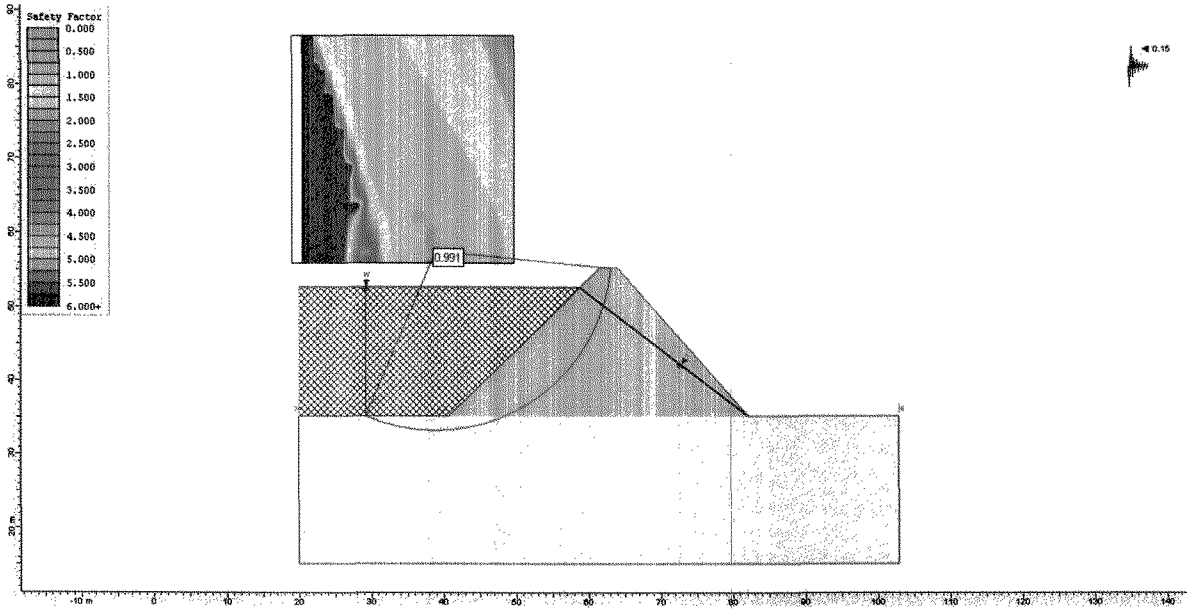


FIGURA 5.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

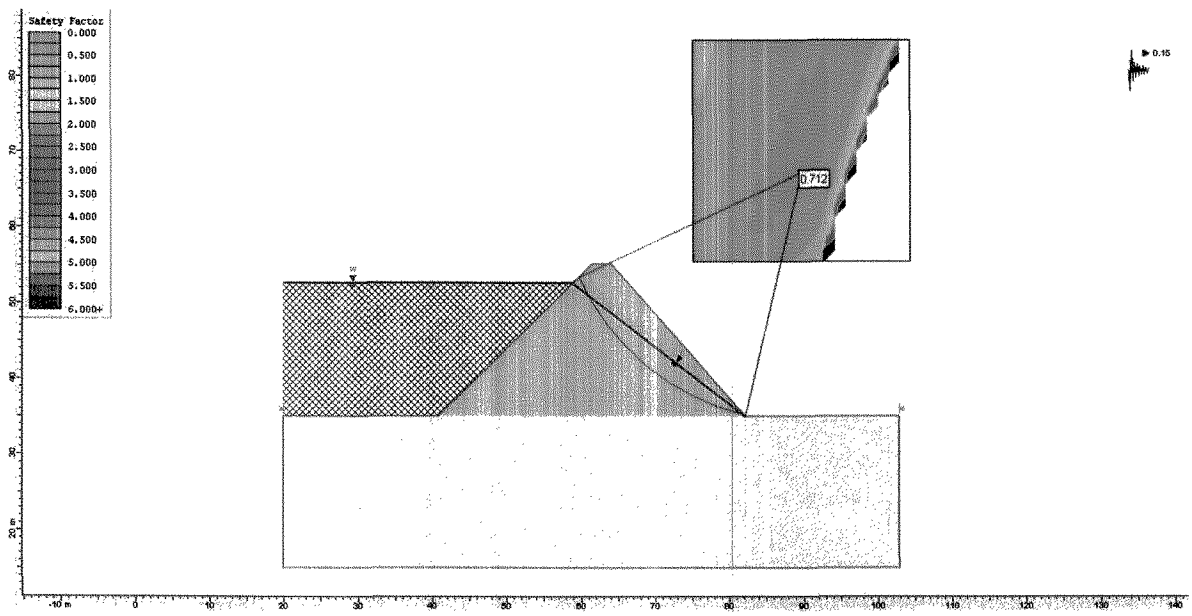


FIGURA 5.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

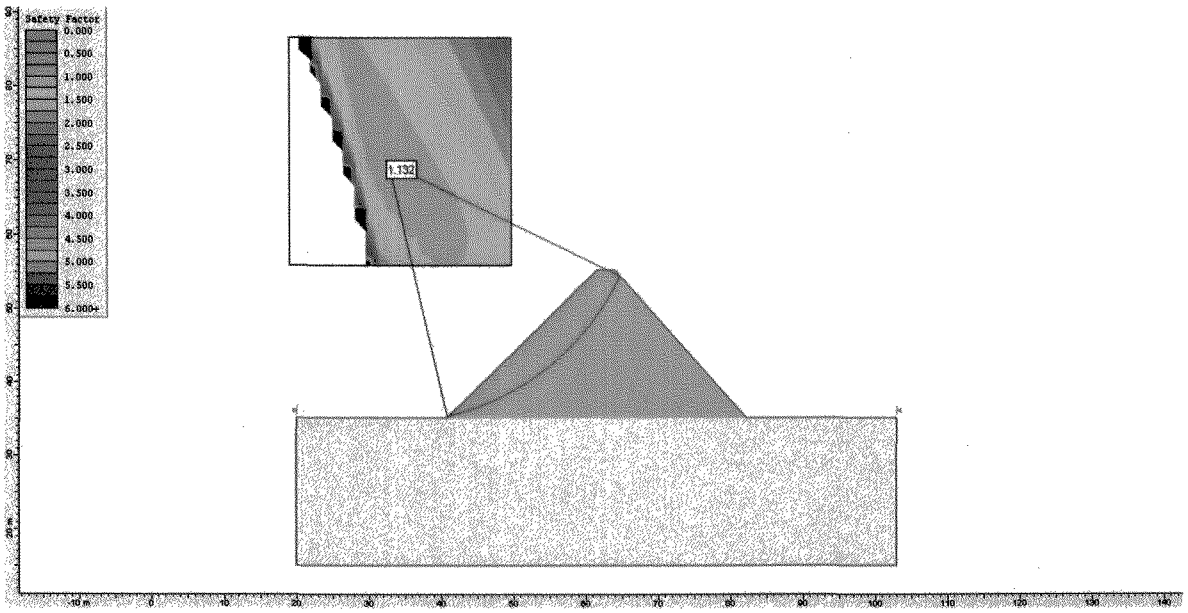


FIGURA 5.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

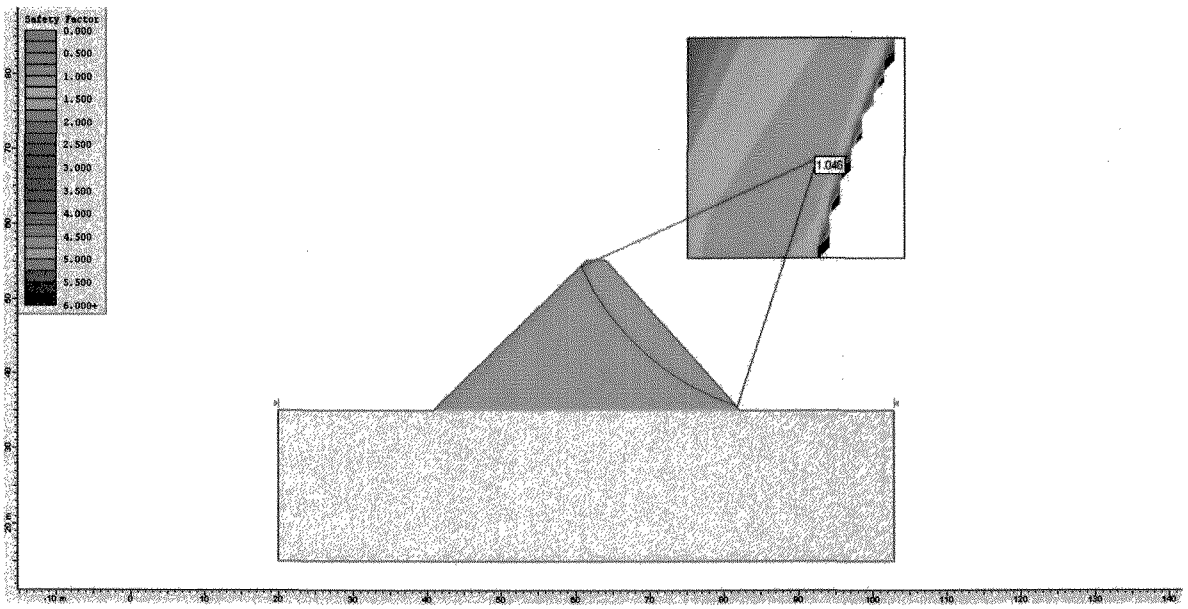


FIGURA 5.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

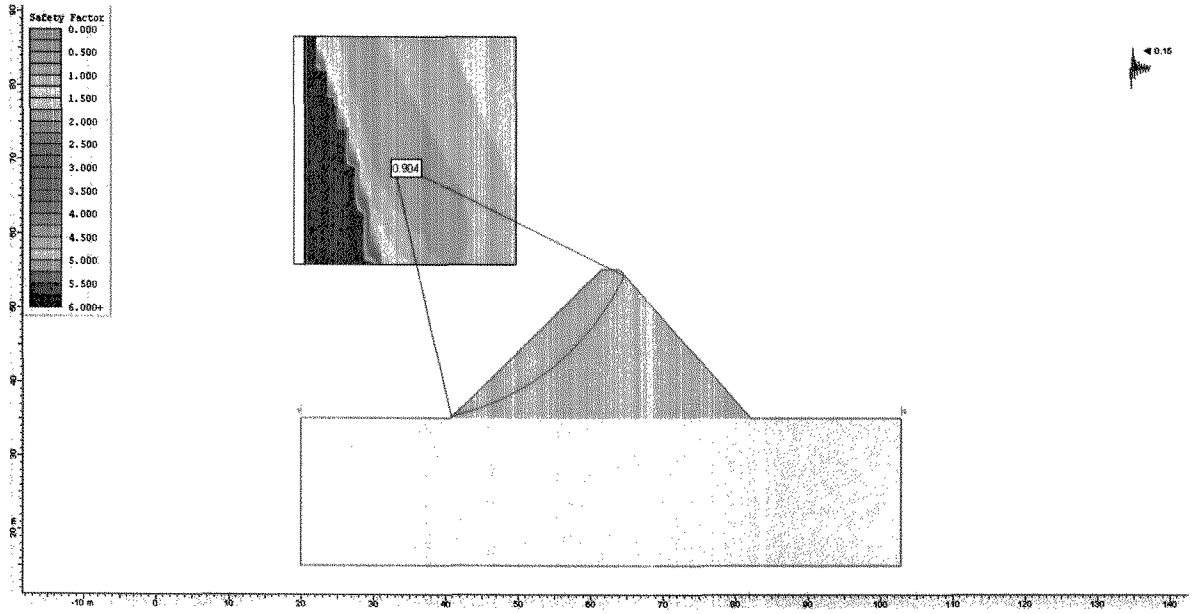
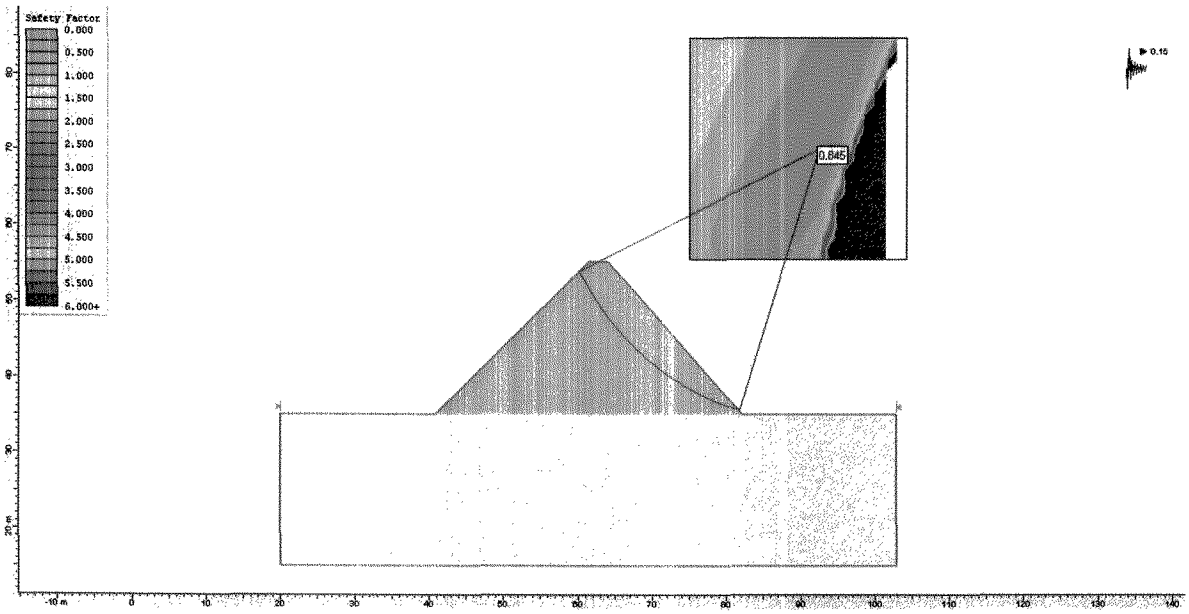


FIGURA 5.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 5.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Picarquín	1,430	1,071	0,991	0,712

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Picarquín	1,132	1,046	0,904	0,845

5.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Picarquín***, se tiene:

Lh (m) =	41,5	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,9	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	17,6	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO**se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
PICARQUIN	41,5	0	13,82	20,1	2,5	17,6	1,9	33,4	No

5.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Picarquín.

PICARQUIN
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea N°	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	°			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	365	0,2268	0,1253
2	36	0,8090	0,6545	357	0,2218	0,1452
3	30	0,8660	0,7500	386	0,2398	0,1799
4	24	0,9135	0,8346	402	0,2498	0,2085
5	18	0,9511	0,9045	424	0,2635	0,2383
6	12	0,9781	0,9568	456	0,2833	0,2711
7	6	0,9945	0,9891	506	0,3144	0,3110
8	0	1,0000	1,0000	552	0,3430	0,3430
9	6	0,9945	0,9891	502	0,3119	0,3085
10	12	0,9781	0,9568	444	0,2759	0,2640
11	18	0,9511	0,9045	429	0,2666	0,2411
12	24	0,9135	0,8346	398	0,2473	0,2064
13	30	0,8660	0,7500	287	0,1783	0,1337
14	36	0,8090	0,6545	336	0,2088	0,1366
15	42	0,7431	0,5523	230	0,1429	0,0789
	Suma	**13,5109**			Suma	**3,1915**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,236 millas
F = 380,15 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,53	0,7717
Molitor	2,39	0,7276
Creager	1,12	0,3427
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **2,50 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

5.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

5.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	0,8
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas (*)	0,95	

5.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación: **53,35** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,36 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **19,21** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	57,73	0,95	4,02	0,05
0,002	68,19	0,95	4,68	0,05
0,0010	76,10	0,95	5,25	0,05

5.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

5.7.4 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	0,35

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

5.7.5 Riesgo

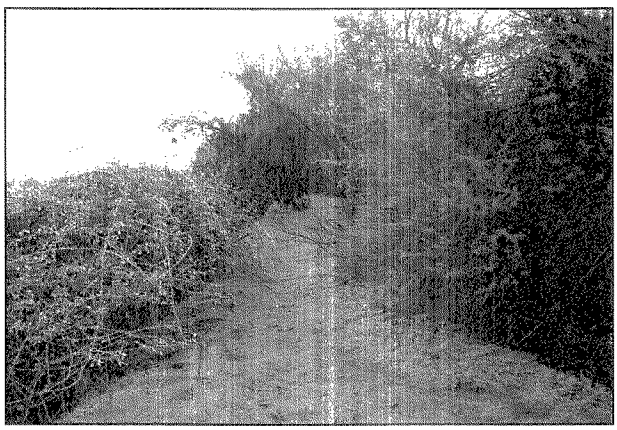
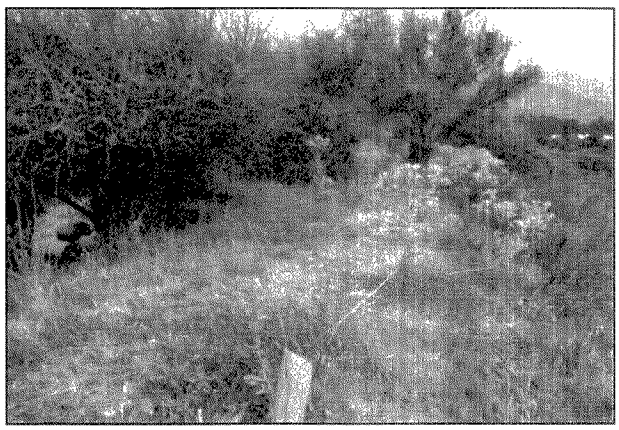
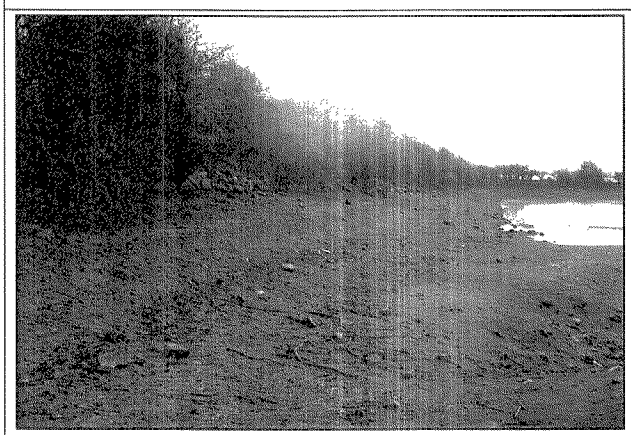
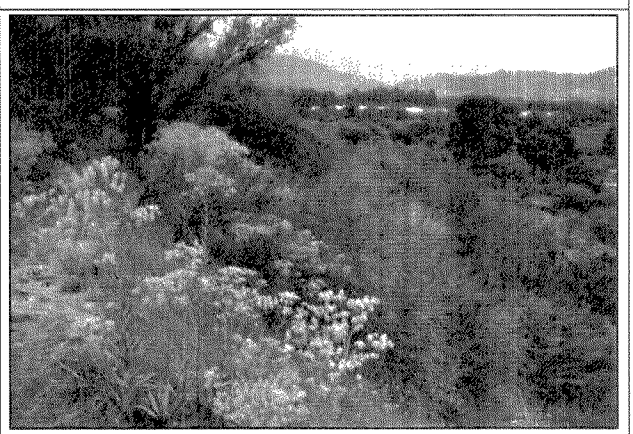
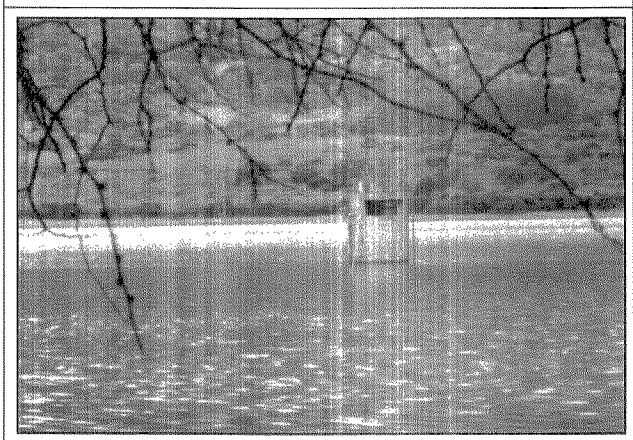
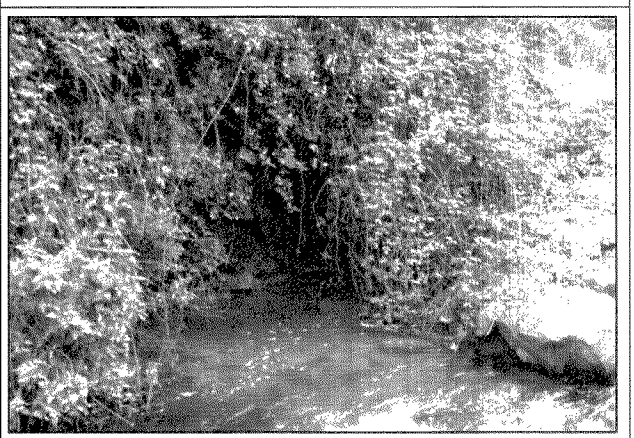
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

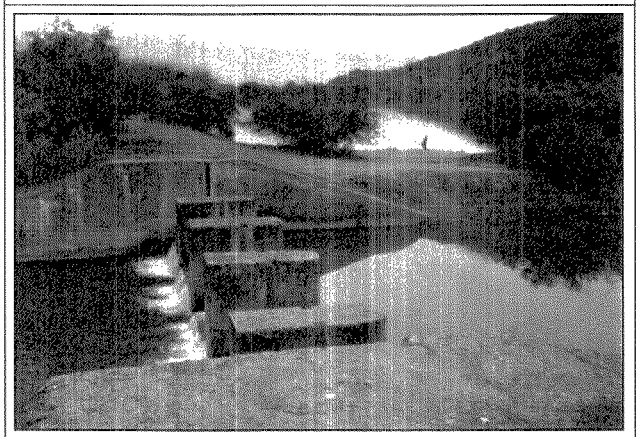
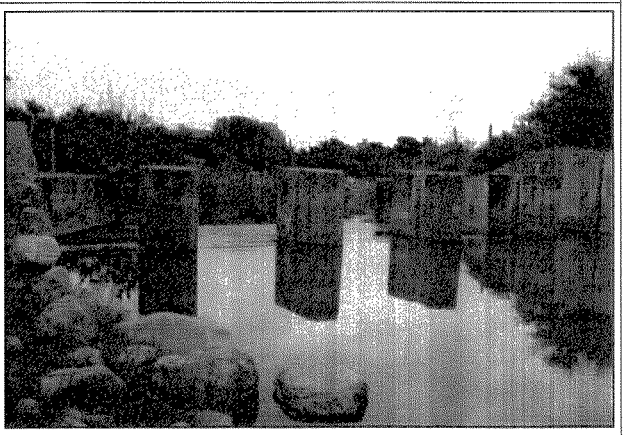
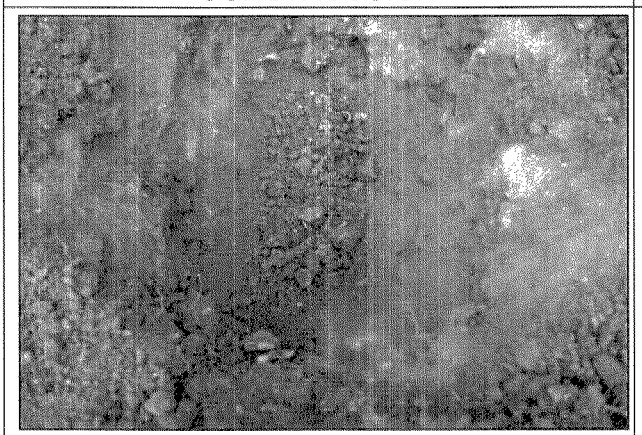
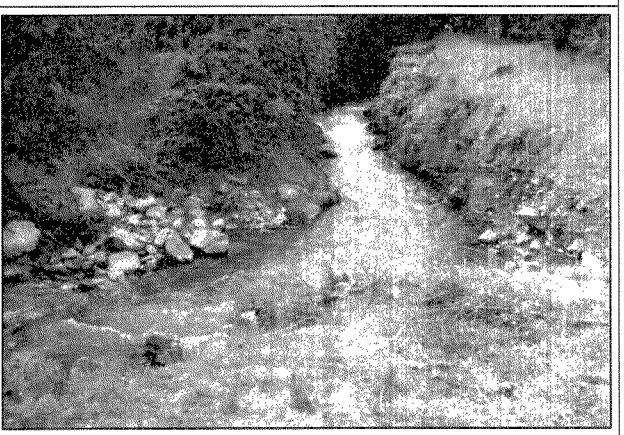
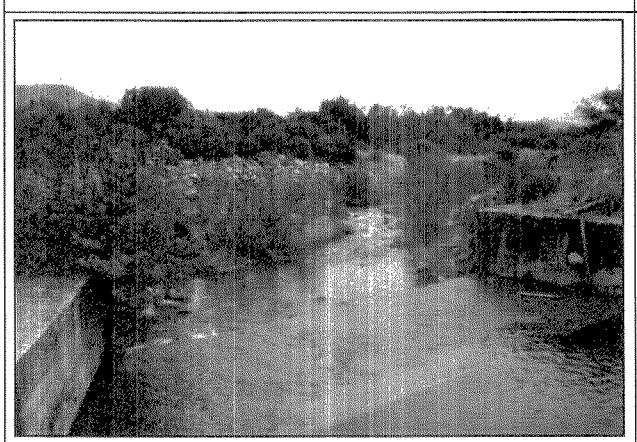
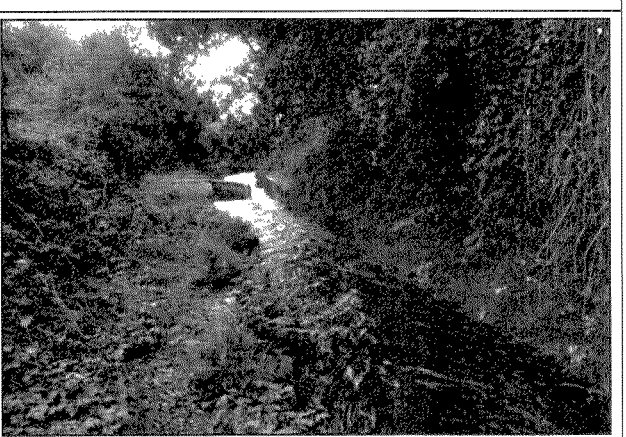
	Riesgo Sismo	**Riesgo Escorrentía**						**Riesgo Piping**
		Pluvial			**Nival**			
Riesgo	3,20	0,48	0,19	0,10	0,03	0,01	0,01	2,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

5.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Picarquín.

VISTA MURO	VISTA MURO
	
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA	VISTA TALUD AGUAS ABAJO
	
OBRA DE ENTREGA	OBRA DE ENTREGA
	

EVACUADOR DE CRECIDAS	EVACUADOR DE CRECIDAS
	
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	CANAL DE ENTREGA DESDE ESTERO PEUCO
	
CANAL DEL EVACUADOR	CANAL DE ENTREGA
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Picarquín
Propietario	Comunidad Embalse Picarquín
RUT Propietario	S/I
Año de construcción	S/I
Reparación (SI) (NO)	S/I
Año de reparación	S/I
Cuenca / Código DGA	Maipo
Subcuenca / Código DGA	Río Angostura
Fuente del recurso	Estero Picarquín

Nº de ficha	5
Fecha (dd/mm/año)	22-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	San Francisco de Mostazal	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.239.247	E = 349.854
Coordenadas UTM Centro	N = 6.238.987	E = 350.614
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.239.015	E = 350.303
Datum WGS 84		
Altitud m.s n m	ED = 608 ; C = 611;	EI = 612

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	585		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 2,70 ;	C : 2,50 ;	EI = 2,60
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	27,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	2,5		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 46° ;	C : 50° ;	EI = 47°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 45° ;	C : 44° ;	EI = 43°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	20,1
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	17,6
Área estimada o calculada de la poza (m2)	285.000
Ancho máximo de la poza (km)	0,57
Largo de la poza (km)	0,5
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	1,254

7. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.239.206 E= 349.873	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Areno Limosa (roca materializada)

7. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Geometría del muro en general regular
Compacidad del material estructural	Media, alta
Uniformidad de los taludes	Ambos taludes regulares
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se presentan depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se presentan filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada, se presenta bastante cubierta vegetal en todo el coronamiento y en el talud aguas abajo

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
Vertederos libres, sin control	
Vertederos controlados por compuertas	X

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	Vertedero Frontal sin control
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	*En buen estado, operativo*
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Ancho 14,0 m ; largo 15,0 m, Altura 2,70 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

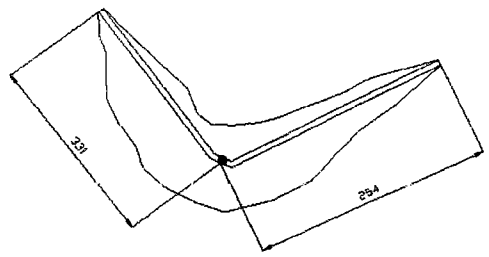
Tipo de estructura	Estructura circular de hormigón armado dentro de la cual se localizan 3 tubos
Mediciones estructurales	No se pudieron tomar medidas estructurales, dado que el tranque se encontraba lleno y la obra de entrega esta dentro del tranque
Funcionamiento actual	buen estado y operativa

10. CARACTERIZACION 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, terreno pie de cerro, pendiente media 3,8%, ancho medio cauce 7,0 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	2,11 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	1,97 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacentes
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	2,0 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	

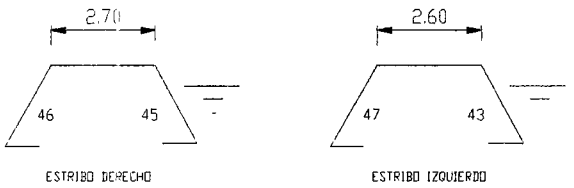
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)

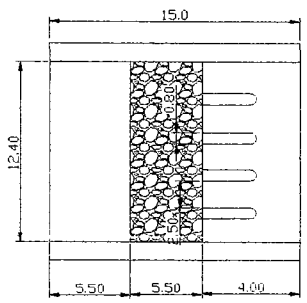


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

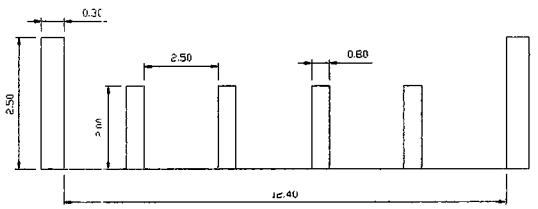
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes respecto



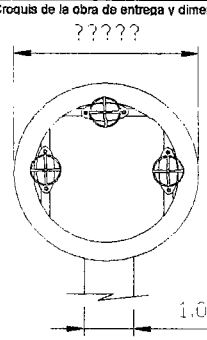
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



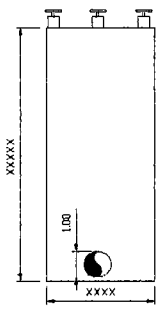
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El muro se encuentra absolutamente lleno de vegetación y pasto por ambos taludes y por su coronamiento, situación que incluso impide recorrerlo a pié de un extremo al otro.

Con respecto a las filtraciones, no se observan a simple vista, pero ello puede deberse al consumo de la vegetación existente por todo el muro.

El acceso a la obra de entrega (torre en la poza) es mediante una balsa construida con tambores de plástico

El embalse a la fecha de la visita estaba lleno en su totalidad

EMBALSE ESMERALDA

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

6. EMBALSE ESMERALDA

6.1 Ubicación

6.2 Características Generales

6.3 Crecidas Afluentes al Embalse

- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

6.4 Análisis de Estabilidad

- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

6.5 Determinación de Filtraciones

6.6 Verificación del Oleaje

6.7 Análisis de Riesgo (Hazop)

6.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

6. EMBALSE ESMERALDA

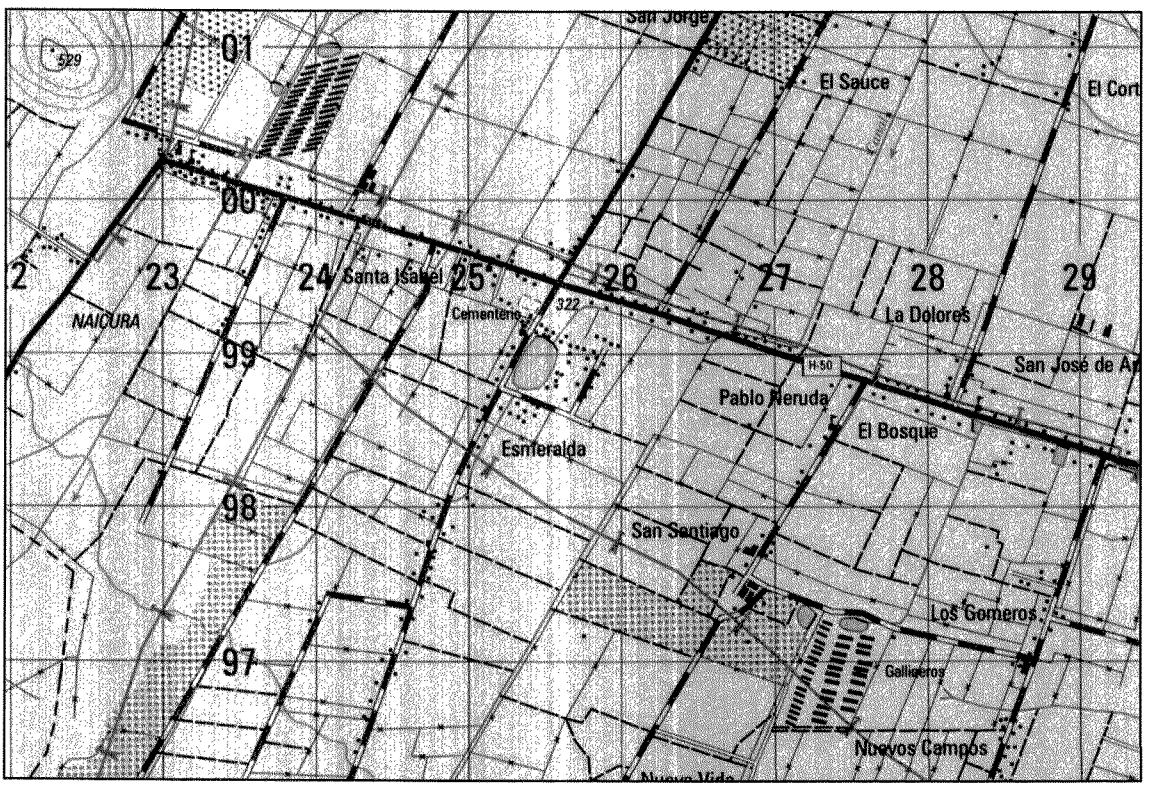
6.1 Ubicación

El embalse Esmeralda se ubica en la comuna de Quinta de Tilcoco, provincia de Cachapoal, en las coordenadas UTM 6.198.838 Norte y 325.306, Datum WGS 84 a una Altitud de 319 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca de Rapel, subcuenca del Río Cachapoal y la fuente corresponde al Río Claro de Rengo.

El sitio de embalse se localiza a menos de 1 km al sur del cruce del camino H-50 y el cementerio del poblado de Esmeralda. Se accede a este lugar por la Ruta 5 Sur y a la altura de Rosario se toma el camino hacia el poniente aproximadamente por 5 km hasta llegar al cruce indicado.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 6.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE ESMERALDA



Fuente: Carta IGM

6.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a la Comunidad de Aguas Esmeralda. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1962.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 0,039 hm^3. La altura máxima del muro es de 6 m, con una longitud de coronamiento de 805 m y ancho promedio del coronamiento de 1,2 m y borde libre de 0,5 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,73:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,73:1. La obra estructural se encuentra en buen estado, pero el lago con un embanque importante.

El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero de campana de hormigón armado de 1,0 m de diámetro interior controlado por una compuerta, la cual se encuentra en buen estado de conservación y operación.

La ***obra de entrega*** corresponde a una estructura rectangular de hormigón armado con salida controlada de 0,80 m de ancho. La obra se encuentra en buen estado y operativa.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 6.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE ESMERALDA





Vista panorámica Embalse Esmeralda

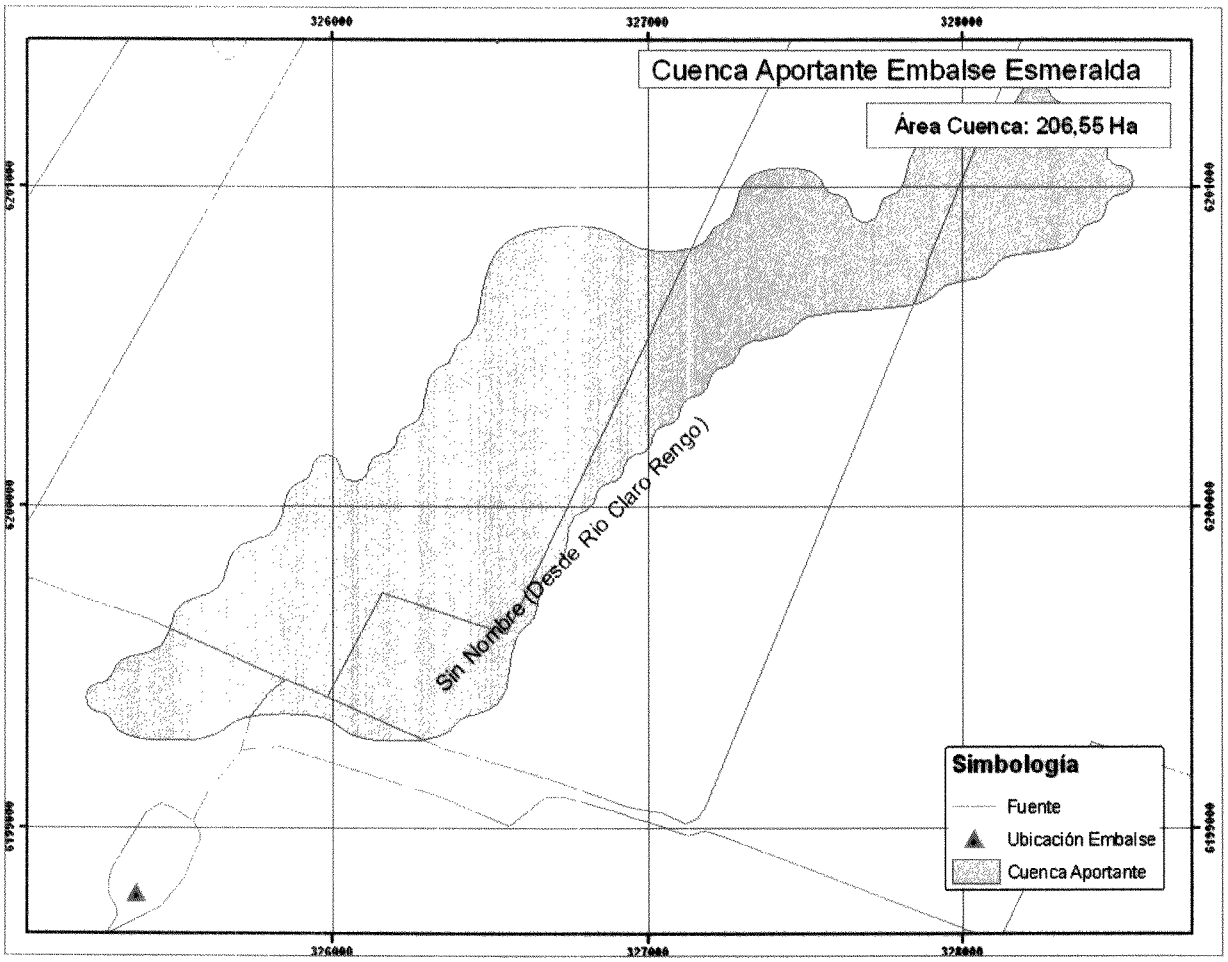
6.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Esmeralda tiene como fuente al río Claro, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 2,07 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 6.3-1
CUENCA EMBALSE ESMERALDA



CUADRO 6.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Esmeralda
SUPERFICIE (ha)	Total	206,6
	Pluvial	206,6
PERÍMETRO (m)	Total	12.240,0
	Pluvial	12.240,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	373,69
	Mínima	339,83
	Diferencia	33,85
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	1,2
	Cauce	1,0
LONGITUD CAUCE (km)	Total	3,86
	Desde centro de gravedad	1,93
CENTROIDE CUENCA	UTM Este	326.879
	UTM Norte	6.200.480
	Altura (msnm)	356,19
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM Este	326.315
	UTM Norte	6.200.260
	Altura (msnm)	350,73
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ **Tiempo de Concentración**

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Esmeralda	1,17	2,48	0,07	0,82	0,82

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Esmeralda	San Fernando	0,12	80	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

$$Q(T) = C(10)\frac{C(T)}{C(T=10)} \cdot 0{,}00618 \cdot (P_{24}^{T})^{1.24} \cdot (Ap)^{0{,}88}$$

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

NOMBRE EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Esmeralda	T=2	0,47	Cachapoal	0,644	6,820	0,820	2,240
	T=5	0,60	Cachapoal	0,859	9,100	1,174	3,820
	T=10	0,68	Cachapoal	0,980	10,400	2,000	4,950
	T=20	0,77	Cachapoal	1,133	12,003	2,711	6,467
	T=25	0,80	Cachapoal	1,170	12,380	2,930	6,930
	T=50	0,87	Cachapoal	1,310	13,820	3,650	8,420
	T=100	1,00	Cachapoal	1,430	15,191	4,715	10,629

➢ Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Esmeralda	0,39	0,69	0,93	1,07	1,20	1,29	1,60	1,95

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)			
	T=200	T=250	T=500	T=1000
Esmeralda	5,11	5,33	6,03	6,73

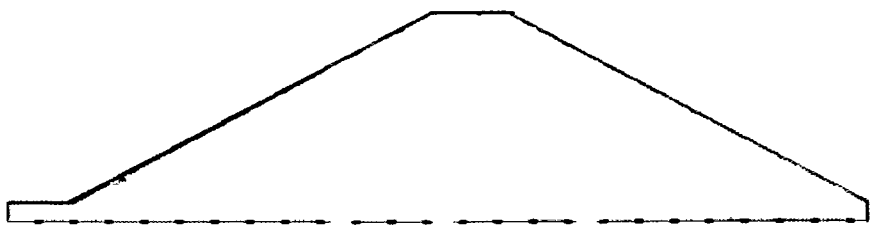
6.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla gravo arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	6,0 m
Ancho coronamiento	1,2 m
Borde libre	0,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,73 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,73 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 6.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Gravo Arenosa	ø = 20°	1,0	1,70	1,90

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rockscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 6.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

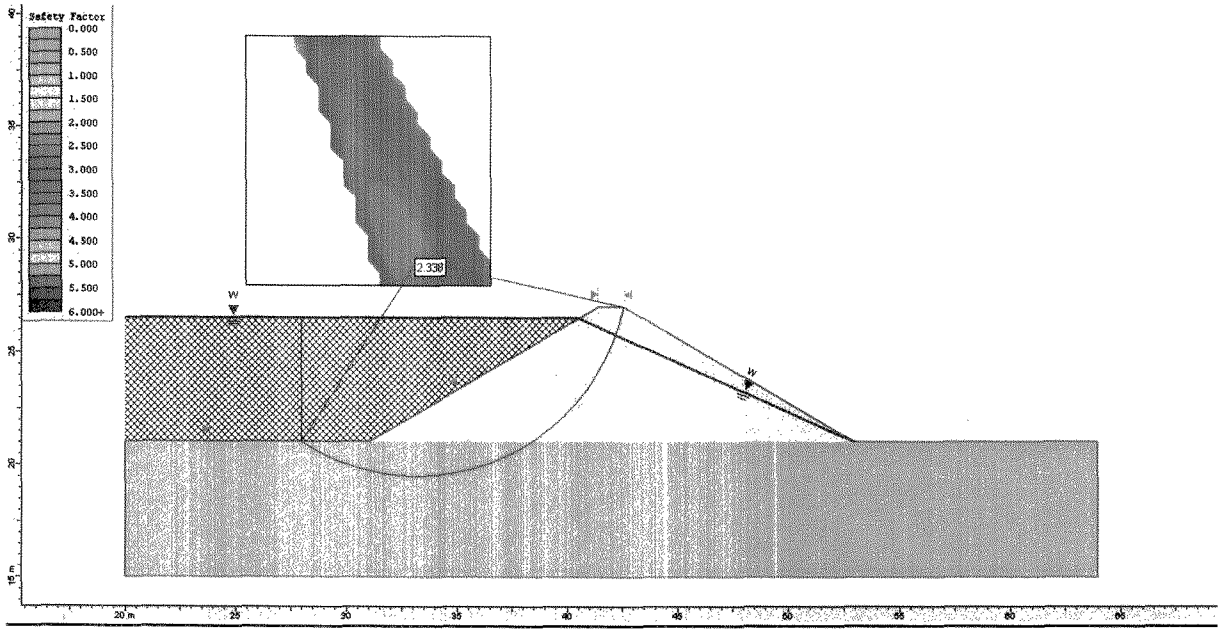


FIGURA 6.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

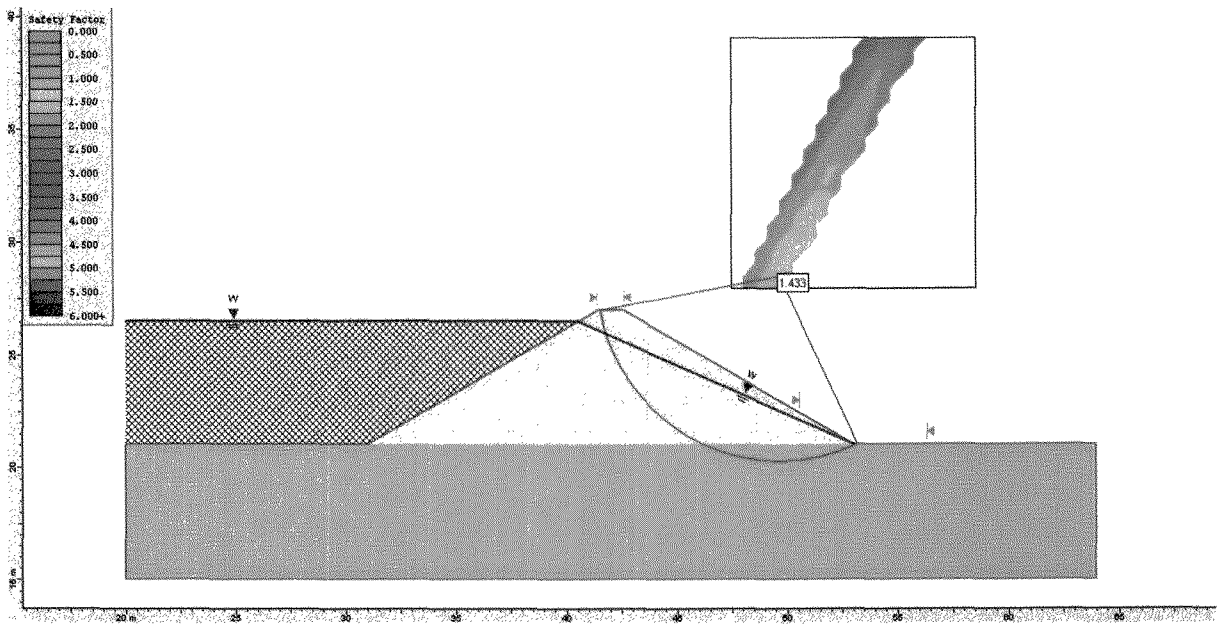


FIGURA 6.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

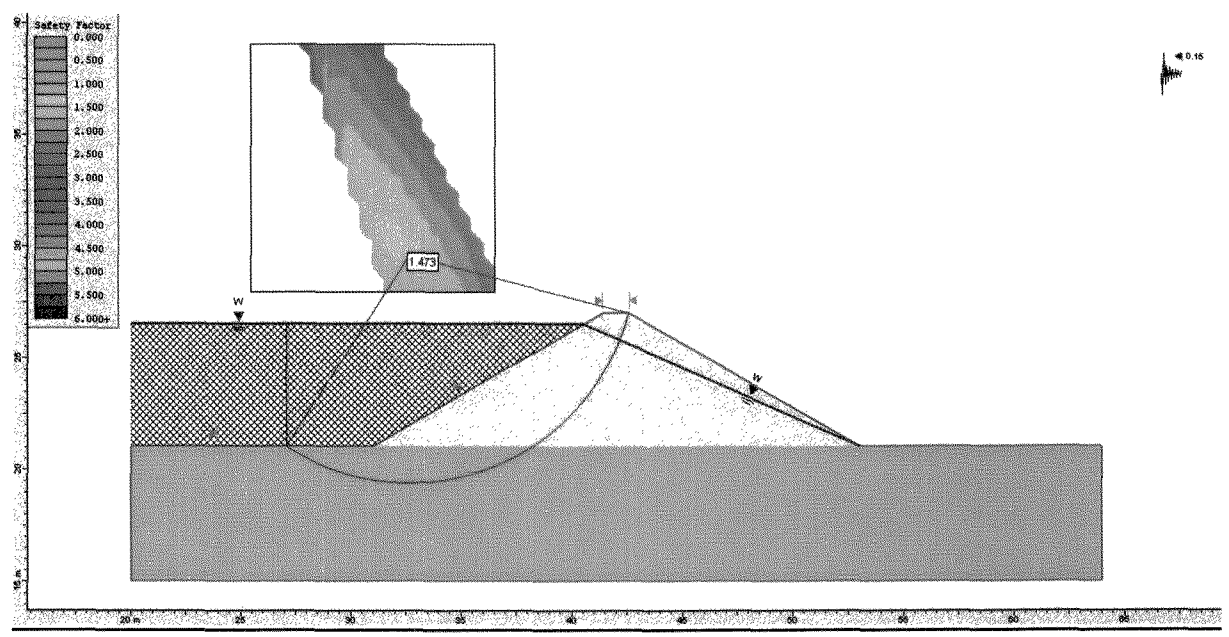


FIGURA 6.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

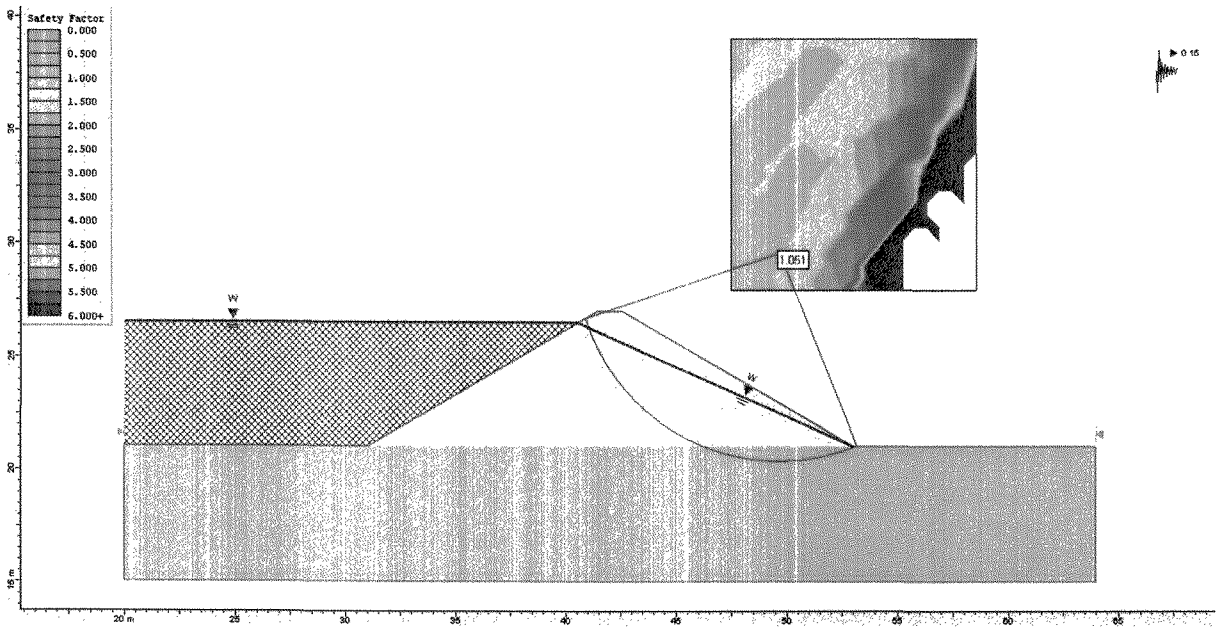


FIGURA 6.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

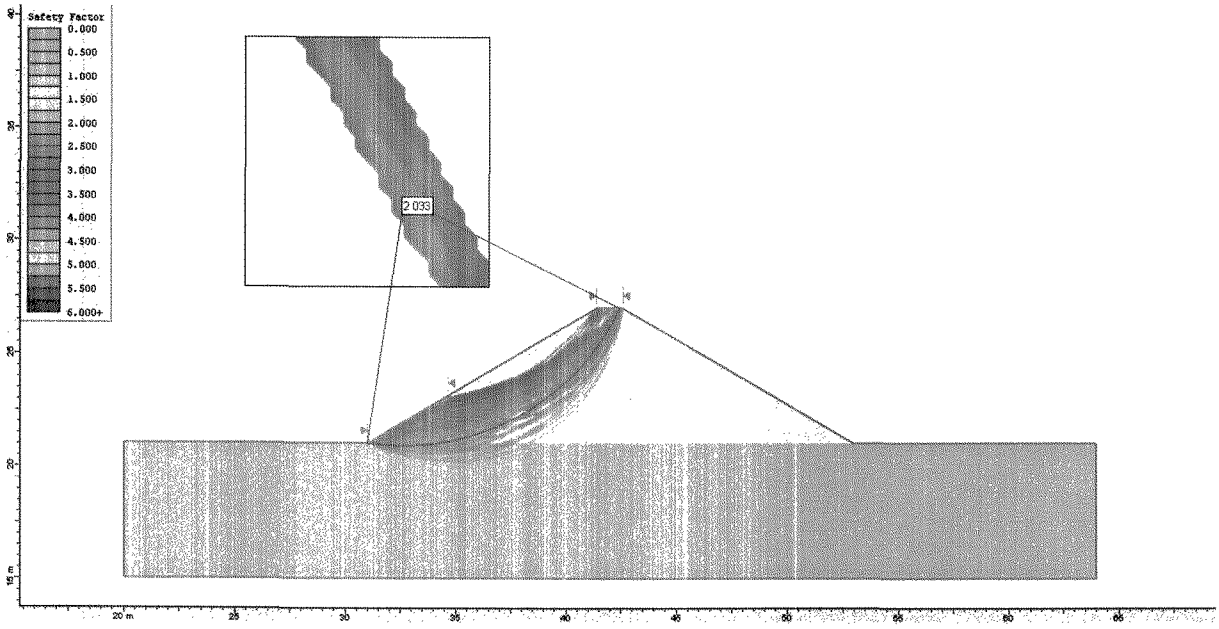


FIGURA 6.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

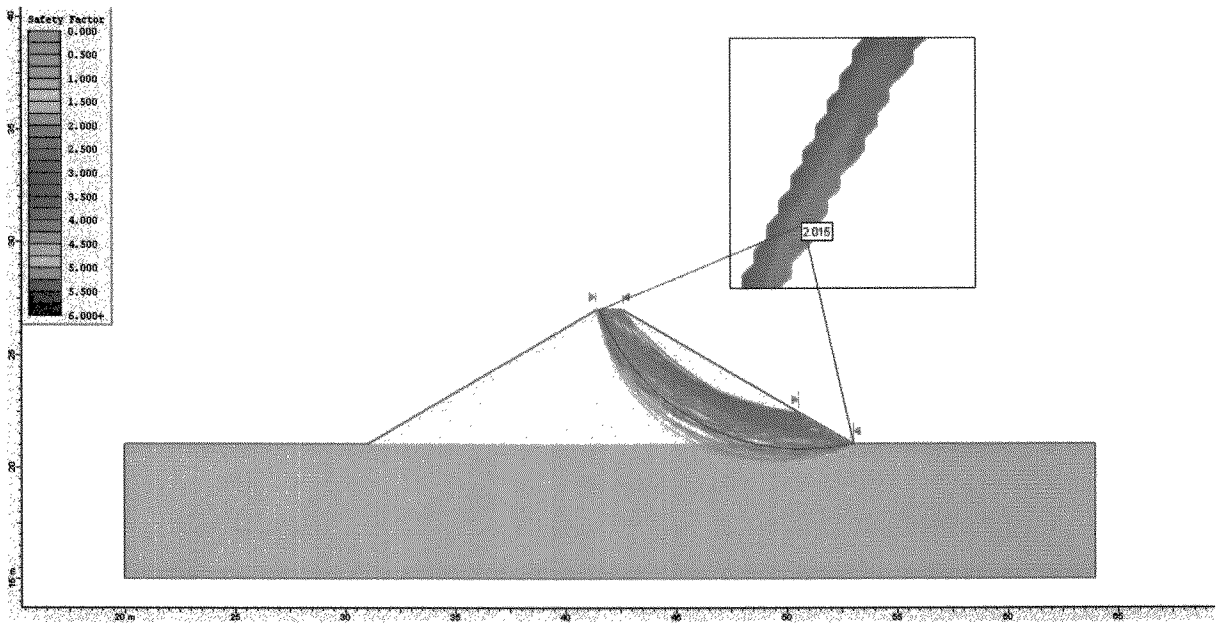


FIGURA 6.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

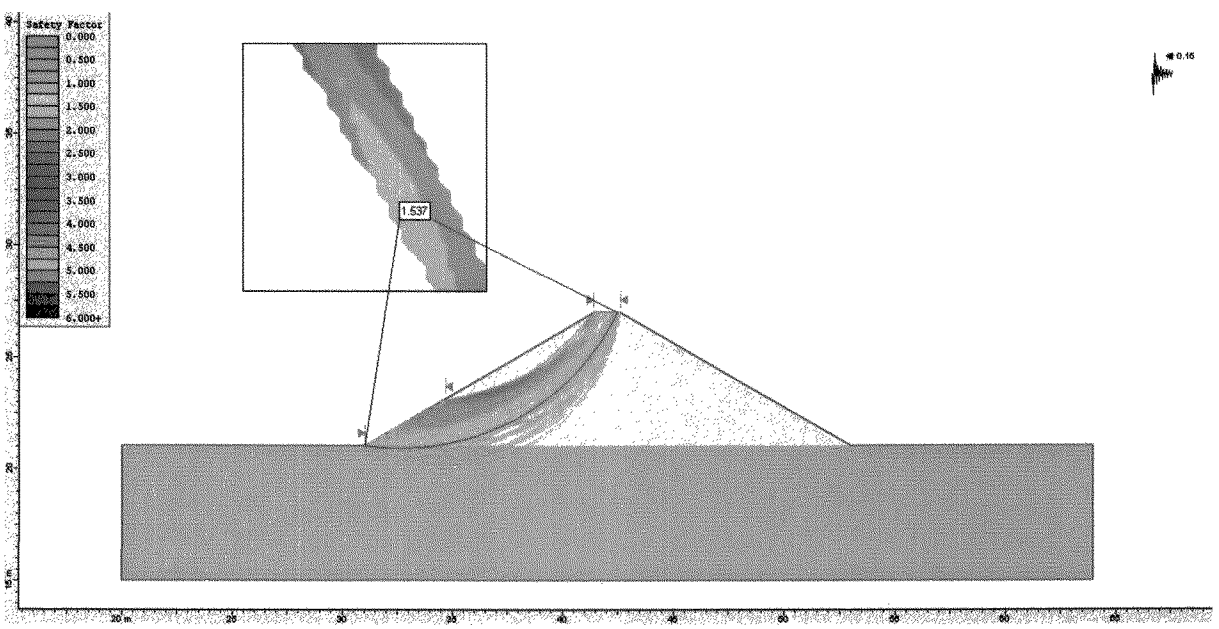
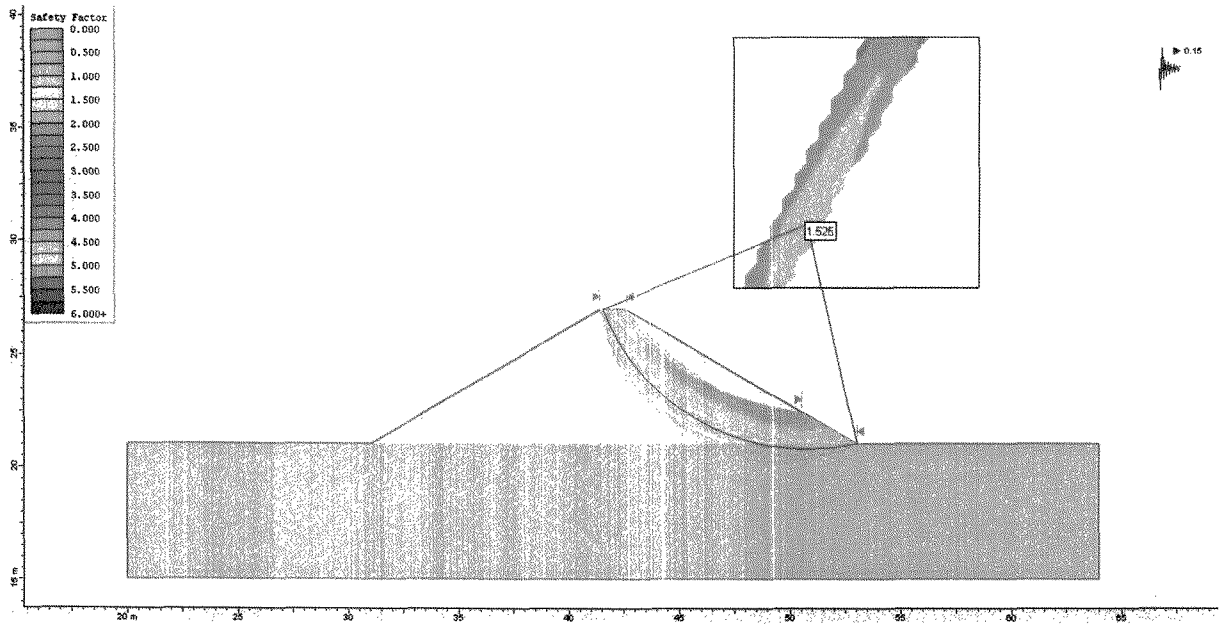


FIGURA 6.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 6.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Esmeralda	2,338	1,433	1,473	1,510

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Esmeralda	2,033	2,015	1,537	1,525

6.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Esmeralda***, se tiene:

Lh (m) =	22,0	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	2,1	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	5,5	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
ESMERALDA	22,0	0	7,33	6,0	0,5	5,5	2,10	11,6	No

6.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta como ejemplo la planilla de cálculo del cálculo de la revancha para el embalse Esmeralda.

ESMERALDA
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	117	0,0727	0,0401
2	36	0,8090	0,6545	134	0,0833	0,0545
3	30	0,8660	0,7500	158	0,0982	0,0736
4	24	0,9135	0,8346	173	0,1075	0,0897
5	18	0,9511	0,9045	178	0,1106	0,1000
6	12	0,9781	0,9568	177	0,1100	0,1052
7	6	0,9945	0,9891	193	0,1199	0,1186
8	0	1,0000	1,0000	263	0,1634	0,1634
9	6	0,9945	0,9891	220	0,1367	0,1352
10	12	0,9781	0,9568	163	0,1013	0,0969
11	18	0,9511	0,9045	121	0,0752	0,0680
12	24	0,9135	0,8346	107	0,0665	0,0555
13	30	0,8660	0,7500	94	0,0584	0,0438
14	36	0,8090	0,6545	87	0,0541	0,0354
15	42	0,7431	0,5523	76	0,0472	0,0261
	Suma	**13,5109**			Suma	**1,2062**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,089 millas
F = 143,67 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,40	0,7320
Molitor	2,31	0,7049
Creager	0,78	0,2391
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **0,50 m**, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

6.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

6.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

6.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación: **4,74** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,36 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **1,71** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	5,11	0,95	0,00	0
0,002	6,03	0,95	0,00	0
0,0010	6,73	0,95	0,00	0

6.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

6.7.4 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	0,8
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

6.7.5 Riesgo

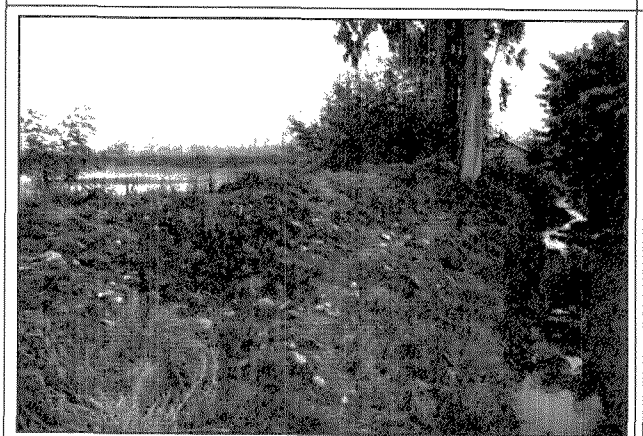
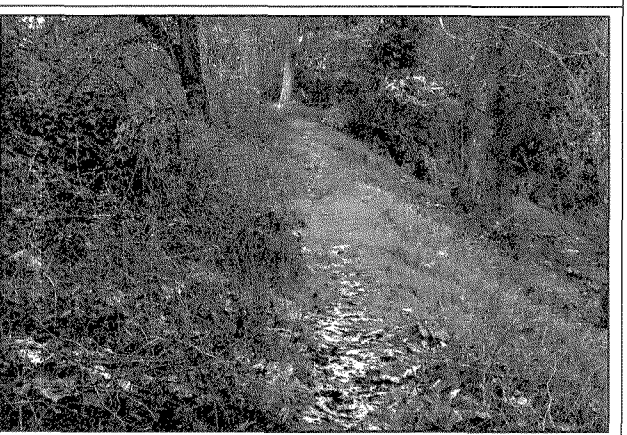
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

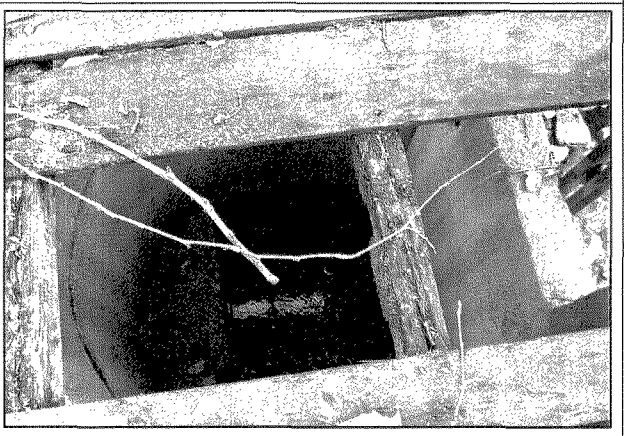
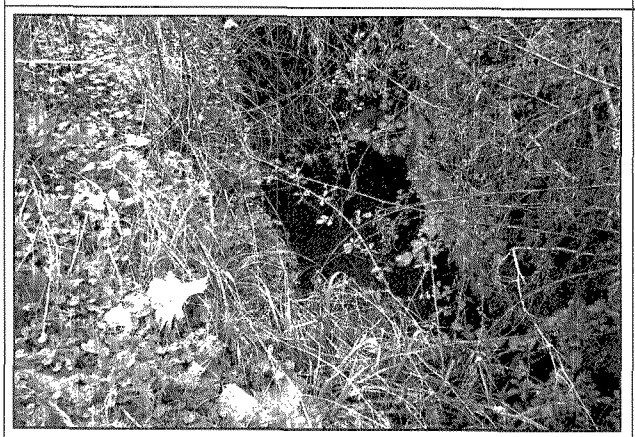
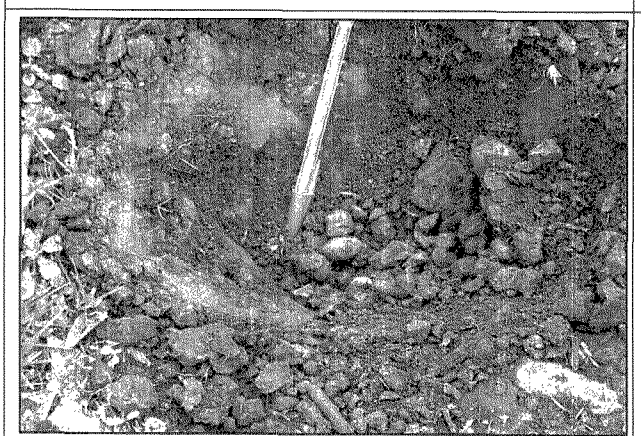
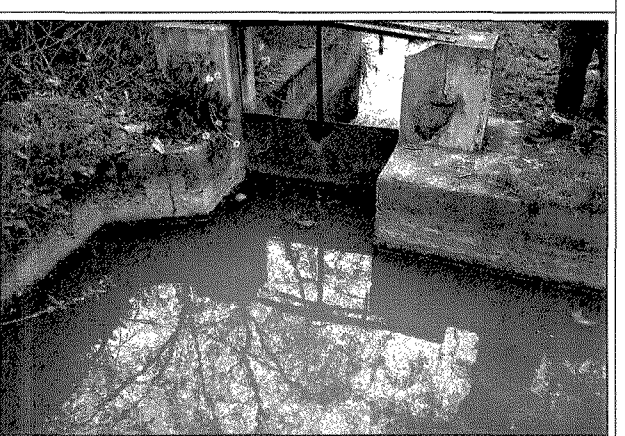
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía.

6.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Esmeralda.

OBRA DE CAPTACION	CANAL DE CAPTACION
	
VISTA MURO PONIENTE HACIA EL NORTE	VISTA MURO ORIENTE HACIA EL NORTE
	
VISTA MURO SUR HACIA EL ORIENTE	VISTA MURO NORTE HACIA EL PONIENTE
	

ZONA DE EMBANCAMIENTO	OBRA DE ENTREGA
	
CANAL DE ENTREGA	CANAL DE ENTREGA
	
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	OBRAS DE ENTREGA
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Esmeralda
Propietario	Comunidad de Aguas Esmeralda
RUT Propietario	En trámite
Año de construcción	1962
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Cachapoal
Fuente del recurso	Río Claro de Rengo

N° de ficha	6
Fecha (dd/mm/año)	31-08-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Colchagua	
Comuna	Palmilla	
Coordenadas UTM ED	N= 6.199.052	E= 325.428
Coordenadas UTM C1	N= 6.198.838	E= 325.306
Coordenadas UTM C2	N= 6.198.764	E= 325.403
Coordenadas UTM EI	N= 6.199.007	E= 325.565
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m.	ED= 319 C1=319	C2=329 EI=326

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C1= Centro1 C2= Centro2
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha				
Longitud del coronamiento (m)	805			
Ancho del coronamiento (m)	ED= 1,7 ;	C1= 1,2 ;	C2= 1,0 m ;	EI= 1,0 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	12,0			
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,5			
Paramentos verticales	NO			
Con eclímetro				
Ángulo talud de aguas abajo	ED= 28° ;	C1= 30° ;	C2= 37° m ;	EI= 27° m
Ángulo talud de aguas arriba	ED= 29° ;	C1= 30° ;	C2= 34° m ;	EI= 27° m

ED= Estribo Derecho
C1= Centro1 C2= Centro2
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	6,0
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	5,5
Área estimada o calculada de la poza (m2)	28.000
Ancho máximo de la poza (km)	0,2
Largo de la poza (km)	0,14
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,039

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		SI
Identificación del punto de toma de muestra		SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		SI
Coordenadas UTM	N= 6.198.838 E= 325.306	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		Arcilla Gravo Arenosa

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	El talud aguas arriba y aguas abajo es uniforme
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se aprecian depresiones
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles, solo las cárcavas en el talud aguas abajo
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se aprecian 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	No se aprecian filtraciones visibles a través del muro
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada mezclada con piedras (bolones)

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	No posee vertedero, se controla por la compuerta de entrada al embalse
Material constructivo	No posee vertedero, se controla por la compuerta de entrada al embalse
Estado de conservación y operatividad	No posee vertedero, se controla por la compuerta de entrada al embalse
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	No posee vertedero, se controla por la compuerta de entrada al embalse

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

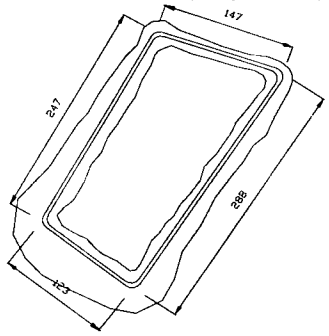
Tipo de estructura	La obra de entrega es de hormigón armado. La salida es mediante otra obra de hormigón en forma de ∩ (ver álbum fotográfico)
Mediciones estructurales	2 mts de alto por 1 de ancho. La ∩ tiene un ancho de 80 cms, luego es conducida a canal revestido con compuerta de Fe hacia el sur y marco partidor al poniente
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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 de hormigón y tierra, terrenos agrícolas, pendiente media 1,1%, ancho medio de cauce 1,60 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	100 m
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	100 m
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	700 Ha

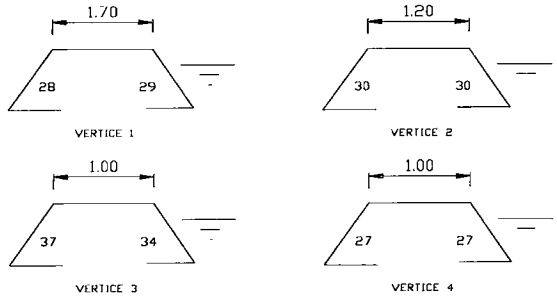
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

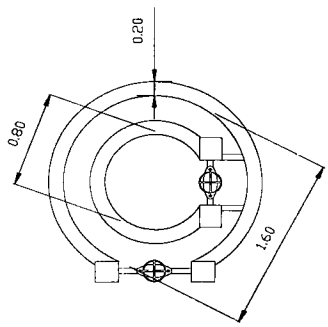


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

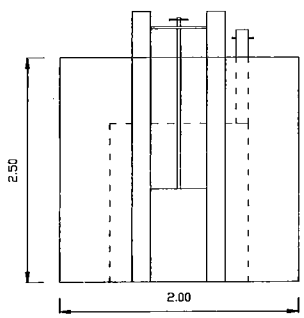
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El embalse posee un canal de contorno

El Embalse no posee vertedero, se controla por la compuerta de entrada al embalse

EMBALSE CHANCÓN

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

7. EMBALSE CHANCON
7.1 Ubicación
7.2 Características Generales
7.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
7.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
7.5 Determinación de Filtraciones
7.6 Verificación del Oleaje
7.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
7.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

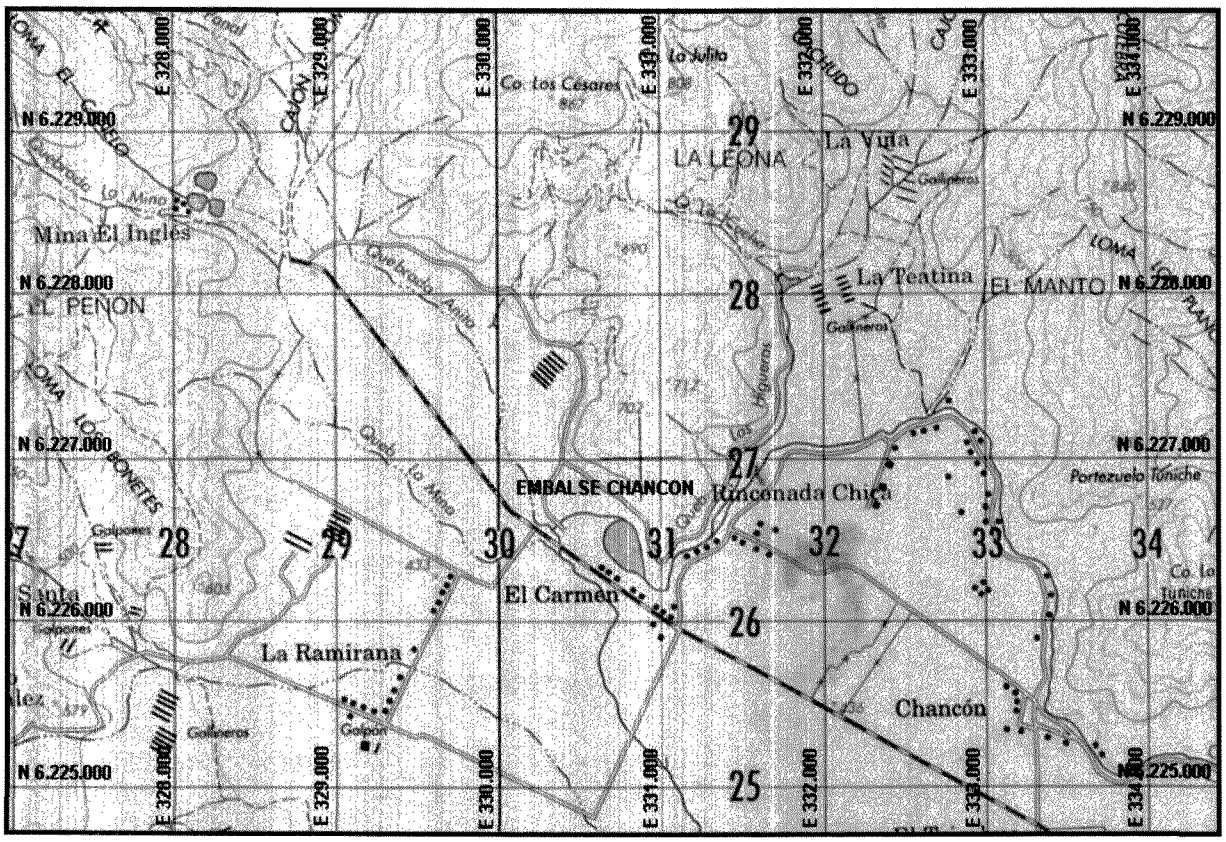
7. EMBALSE CHANCÓN

7.1 Ubicación

El embalse Chancón se ubica en la comuna de Rancagua, provincia de Cachapoal, en las coordenadas UTM 6.226.085 Norte y 330.426, Datum WGS 84 a una Altitud de 456 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Rapel, subcuenca del Río Cachapoal y la fuente corresponde al estero Las Cadenas.

Se accede al lugar por la ruta 5 Sur tomando el camino H-30 que va a Doñihue. A la altura del sector denominado El Crucero se toma el desvío hacia el poniente por la ruta H-188. El sitio de embalse se encuentra justamente al norte del camino en la localidad de El Carmen. En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 7.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE CHANCÓN



Fuente: Carta IGM

7.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a la Frutícola Ramirana. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1989.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 0,055 hm^3. La altura máxima del muro es de 3,3 m, con una longitud de coronamiento de 494 m y ancho promedio del coronamiento de 3,4 m y borde libre de 0,65 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=2,36:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=2,14:1.

El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero de campana de hormigón armado de 2,4 m de diámetro interior controlado por una compuerta, la cual se encuentra en buen estado de conservación y operación.

La ***obra de entrega*** corresponde a una estructura rectangular de hormigón armado de 1x0,80 m dentro de la cual se localizan 3 tubos. La obra se encuentra en buen estado y operativa (en el momento de la inspección se encontraba en mantención).

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 7.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE CHANCÓN





Vista panorámica Embalse Chancón

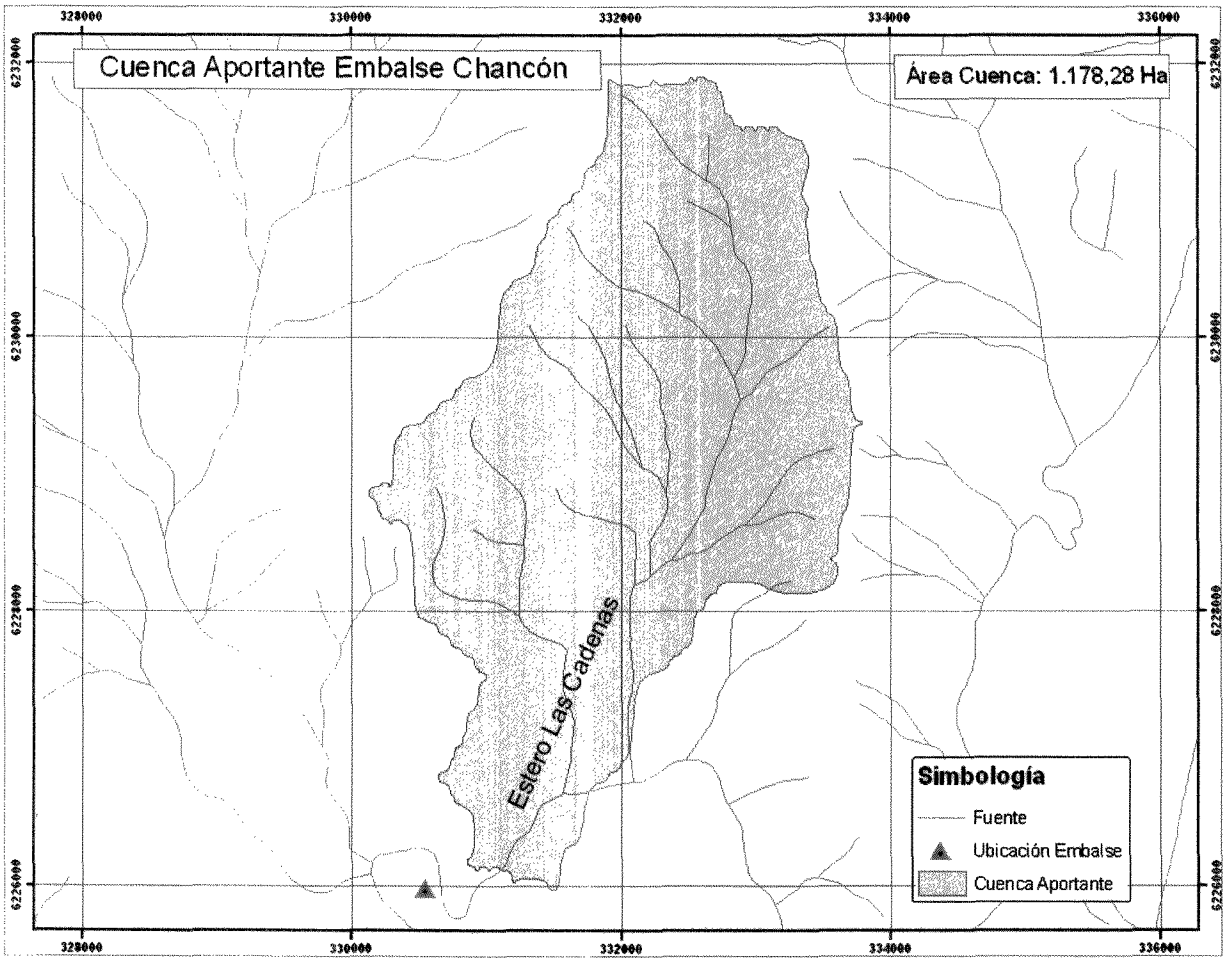
7.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Chancón tiene como fuente al estero Las Cadenas, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 11,78 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 7.3-1
CUENCA EMBALSE CHANCÓN



CUADRO 7.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Embalse Chancón
SUPERFICIE (ha)	Total	1.178,3
	Pluvial	1.178,3
PERÍMETRO (m)	Total	21.480,0
	Pluvial	21.480,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	1.594,60
	Mínima	457,50
	Diferencia	1.137,10
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	34,8
	Cauce	16,7
LONGITUD CAUCE (km)	Total	5,37
	Desde centro de gravedad	2,68
CENTROIDE CUENCA	UTM Este	331.964
	UTM Norte	6.229.370
	Altura (msnm)	635,31
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM Este	332.718
	UTM Norte	6.229.150
	Altura (msnm)	586,21
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Chancón	0,44	0,81	0,04	0,62	0,5

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Chancón	Rapel	0,097	100	Coya

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

NOMBRE EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Chancón	T=2	0,47	Coya	0,639	6,810	4,970	20,970
	T=5	0,60	Coya	0,857	9,140	7,145	35,896
	T=10	0,68	Coya	0,980	10,470	12,230	46,590
	T=20	0,77	Coya	1,136	12,115	16,603	61,064
	T=25	0,80	Coya	1,160	12,420	17,790	65,050
	T=50	0,87	Coya	1,310	14,000	22,450	79,740
	T=100	1,00	Coya	1,450	15,421	29,082	100,945

➢ **Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)**

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Chancón	3,02	5,32	7,19	8,23	9,28	10,00	12,37	15,10

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)			
	T=200	T=250	T=500	T=1000
Chancón	31,44	32,83	37,14	41,46

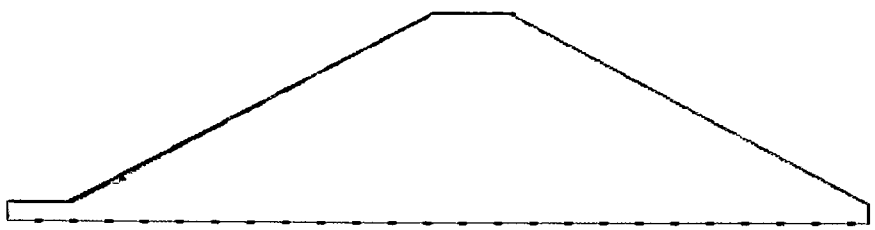
7.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla areno limosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	3,3 m
Ancho coronamiento	3,4 m
Borde libre	0,65 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 2,36 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 2,14 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 7.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Areno Limosa	ø = 22°	2,0	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 7.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

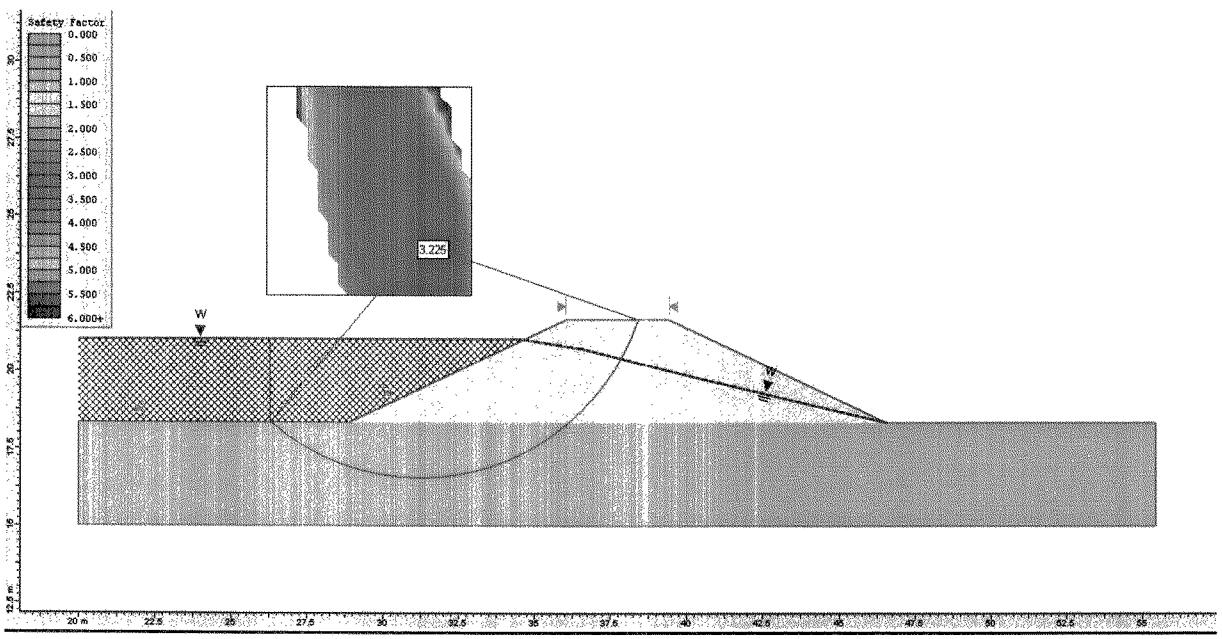


FIGURA 7.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

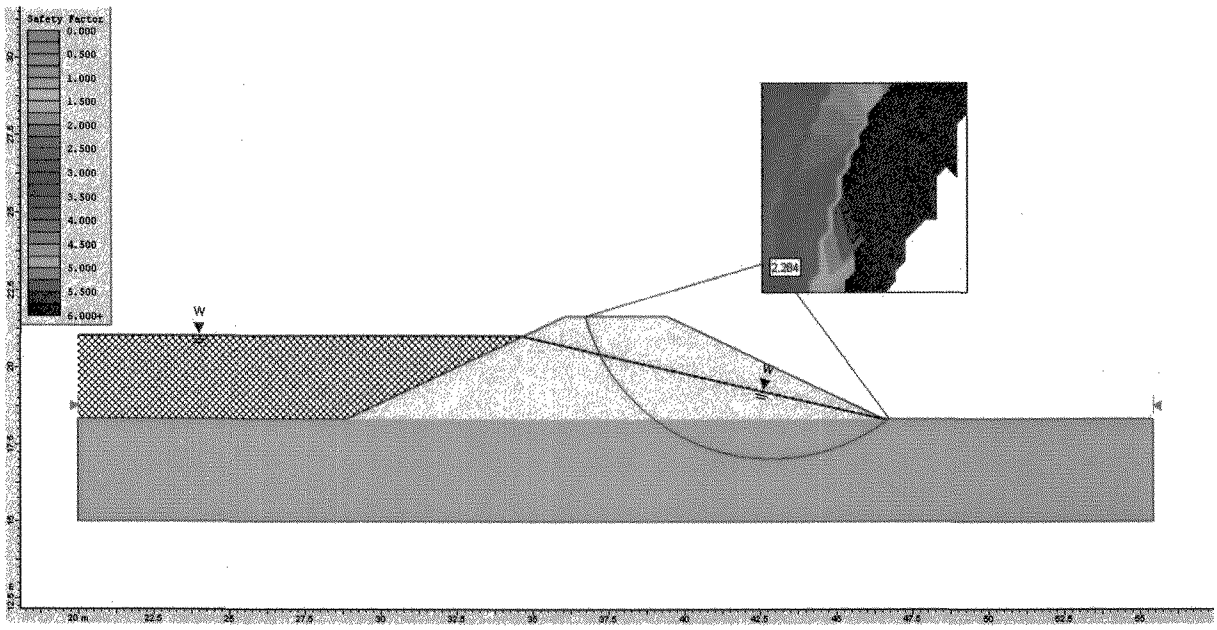


FIGURA 7.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

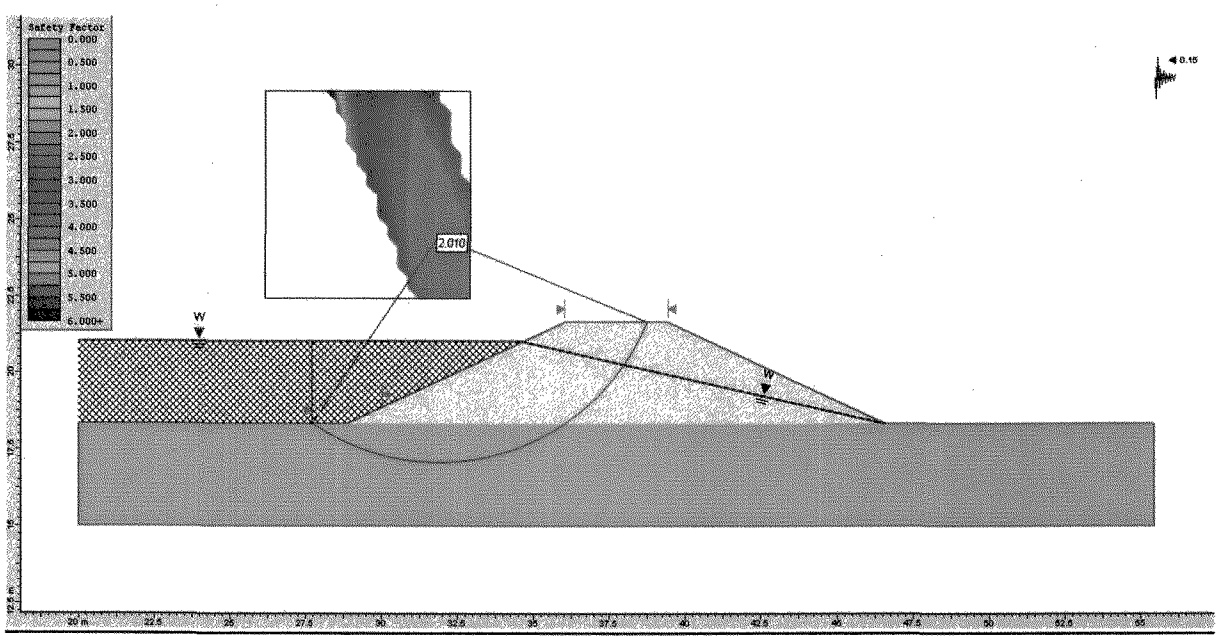


FIGURA 7.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

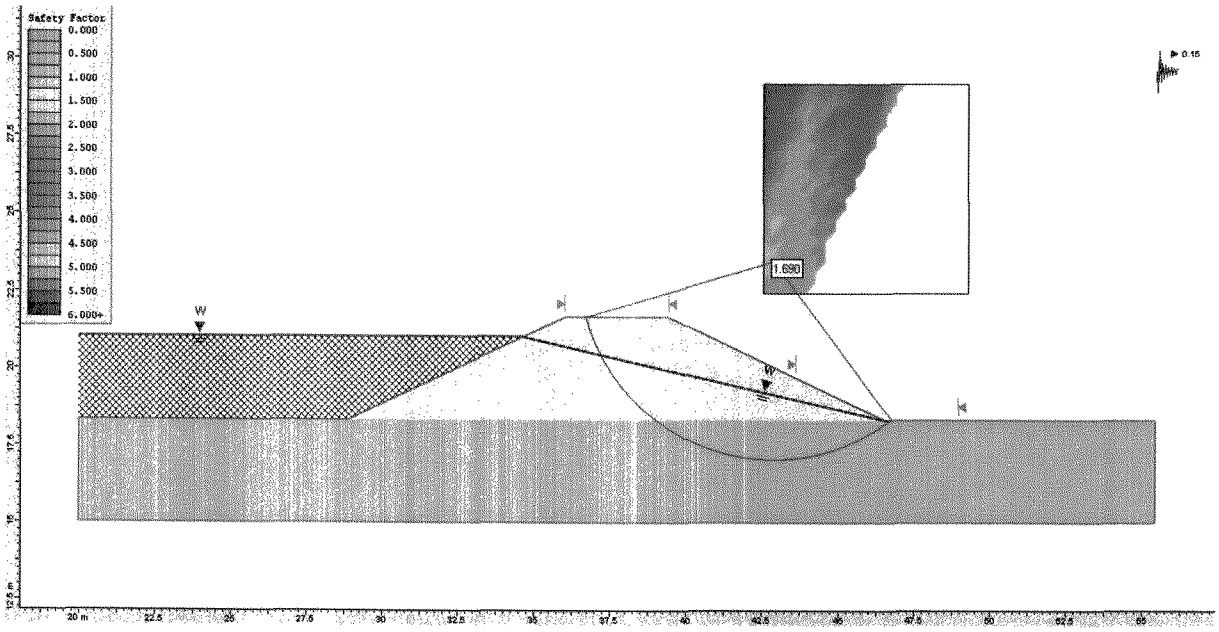


FIGURA 7.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

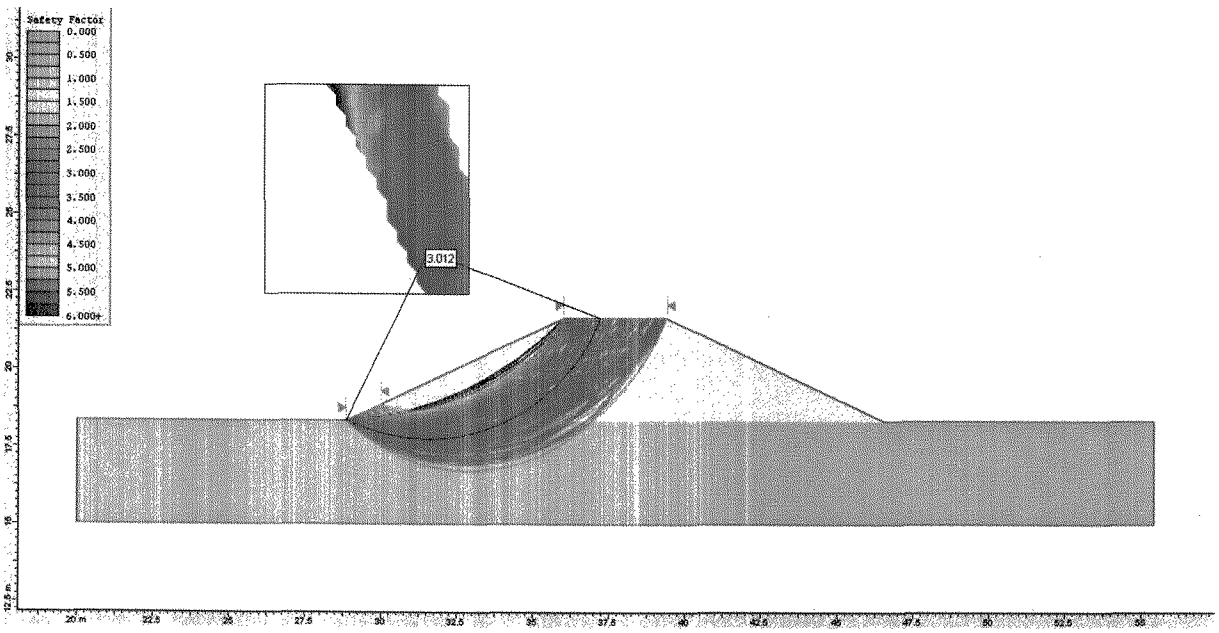


FIGURA 7.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

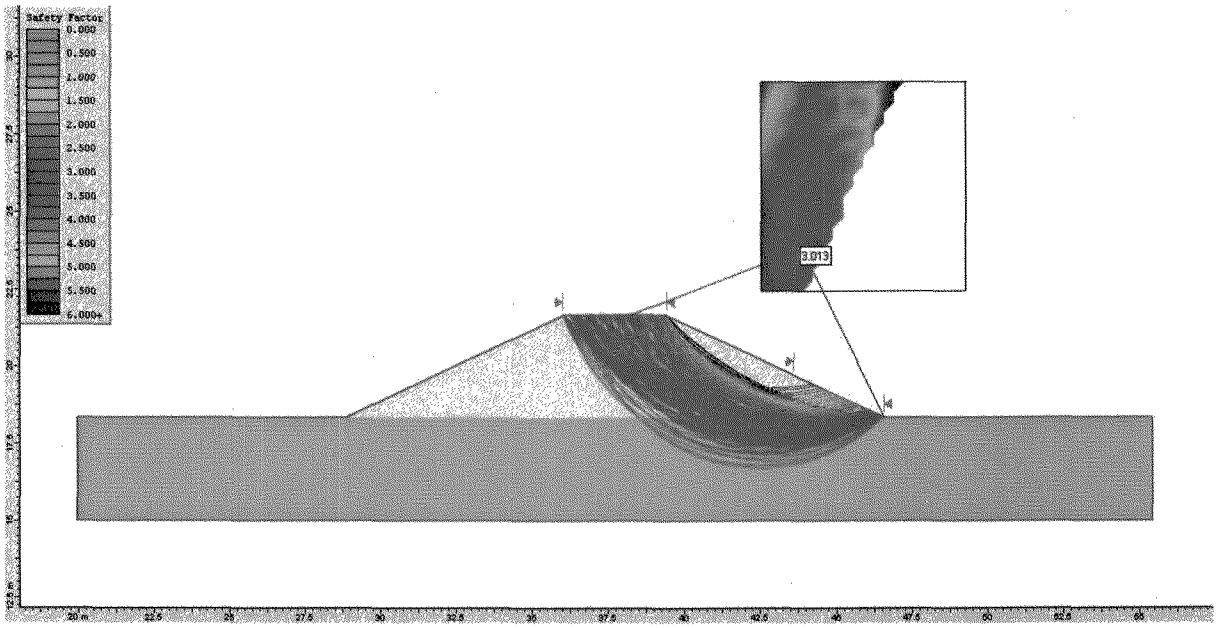


FIGURA 7.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

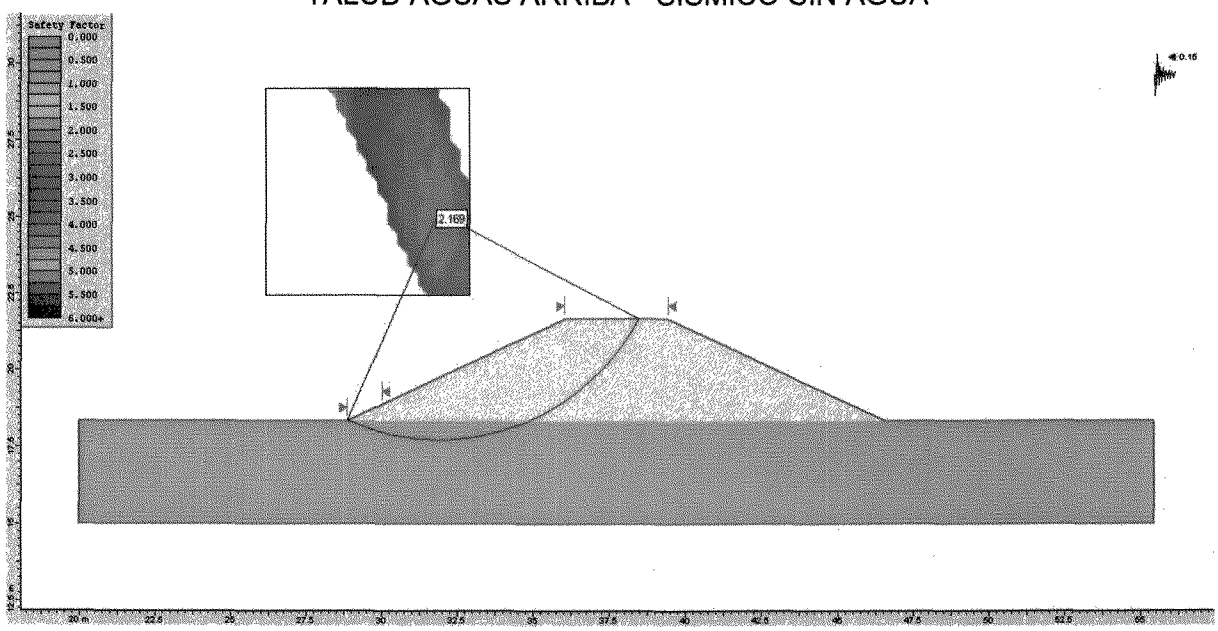
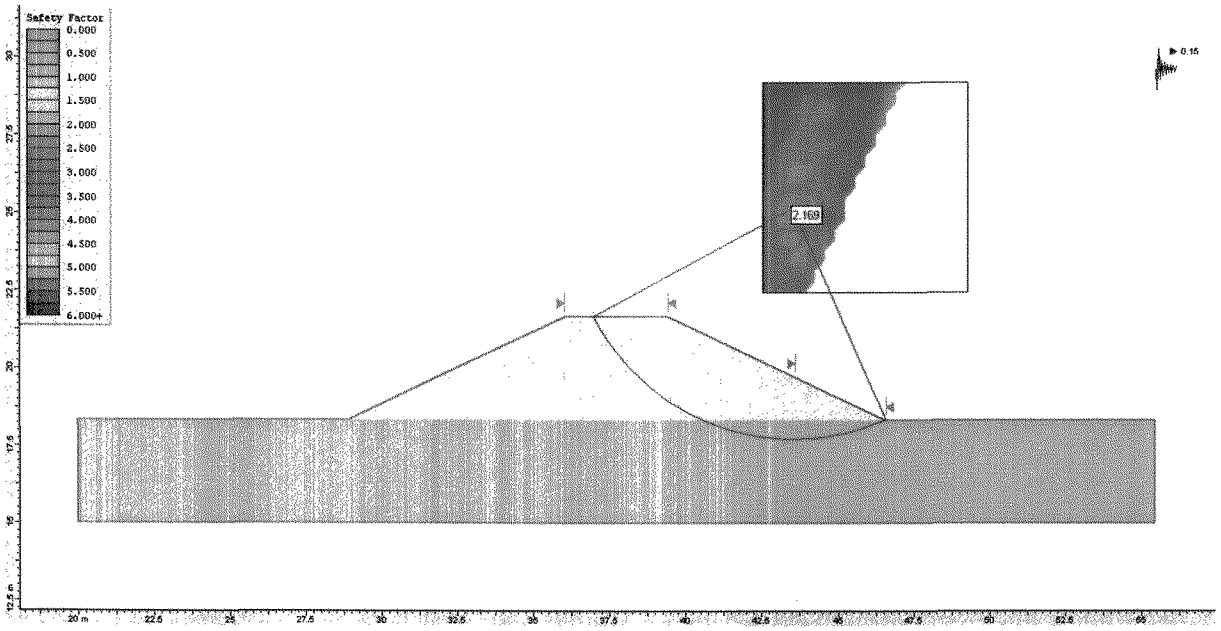


FIGURA 7.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 7.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Chancón	3,225	2,284	2,01	1,690

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Chancón	3,012	3,013	2,169	2,169

En todos los casos analizados el factor de seguridad de los taludes es mayor que 1,5.

7.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Chancón***, se tiene:

Lh (m) =	18,4	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,70	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	2,7	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **SÍ** se cumple la relación, por lo tanto, **NO** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
CHANCON	18,4	0	6,14	3,3	0,65	2,689	1,70	4,6	Si

7.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Chancón.

CHANCON
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea N°	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	°			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	168	0,1044	0,0577
2	36	0,8090	0,6545	179	0,1112	0,0728
3	30	0,8660	0,7500	200	0,1243	0,0932
4	24	0,9135	0,8346	231	0,1435	0,1198
5	18	0,9511	0,9045	262	0,1628	0,1473
6	12	0,9781	0,9568	273	0,1696	0,1623
7	6	0,9945	0,9891	286	0,1777	0,1758
8	0	1,0000	1,0000	304	0,1889	0,1889
9	6	0,9945	0,9891	301	0,1870	0,1850
10	12	0,9781	0,9568	292	0,1814	0,1736
11	18	0,9511	0,9045	266	0,1653	0,1495
12	24	0,9135	0,8346	262	0,1628	0,1359
13	30	0,8660	0,7500	253	0,1572	0,1179
14	36	0,8090	0,6545	243	0,1510	0,0988
15	42	0,7431	0,5523	225	0,1398	0,0772
	Suma	**13,5109**			Suma	**1,9556**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,145 millas
F = 232,94 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,45	0,7479
Molitor	2,34	0,7134
Creager	0,94	0,2859
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **0,65 m**, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

7.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

7.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

7.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**11,48**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,6	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**6,89**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	31,44	0,95	0,00	0,00
0,002	37,14	0,95	0,00	0,00
0,0010	41,46	0,95	0,00	0,00

7.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
Sin humedad al pie	0,05	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	

7.7.4 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

7.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	0,50

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía.

7.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Chancón.

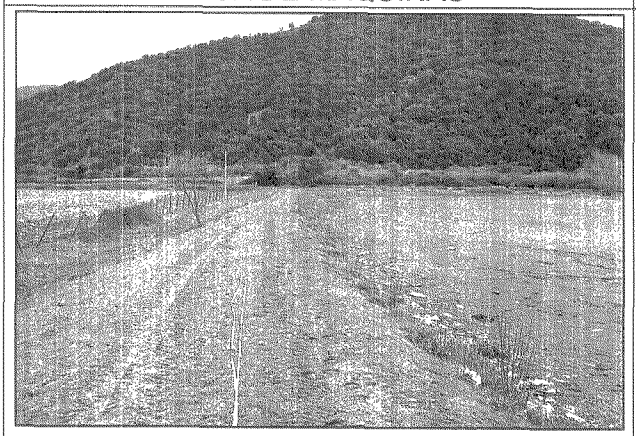
OBRA DE CAPTACIÓN



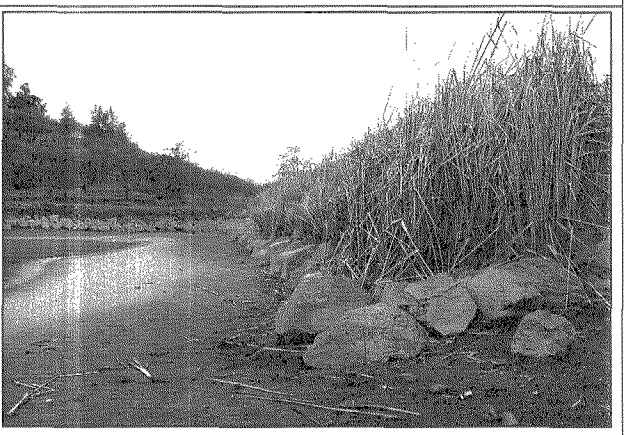
CANAL DE ENTREGA AL EMBALSE



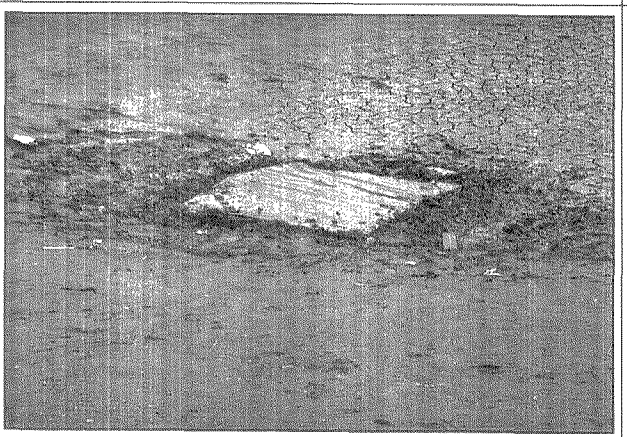
MURO VISTO HACIA EL NORTE DESDE CASA DE MAQUINAS



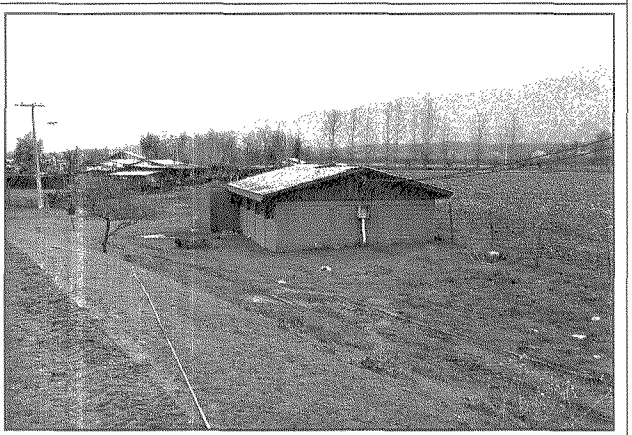
ENROCADO DE PROTECCIÓN

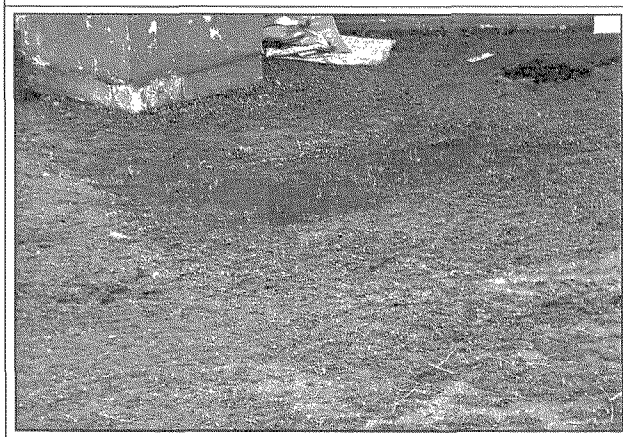
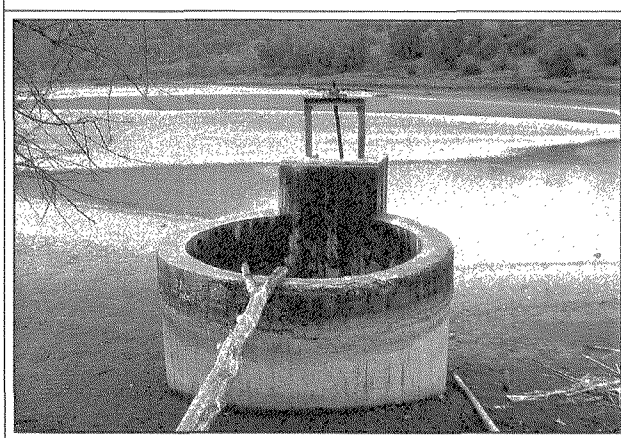
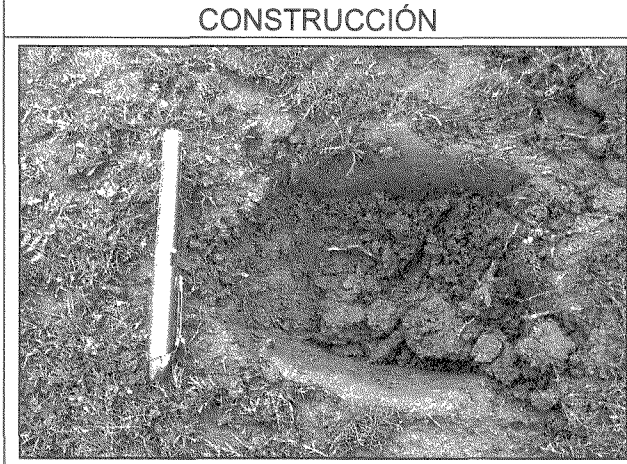
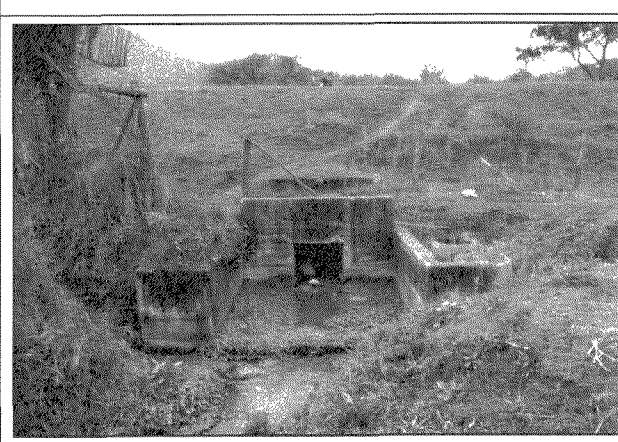


OBRA DE ENTREGA



CASA DE BOMBAS



SATURACIONES	SATURACIONES
	
VERTEDERO	OBRAS DE DRENAJE
	
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	SALIDA DEL VERTEDERO
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Chancón
Propietario	Fruticola La Ramirana
RUT Propietario	77.482.620-0
Año de construcción	1989
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Cachapoal
Fuente del recurso	Estero Las Cadenas

N° de ficha	7
Fecha (dd/mm/año)	21-08-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	Rancagua	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.226.287	E = 330.444
Coordenadas UTM Centro	N = 6.226.085	E = 330.426
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.225.880	E = 330.682
Datum WGS 84		
Altitud	ED = 454; C = 456;	EI = 454

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	494		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 3,3 ;	C = 2,6 ;	EI = 4,2 m
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	7,9		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,65		
Paramentos verticales	NO		
Con eclimetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 20° ;	C = 27° ;	EI = 27,5°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 13°;	C = 29,5° ;	EI = 27,5°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	3,3
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	2,65
Área estimada o calculada de la poza (m2)	83.000
Ancho máximo de la poza (km)	0,31
Largo de la poza (km)	0,27
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,055

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.226.085 E= 330.426	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Areno Limosa

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Aguas abajo regular, aguas arriba irregular
Compacidad del material estructural	Alta
Uniformidad de los taludes	Talud aguas abajo uniforme, talud aguas arriba socavado y en un sector protegido contra oleaje por enrocado (desde el metro 400 al 494 desde el estribo derecho)
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se aprecian depresiones
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se aprecian deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	2 sectores saturados junto a casa de maquinas a los pies del tauld aguas abajo (metro 182 y 196), a unos 7 metros del coronamiento (ver álbum fotográfico)
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se aprecian filtraciones visibles a través del muro
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada y protección de enrocado (desde el metro 400 al 494 desde el estribo derecho)

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	
Vertederos laterales	
Vertederos de campana	X

"X" indica localización y estructura del vertedero

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

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	
Trapezoidales	
Triangulares	
Circulares	X

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Campana
Material constructivo	Hormigón armado
Estado de conservación y operatividad	En buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Alto 3,9 m ; Diámetro exterior 3,0 m ; Diámetro interior 2,4 m; Espesor muro 30 cm

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

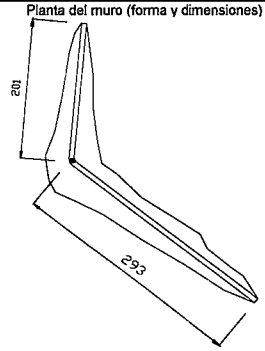
Tipo de estructura	En el piso del embalse cámara de hormigón armado de 1,30 x 1,30 m con espesor de paredes de 0,30 m cubierto con enrejado de fierro. (ver álbum fotográfico)
Mediciones estructurales	No se pudo medir diámetro de cañeria hacia casa de maquinas
Funcionamiento actual	Operativo - en el momento de la visita se encontraba en mantención

10. CARACTERIZACION 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	Salida a cauce artificial en tierra, terrenos agrícolas al pie de cerro, pendiente media 0,6%, ancho medio del cauce 2,0 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	A 100 m de casas
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	A 100 m de casas
Densidad de población en las cercanías del tranque	Densidad baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Colindante
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	200 m de camino de acceso a plantas del fundo La Ramirana
Área de riego servida por el tranque analizado	189 has

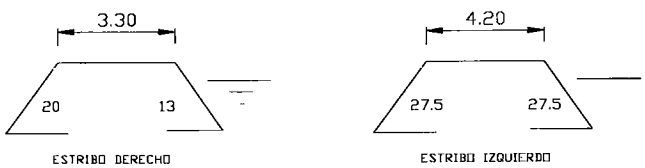
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

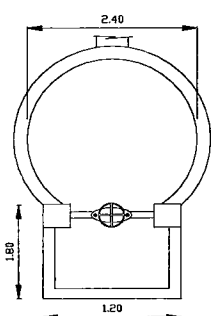


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

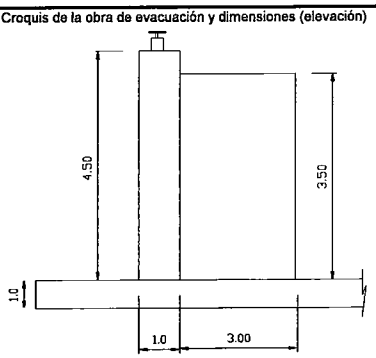
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



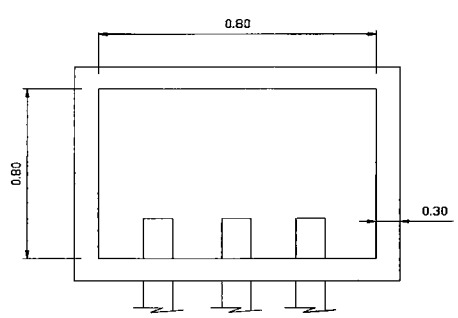
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



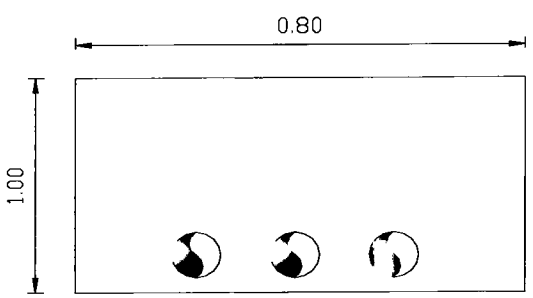
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El embalse esta rodeado de drenes a lo largo del muro con distanciamiento entre ellos de aprox. 100 m. Pozos de hormigón armado de 0,80 m diámetro con una profundidad de 2,3 m (ver álbum fotográfico)
Desde el metro 100 al 400 del estribo derecho, existe socavación por oleaje
Desde el metro 400 en adelante a partir del estibo derecho, hasta el estribo izquierdo, comienza muro de enrocado de protección de oleaje abarcando el costado sur y oriente del embalse (ver álbum fotográfico)
El llenado del embalse se efectúa por canal procedente del estero La Cadena, canal de tierra de aprox. 3 m de ancho por una profundidad promedio de 1,75 m, con compuerta de guillotina en estructura de hormigón de 1,90 m de alto.
Una segunda captación se hace a través de pozos profundos ubicados aproximadamente a 1 Km. a l sur del embalse, y traída por cañeria de pvc de 0,40 m de diámetro.

EMBALSE SAN ISIDRO

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

8. EMBALSE SAN ISIDRO
8.1 Ubicación
8.2 Características Generales
8.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
8.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
8.5 Determinación de Filtraciones
8.6 Verificación del Oleaje
8.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
8.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

8. EMBALSE SAN ISIDRO

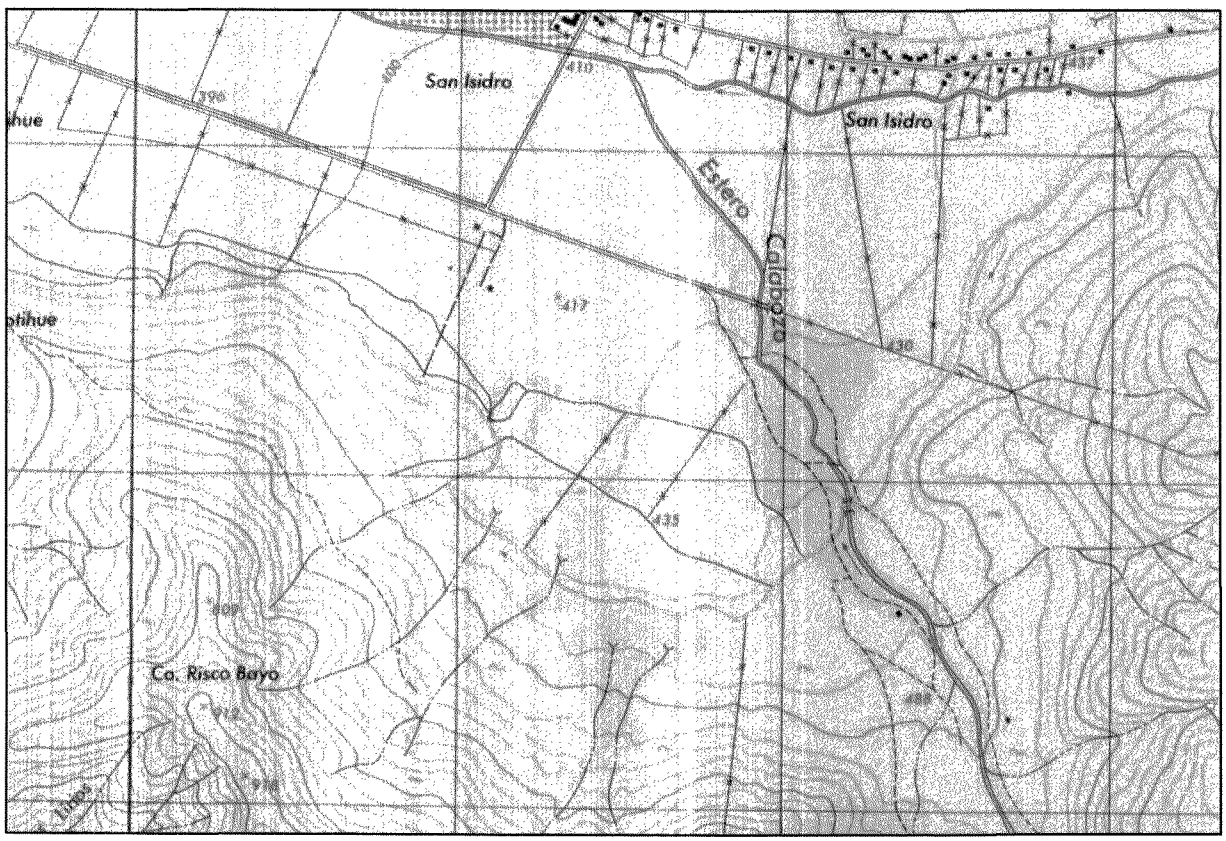
8.1 Ubicación

El embalse San Isidro se ubica en la comuna de Requinoa, provincia de Cachapoal, en las coordenadas UTM 6.199.203 Norte y 341.608, Datum WGS 84 a una Altitud de 415 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca de Rapel, subcuenca del Río Cachapoal y la fuente corresponde al Río Cachapoal 1ª Sección.

El sitio de embalse se localiza siguiendo la Ruta 5 S por aproximadamente 20 km hasta llegar al cruce del camino H-455 al sur de Requínoa, desde ese cruce hacia el oriente se sigue aproximadamente por otros 10 km hasta llegar al sector de San Isidro.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 8.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE SAN ISIDRO



Fuente: Carta IGM

8.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente al particular Fernando Velolio, quien confirma que el tranque es de Bien Común General. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1980.

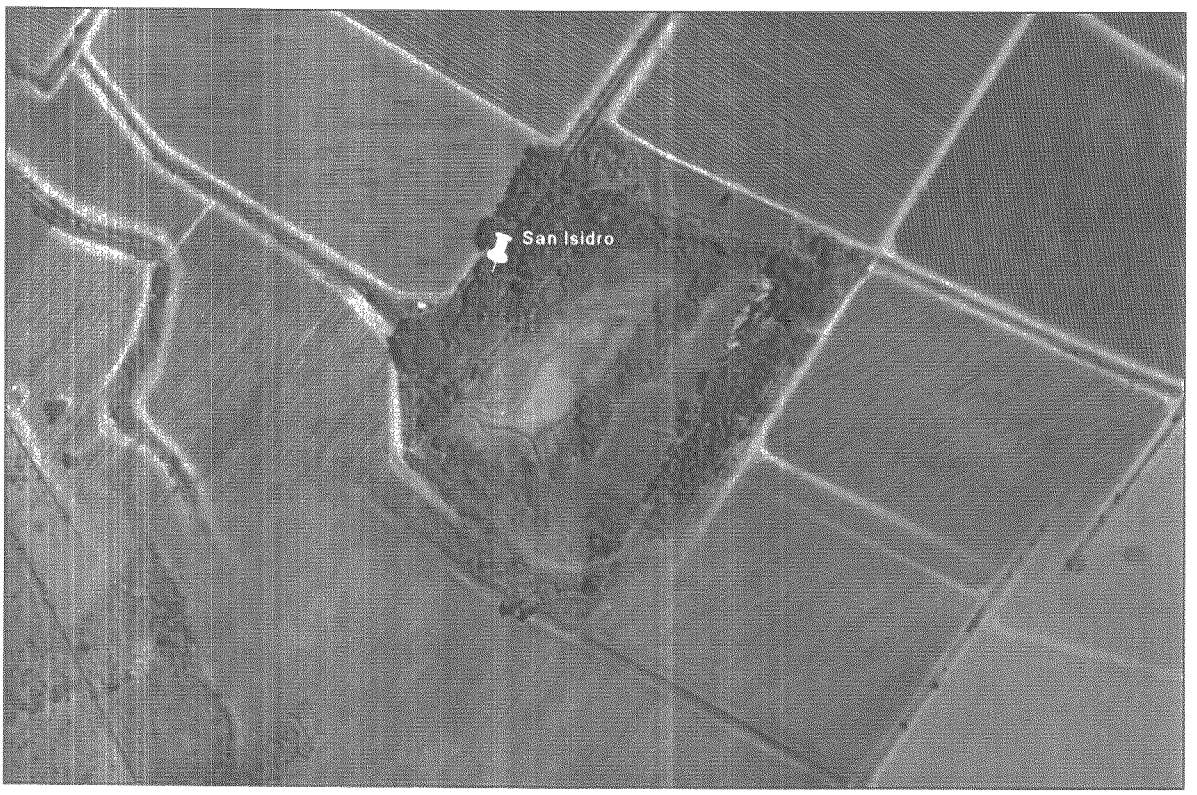
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 0,005 hm^3. La altura máxima del muro es de 2 m, con una longitud de coronamiento de 69 m y ancho promedio del coronamiento de 4,3 m y borde libre de 0,5 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,73:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,96:1.

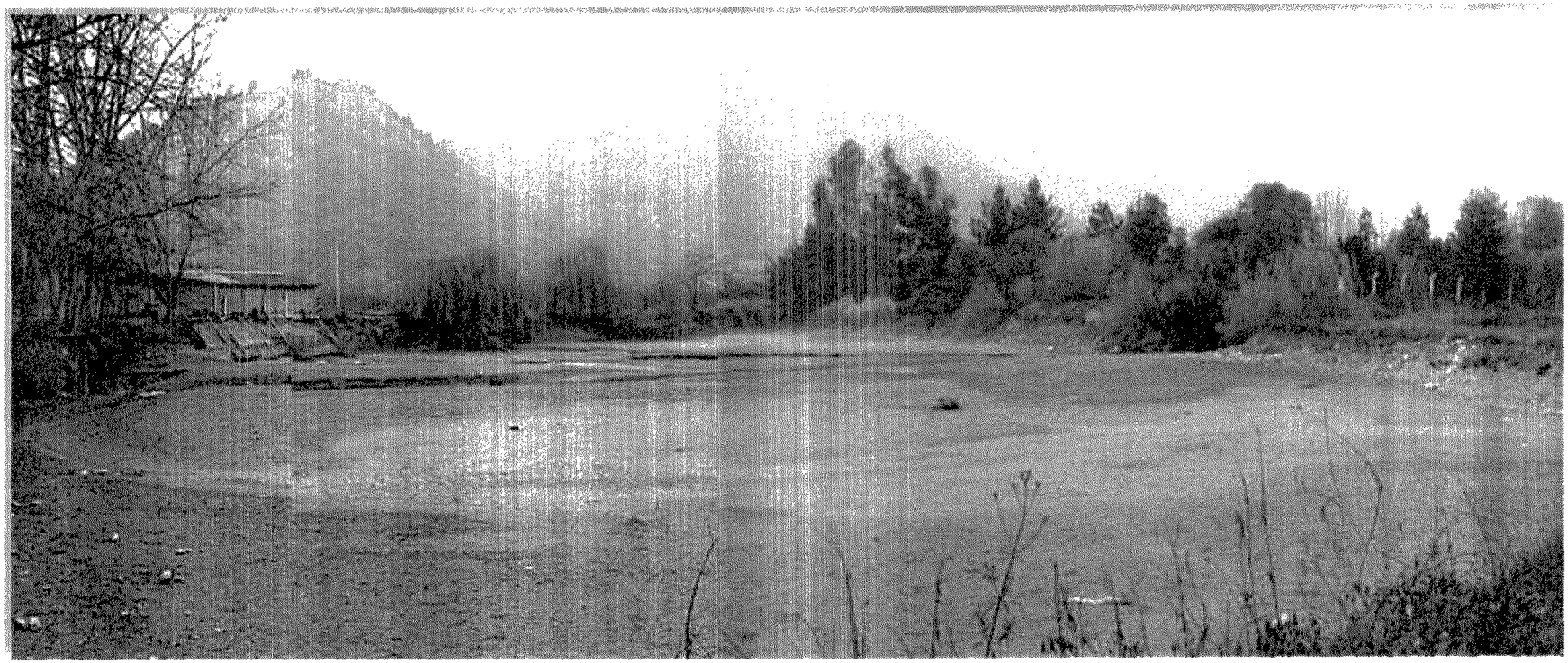
El ***evacuador de crecidas*** es de tipo vertedero libre sin control que funciona rebalsando el agua sobrante por el mismo muro que lo contiene, pasando el agua por el coronamiento.

La ***obra de entrega*** corresponde a una estructura tipo torre circular de hormigón armado, sus principales medidas son: Alto 10,40 m ; Ø interior : 1,50 m; Paredes: 0,20 m. Salida por la parte inferior por tubería de hormigón de Ø : 0,80 m.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 8.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE SAN ISIDRO





Vista panorámica Embalse San Isidro

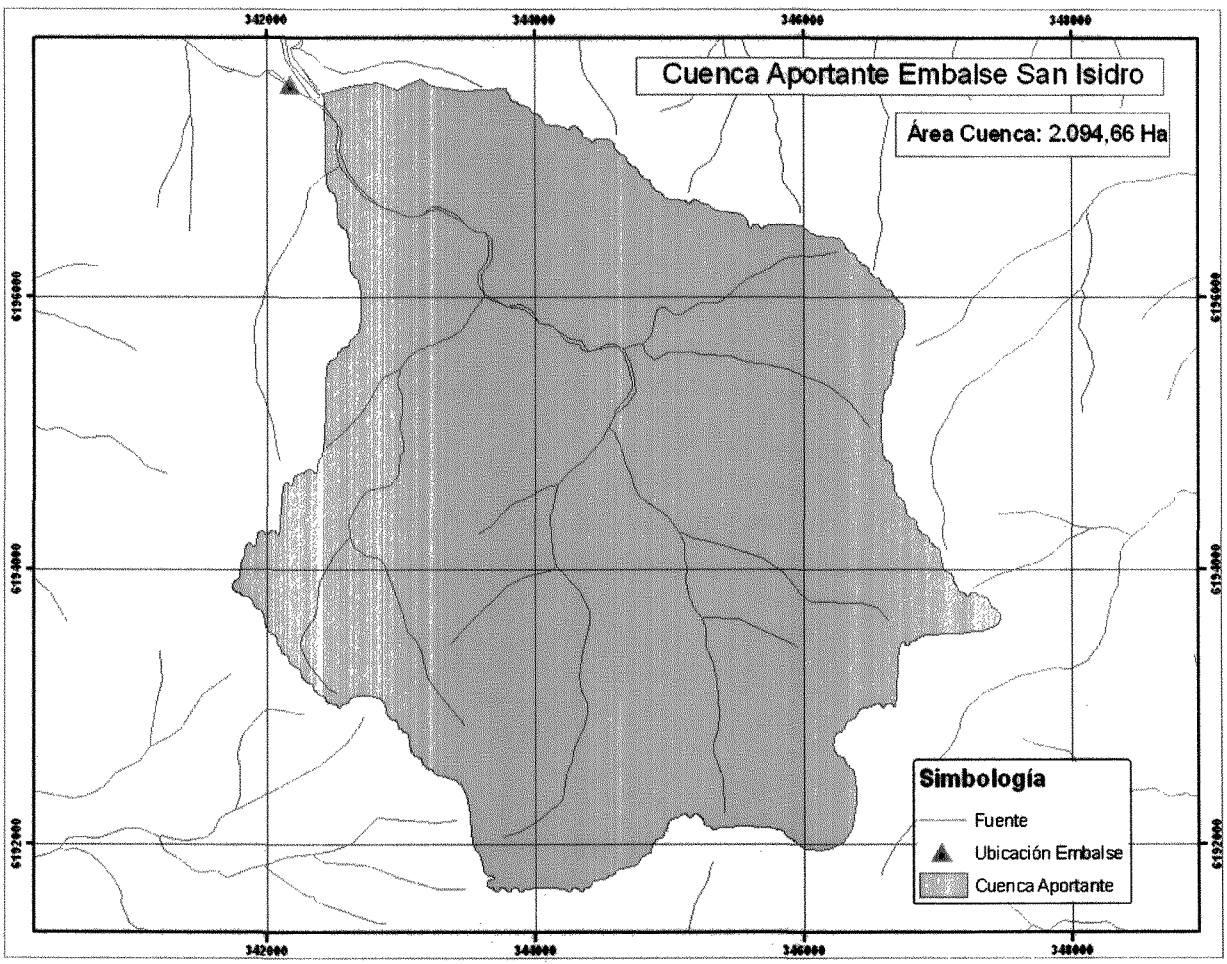
8.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse San Isidro tiene como fuente a la quebrada Sin Nombre, la cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie total de 21,98 km^2, siendo la superficie pluvial de 20,94 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 8.3-1
CUENCA EMBALSE SAN ISIDRO



CUADRO 8.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		San Isidro
SUPERFICIE (ha)	Total	2.198,2
	Pluvial	2.094,7
PERÍMETRO (m)	Total	30.540,0
	Pluvial	27.900,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	1.780,00
	Mínima	428,27
	Diferencia	1.351,73
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	41,9
	Cauce	21,7
LONGITUD CAUCE (km)	Total	8,96
	Desde centro de gravedad	4,48
CENTROIDE CUENCA	UTM Este	344.274
	UTM Norte	6.194.440
	Altura (msnm)	1065,00
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM Este	343.740
	UTM Norte	6.196.010
	Altura (msnm)	797,91
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
San Isidro	0,75	1,08	0,05	0,87	0,8

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
San Isidro	San Fernando	0,119	120	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI –KING

NOMBRE EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
San Isidro	T=2	0,47	Cachapoal	0,644	10,100	10,430	34,520
	T=5	0,60	Cachapoal	0,859	13,470	14,905	58,778
	T=10	0,68	Cachapoal	0,980	15,390	25,450	76,130
	T=20	0,77	Cachapoal	1,133	17,765	34,420	99,492
	T=25	0,80	Cachapoal	1,170	18,320	37,160	106,620
	T=50	0,87	Cachapoal	1,310	20,460	46,340	129,480
	T=100	1,00	Cachapoal	1,430	22,485	59,869	163,538

➢ Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

-Crecidas Pluviales

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

Q_{10} Caudal medio diario máximo con período de retorno de 10 años (m^3/s)
$P_{24}^{T=10}$ Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años (mm)

Ap Área Pluvial de la cuenca (km^2)

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
San Isidro	8,32	14,66	19,81	22,67	25,55	27,53	34,07	41,60

- Crecidas de deshielo

El método denominado DGA-AC para crecidas de deshielo, corresponde a un análisis regional de crecidas del período de deshielo, desarrollado en base a los análisis de frecuencias efectuado a las series de excedencia para el período nival de caudales medios diarios máximos y caudales instantáneos máximos, correspondientes a 234 estaciones de control existente en el país.

El área de la cuenca del embalse San Isidro presenta influencia nival y por lo tanto crecidas de deshielo en el período octubre – marzo, para lo cual se calcula dicha crecida para este período.

Las relaciones empleadas por este método son:

$$Q_{10} = 1{,}81 \cdot 10^{-4} \cdot An \cdot (Lat - 26{,}2)^{3,}$$ Donde:

Q_{10} Caudal medio diario con período de retorno 10 años (m^3/s)
An Área Nival de la cuenca (km^2)
Lat Latitud media de la cuenca, en grados (°)

$$Q(T) = \beta \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T, y el coeficiente β es igual a 1,18.

CURVA DE FRECUENCIA REGIONAL ZONA HOMOGENEA NIVAL "Wn"
CUENCAS VI REGIÓN

T	Q(T)/Q(10)		
	Media	**Máx.**	**Mín.**
2	0,65	0,77	0,57
5	0,87	0,92	0,83
10	1	1	1
15	1,10	1,10	1,10
20	1,12	1,15	1,07
25	1,16	1,2	1,1
50	1,27	1,35	1,16
75	1,33	1,43	1,2
100	1,36	1,47	1,21

CARACTERÍSTICAS CUENCA APORTANTE

Embalse	**Área nival (km^2)**	**Latitud media (·C)**	**Q(10) (m^3/s)**
San Isidro	1,04	34,5	0,25

CAUDAL MÁXIMO MEDIO DIARIO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m^3/s)	**San Isidro**
2	0,19
5	0,25
10	0,29
15	0,32
20	0,33
25	0,34
50	0,37
75	0,39
100	0,40

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC, DESHIELO

Q(T) (m^3/s)	San Isidro
2	0,22
5	0,27
10	0,29
15	0,32
20	0,33
25	0,35
50	0,39
75	0,42
100	0,43

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)			
	T=200	T=250	T=500	T=1000
San Isidro	65,82	68,72	77,71	86,7

8.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	2,0 m
Ancho coronamiento	4,3 m
Borde libre	0,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,73 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,96 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 8.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Arenosa	ø = 22°	2,5	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rockscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 8.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

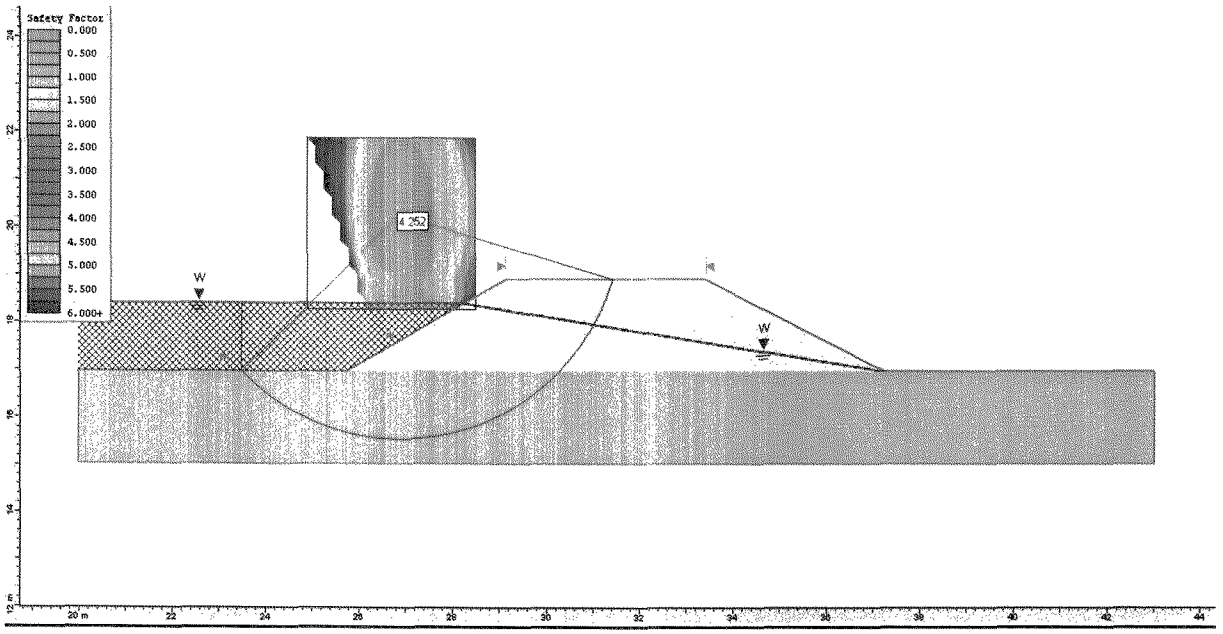


FIGURA 8.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

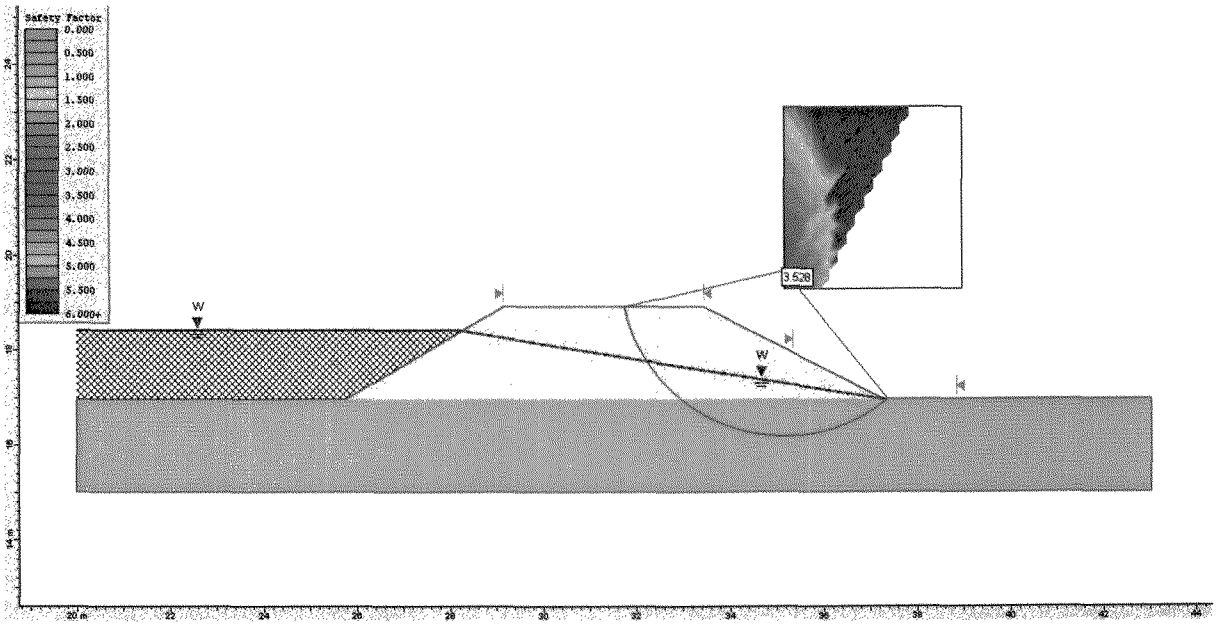


FIGURA 8.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

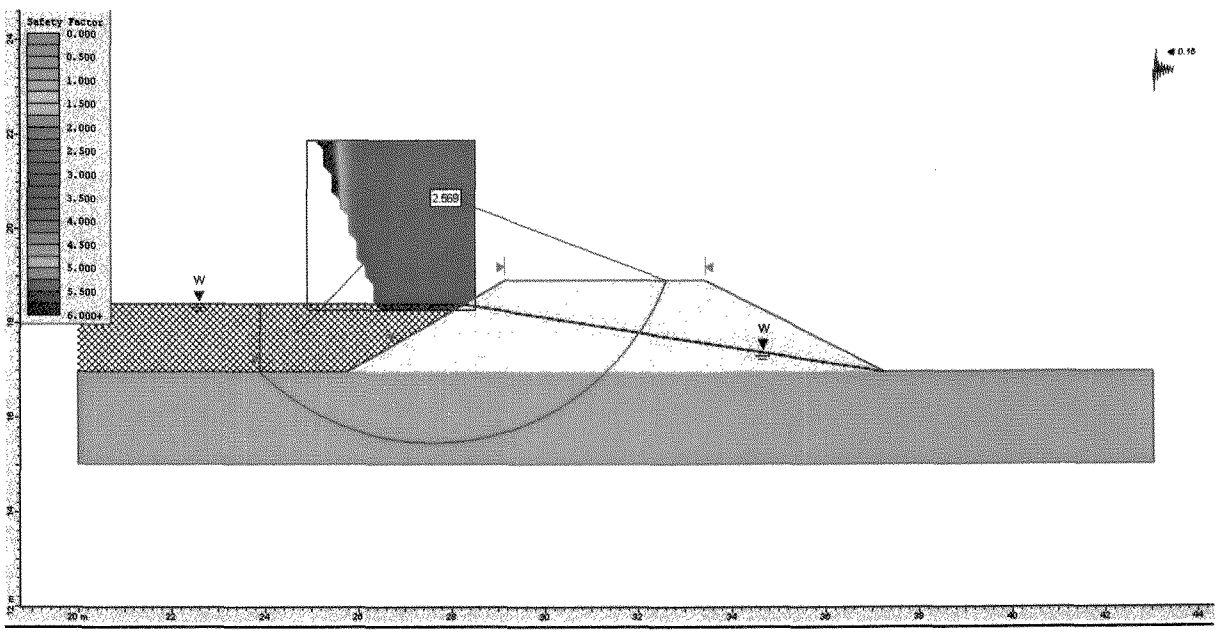


FIGURA 8.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

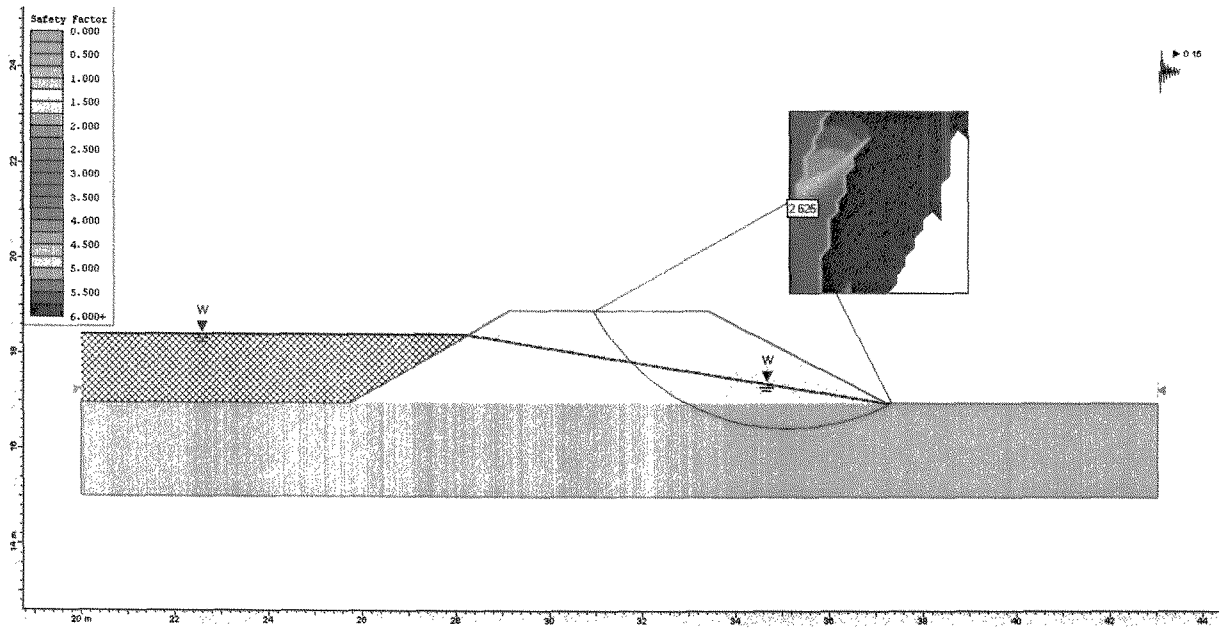


FIGURA 8.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

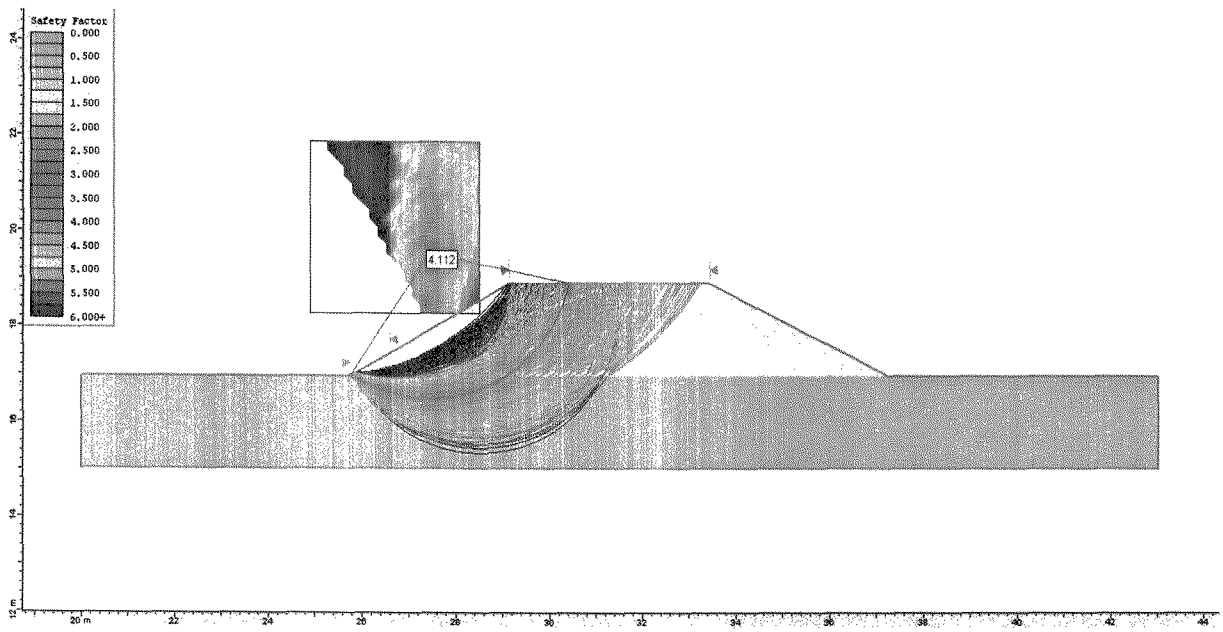


FIGURA 8.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

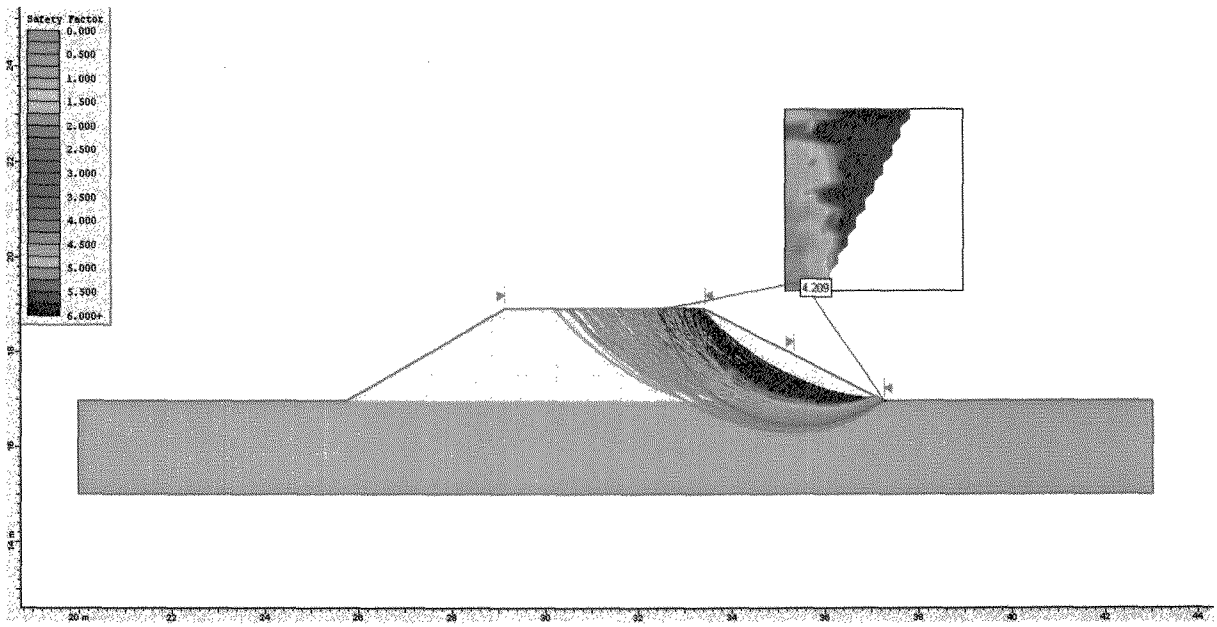


FIGURA 8.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

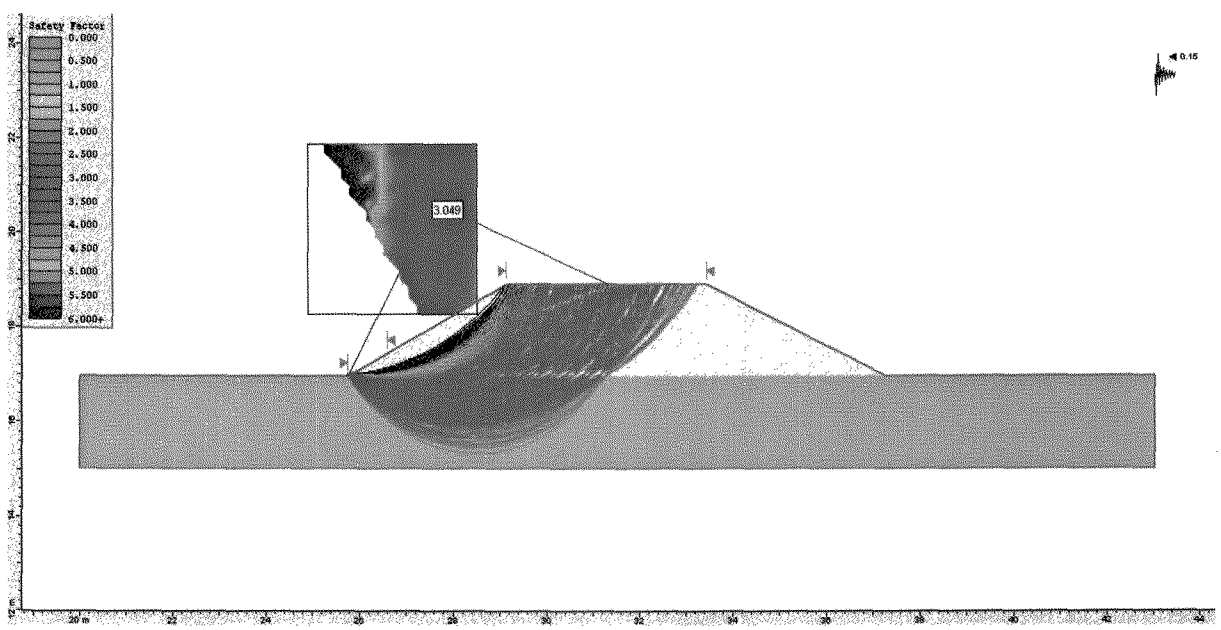
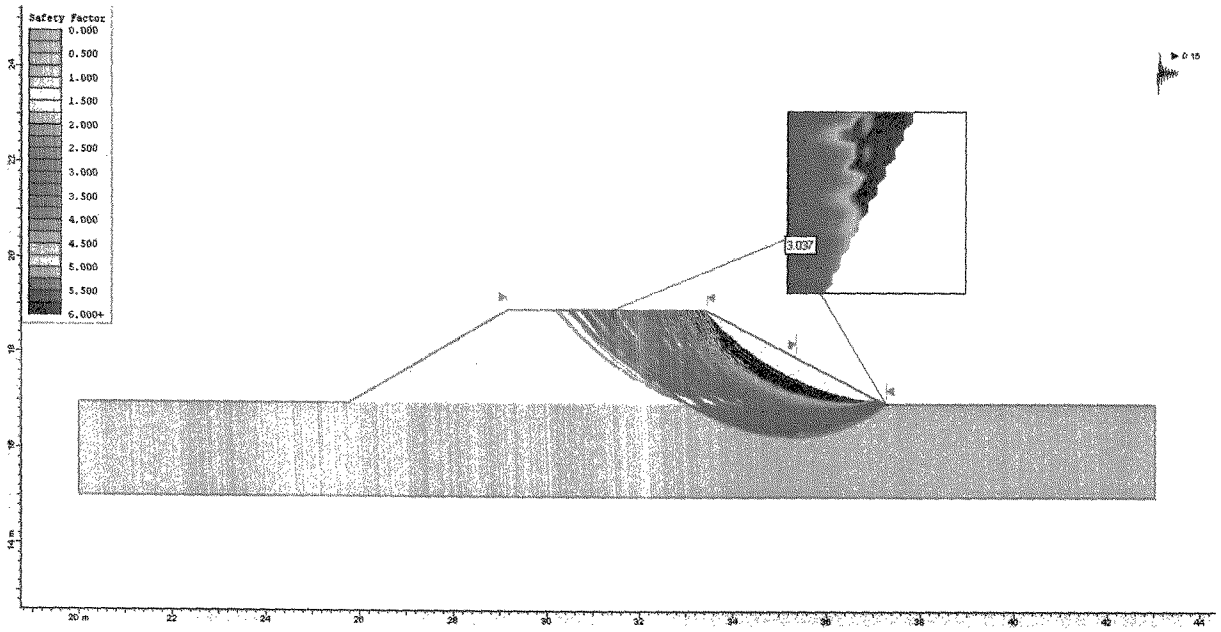


FIGURA 8.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 8.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
San Isidro	4,252	3,528	2,569	2,625

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
San Isidro	4,112	4,200	3,049	3,037

8.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***San Isidro*** se tiene:

Lh (m) =	11,5	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,8	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	1,45	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **SÍ** se cumple la relación, por lo tanto, **NO** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
SAN ISIDRO	11,5	0	3,84	2,0	0,5	1,452	1,80	2,6	Si

8.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse San Isidro.

SAN ISIDRO
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	57	0,0354	0,0196
2	36	0,8090	0,6545	58	0,0360	0,0236
3	30	0,8660	0,7500	62	0,0385	0,0289
4	24	0,9135	0,8346	63	0,0391	0,0327
5	18	0,9511	0,9045	68	0,0423	0,0382
6	12	0,9781	0,9568	74	0,0460	0,0440
7	6	0,9945	0,9891	95	0,0590	0,0584
8	0	1,0000	1,0000	118	0,0733	0,0733
9	6	0,9945	0,9891	68	0,0423	0,0418
10	12	0,9781	0,9568	82	0,0510	0,0487
11	18	0,9511	0,9045	78	0,0485	0,0438
12	24	0,9135	0,8346	67	0,0416	0,0347
13	30	0,8660	0,7500	63	0,0391	0,0294
14	36	0,8090	0,6545	56	0,0348	0,0228
15	42	0,7431	0,5523	51	0,0317	0,0175
	Suma	**13,5109**			Suma	**0,5574**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,041 millas
F = 66,39 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,35	0,7175
Molitor	2,29	0,6991
Creager	0,59	0,1797
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **0,50 m**, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

8.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

8.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

8.7.2 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 evacuación:	**4,42**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,336	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**1,49**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	65,82	0,95	0,49	0,05
0,002	77,71	0,95	0,58	0,05
0,0010	86,70	0,95	0,65	0,05

8.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
Sin humedad al pie	0,05	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	

8.7.4 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

8.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

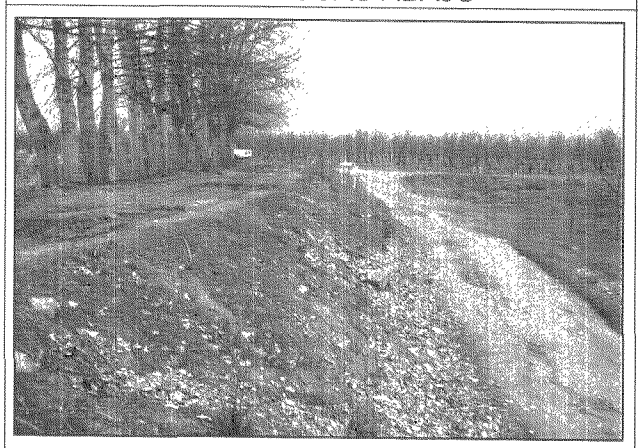
	Riesgo Sismo	**Riesgo Escorrentía**						**Riesgo Piping**
		Pluvial			**Nival**			
Riesgo	0,20	0,48	0,19	0,10	0,03	0,01	0,01	0,25

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía.

8.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse San Isidro.

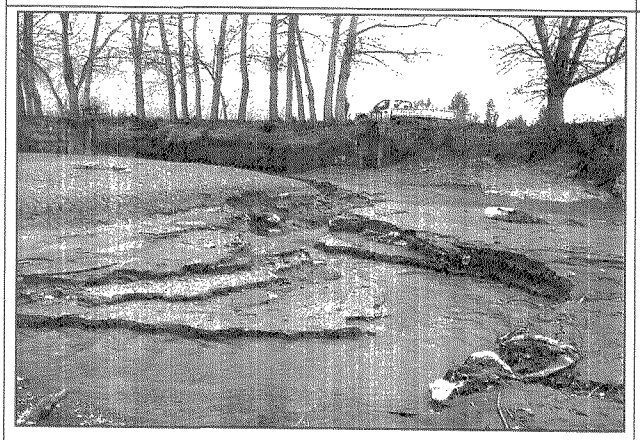
VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO TALUD AGUAS ABAJO



VISTA MURO DESDE ESTRIBO IZQUIERDO TALUD AGUAS ARRIBA



SOCAVACION POR CURSO DE AGUA



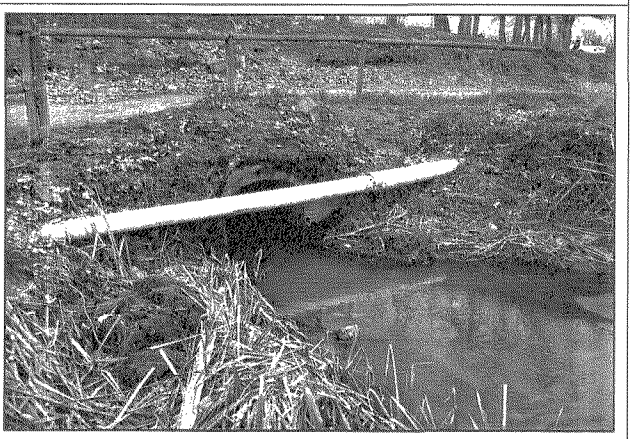
CANAL APORTANTE



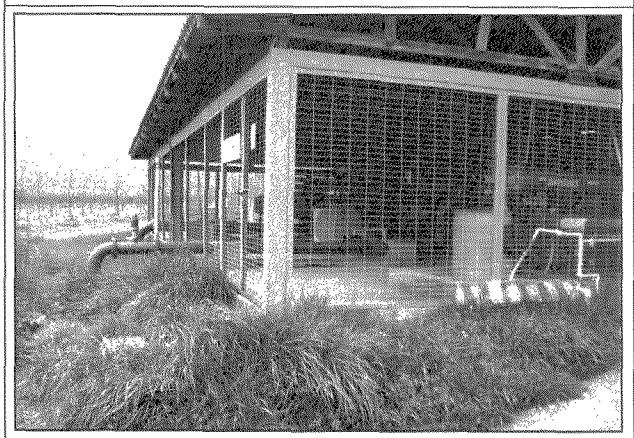
OBRA DE ENTREGA



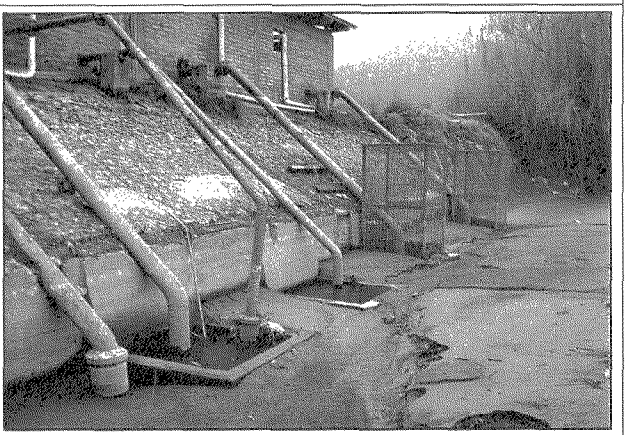
SALIDA OBRA DE ENTREGA



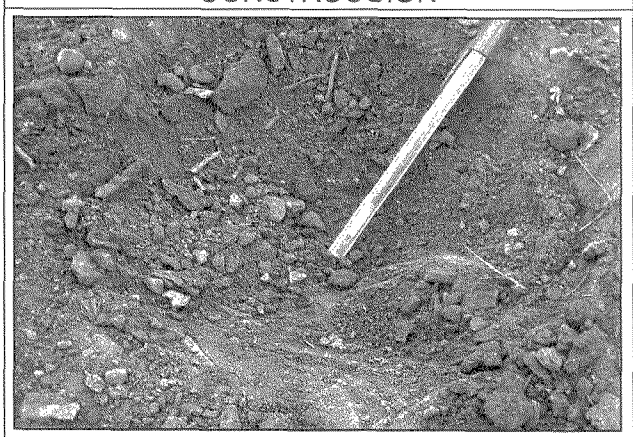
CASA DE BOMBAS



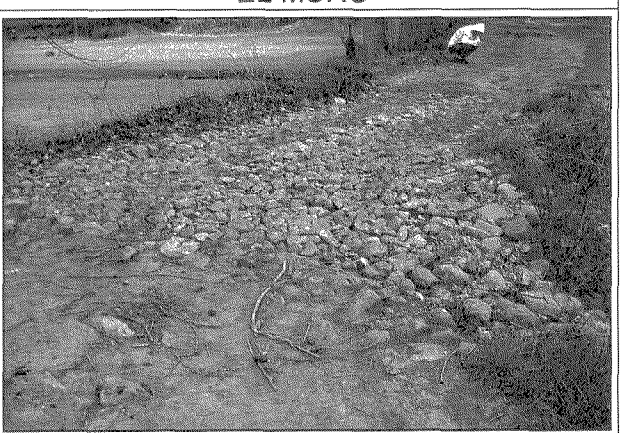
TOMA DE CASA DE BOMBAS



CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



EVACUADOR DE CRECIDAS POR SOBRE EL MURO



EVACUADOR DE CRECIDAS



EVACUADOR DE CRECIDAS - SALIDA



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	San Isidro
Propietario	Bien común General
RUT Propietario	Sin RUT
Año de construcción	1980
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	2002
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Cachapoal
Fuente del recurso	Río Cachapoal

Nº de ficha	8
Fecha (dd/mm/año)	31-08-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	Del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	Requinoa	
Coordenadas UTM Estribo derecho	N= 6.199.230	E= 341.608
Coordenadas UTM Centro	N= 6.199.203	E= 341.608
Coordenadas UTM Estribo izquierdo	N= 6.195.162	E= 341.603
Datum WGS 84		
Altitud	ED= 421 ; C= 415 ;	EI=399

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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

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 (m)	69		
Ancho del coronamiento (m)	ED=4,0 ;	C=5,0 ;	EI=4,0
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	4,3		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,5		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo (°)	ED = 27° ;	C = 27° ;	EI = 27°
Ángulo talud de aguas arriba (°)	ED = 30° ;	C = 30° ;	EI = 30°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	2,0
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	1,5
Área estimada o calculada de la poza (m2)	12.800
Ancho máximo de la poza (km)	0,16
Largo de la poza (km)	0,08
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,005

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.199.200 E= 341.608	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Arenosa

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Irregular en toda su extensión
Compacidad del material estructural	Muy alta
Uniformidad de los taludes	Talud aguas abajo irregular, talud aguas arriba socavado por oleaje
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Depresiones visibles causadas por transito vehicular
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al coronamiento	No se presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se presentan filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Muro de tierra compactada con grava

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
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	Ver Observación, evacuador por revalse
Vertedero de pared gruesa	
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	Por rebalse por sobre coronamiento
Material constructivo	en tierra cubierto por enrocado
Estado de conservación y operatividad	Conservación en regular estado, en funcionamiento
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación) (m)	Sección rectangular ancho 2,30 ; alto 0,50 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

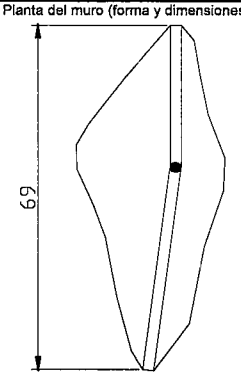
Tipo de estructura	Torre circular de hormigón armado
Mediciones estructurales	Alto 10,40 m ; Ø interior : 1,50 m ; Paredes : 0,20 m. Salida por la parte inferior por tubería de hormigón de Ø : 0,80 m
Funcionamiento actual	En funcionamiento

10. CARACTERIZACION 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 artificial en tierral, terrenos agrícolas, pendiente media 2%, ancho medio cauce 2 m.
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	7,5 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	7,5 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media a Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacentes
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,5 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	65 has

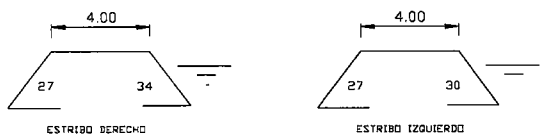
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

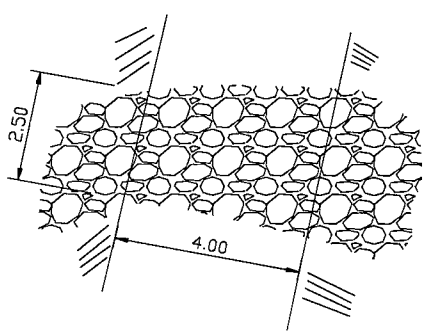


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

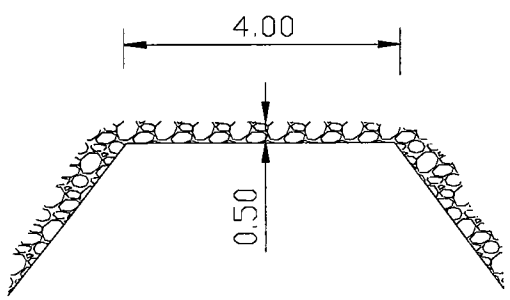
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes respecto a la horizontal.



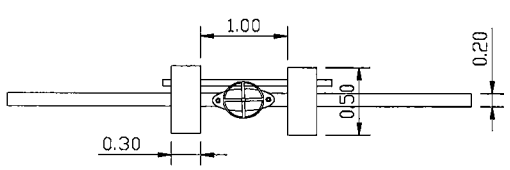
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



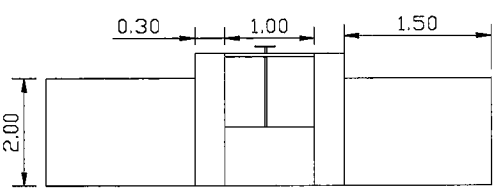
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

La obra de toma es mediante una casa de bombas que distribuye el agua para el regadío de los predios
Además existen 3 obras de entrega de las cuales una esta en malas condiciones. Estas corresponden a obras de hormigón con compuertas de fierro
El tranque se encuentra en regular estado, la zona por donde evacua el agua en caso de rebalse está recubierta con bolones de piedra (evacuador de crecidas por sobre el muro)

EMBALSE MILLAHUE

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

9. EMBALSE MILLAHUE
9.1 Ubicación
9.2 Características Generales
9.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
9.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
9.5 Determinación de Filtraciones
9.6 Verificación del Oleaje
9.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
9.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

9. EMBALSE MILLAHUE

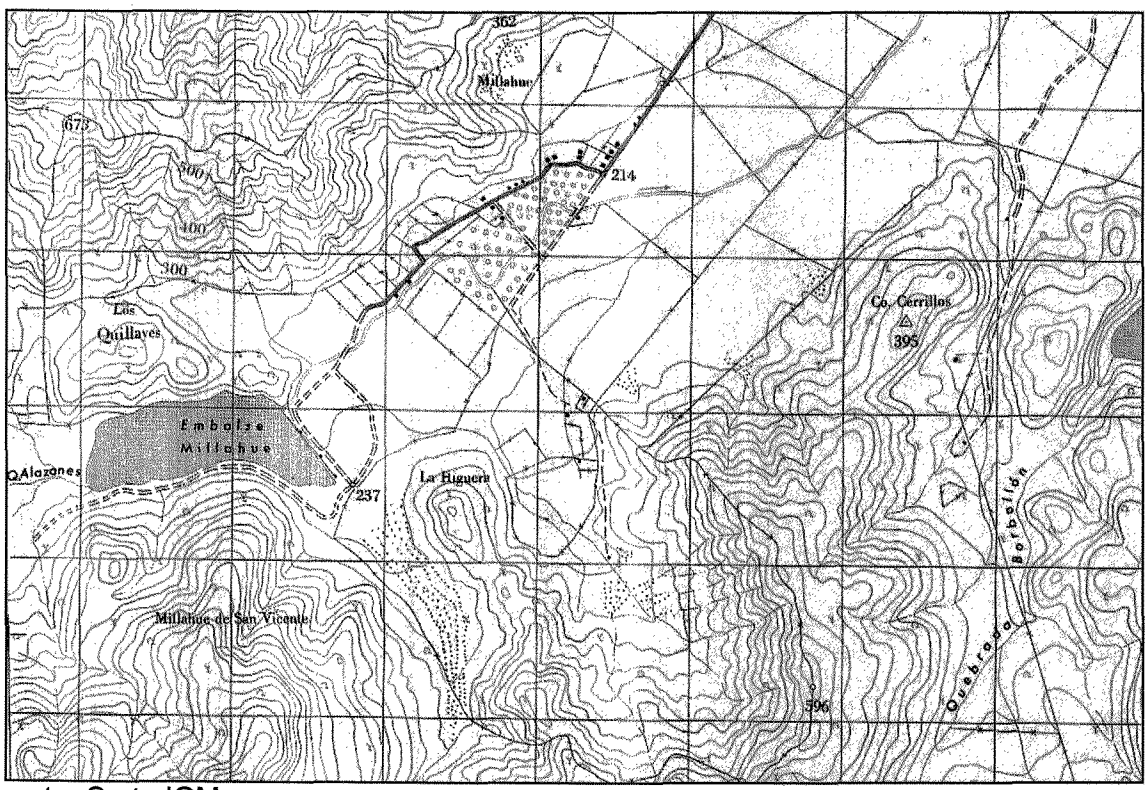
9.1 Ubicación

El embalse Millahue se ubica en la comuna de San Vicente de Tagua Tagua, provincia de Colchagua, en las coordenadas UTM 6.175.352 Norte y 295.370 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 231 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca de Rapel, subcuenca del Río Cachapoal y la fuente corresponde a la quebrada Los Alazanes.

Se llega el sitio de emplazamiento desde San Vicente de Tagua-Tagua (km 0) por la ruta H-80-I hasta el cruce puente Zamorano (800 m desde plaza), luego por la ruta H-800 hacia el sur hasta, finalmente hacia el sur por ruta H-830 por 21 km.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 9.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE MILLAHUE



Fuente: Carta IGM

9.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente al Comité de Riego Tranque Millahue y La Rioja. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1950.

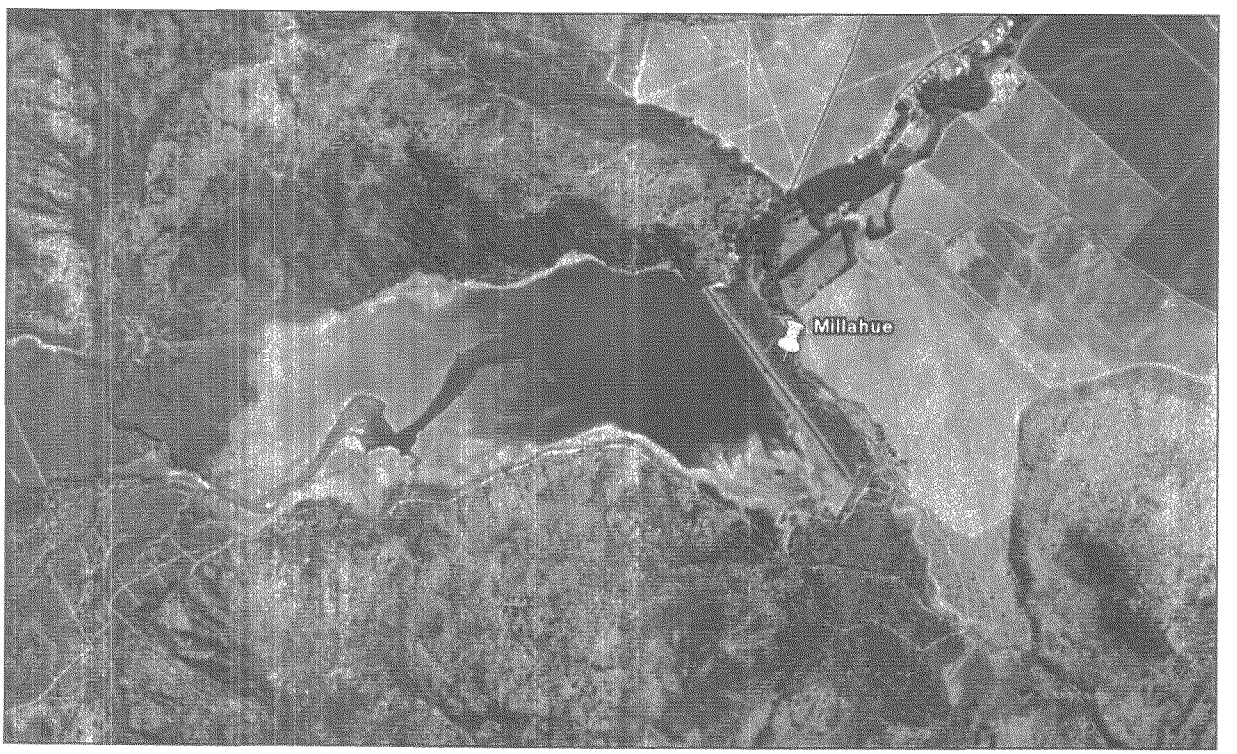
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 1,217 hm^3 La altura máxima del muro es de 7,4 m, con una longitud de coronamiento de 590 m y ancho promedio del coronamiento de 6,8 m y borde libre de 1,60 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,33:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,73:1.

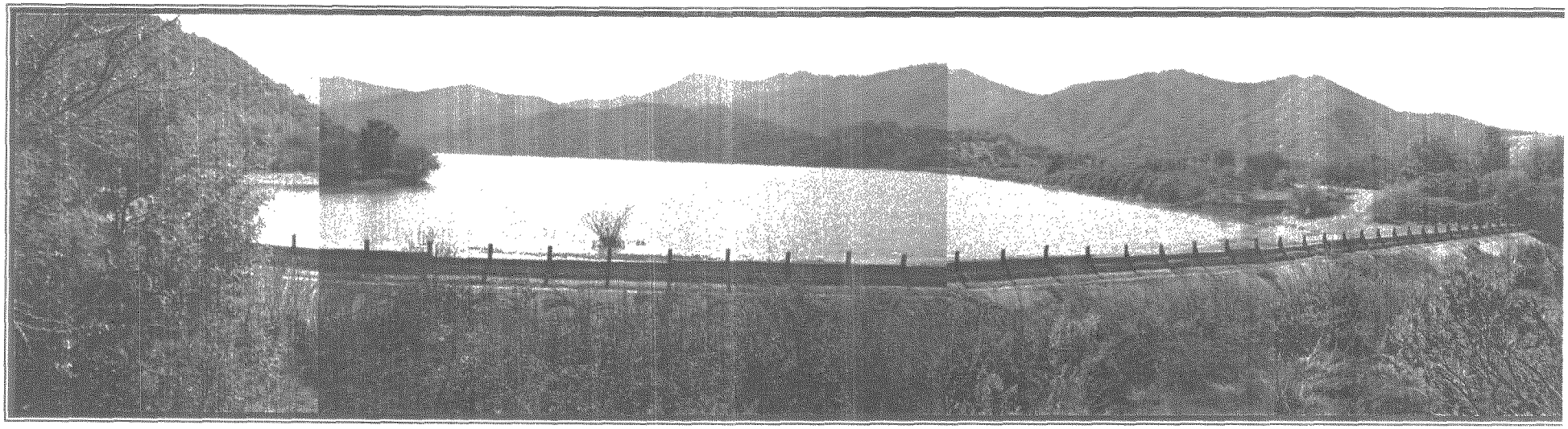
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un Vertedero de caída libre con compuertas de madera con un ancho medio de 110 m y 0,50 m de alto. Tiene estructura de control. En buen estado, operativo.

La ***obra de entrega*** corresponde a una torre de hormigón con salida en tubo de hormigón por el fondo del muro de 2,9 m de diámetro por 12 m de alto. La obra se encuentra en buen estado, funcionando.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 9.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE MILLAHUE





Vista panorámica Embalse Millahue

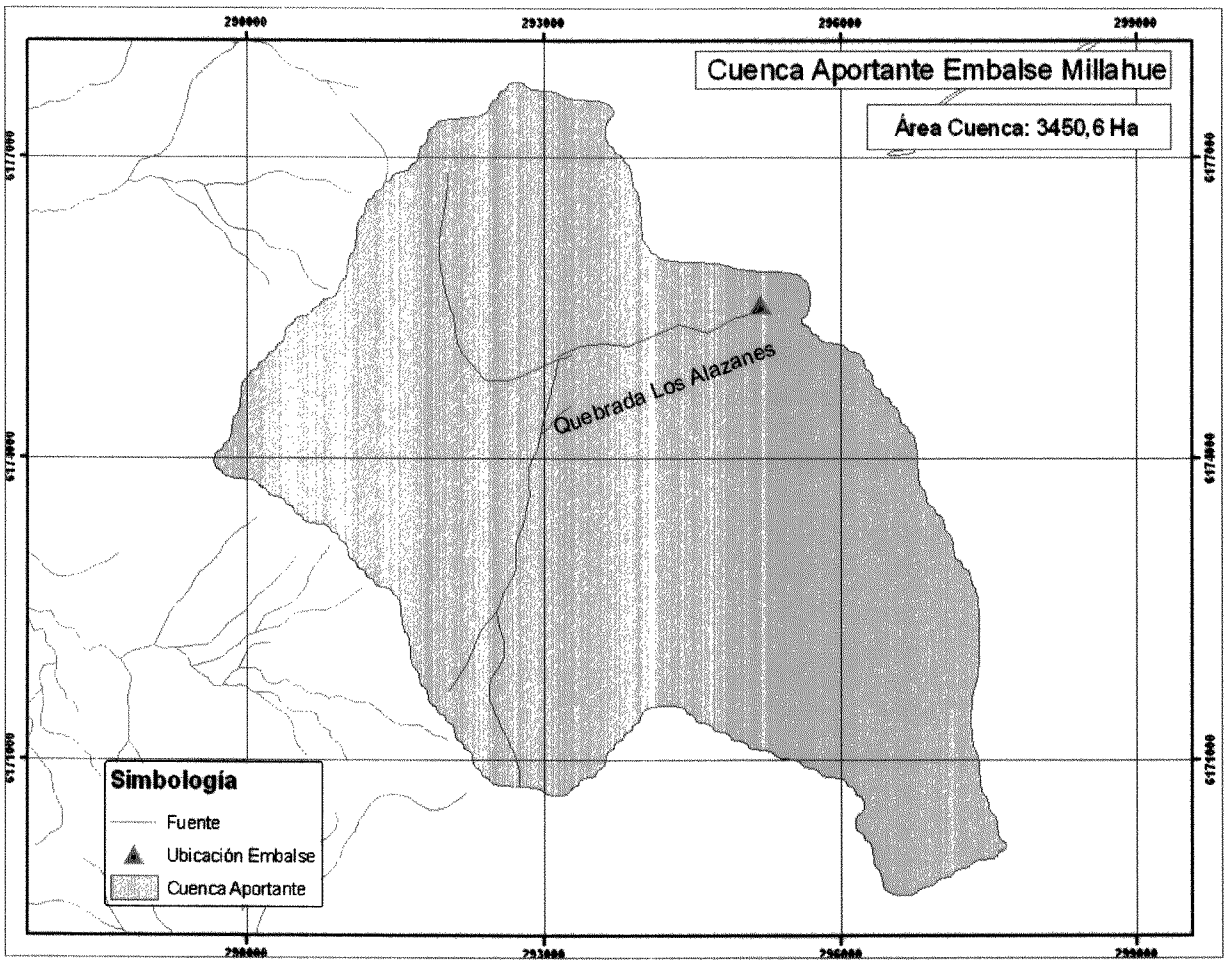
9.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Millahue tiene como fuente a la quebrada Los Alazanes, la cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 34,51 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 9.3-1
CUENCA EMBALSE MILLAHUE



CUADRO 9.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Millahue
SUPERFICIE (ha)	Total	3.450,6
	Pluvial	3.450,6
PERÍMETRO (m)	Total	34.740,0
	Pluvial	34.740,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	1.196,7
	Mínima	230,0
	Diferencia	966,7
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	31,4
	Cauce	10,7
LONGITUD CAUCE (km)	Total	7,77
	Desde centro de gravedad	3,88
CENTROIDE CUENCA	UTM E	293.669
	UTM N	6.174.110
	Altura (msnm)	339,3
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	293.080
	UTM N	6.175.089
	Altura (msnm)	250
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Millahue	0,72	4,20	0,09	0,90	0,90

➢ **Precipitaciones Máximas**

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Millahue	San Fernando	0,126	120	Cachapoal

➢ **Caudales de Crecidas**

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Millahue	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	10,7	16,2	54,0
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	14,3	23,1	91,9
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	16,3	39,4	118,9
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	17,7	47,0	139,0
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	18,8	53,2	155,2
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	19,5	57,7	167,0
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	21,8	72,2	203,3
	T=100	1	Cachapoal	1,5	24,2	94,2	258,7

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Millahue	9,46	21,59	29,18	33,39	37,64	40,56	50,19	61,27

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Millahue	101,52	119,95	133,89

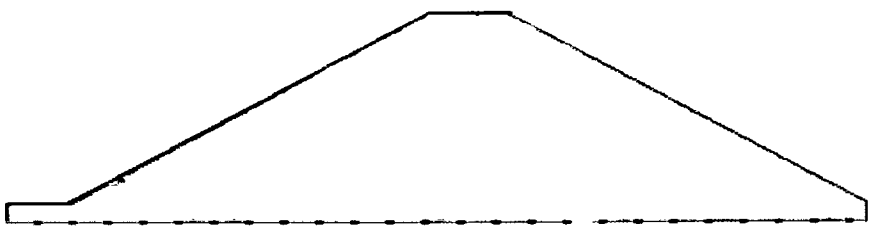
9.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una Arcilla areno gravosa (gravas ½"), cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	9,0 m
Ancho coronamiento	6,8 m
Borde libre	1,6 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,33 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,73 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 9.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 20°	2.0	1,70	1,90

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rockscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 9.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

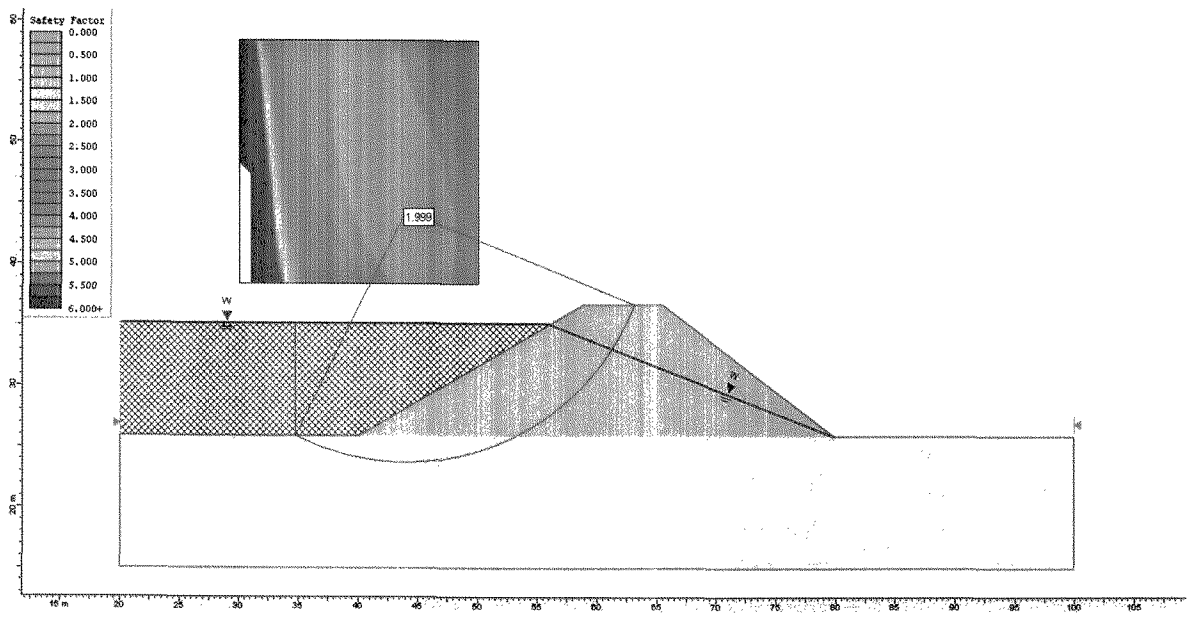


FIGURA 9.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

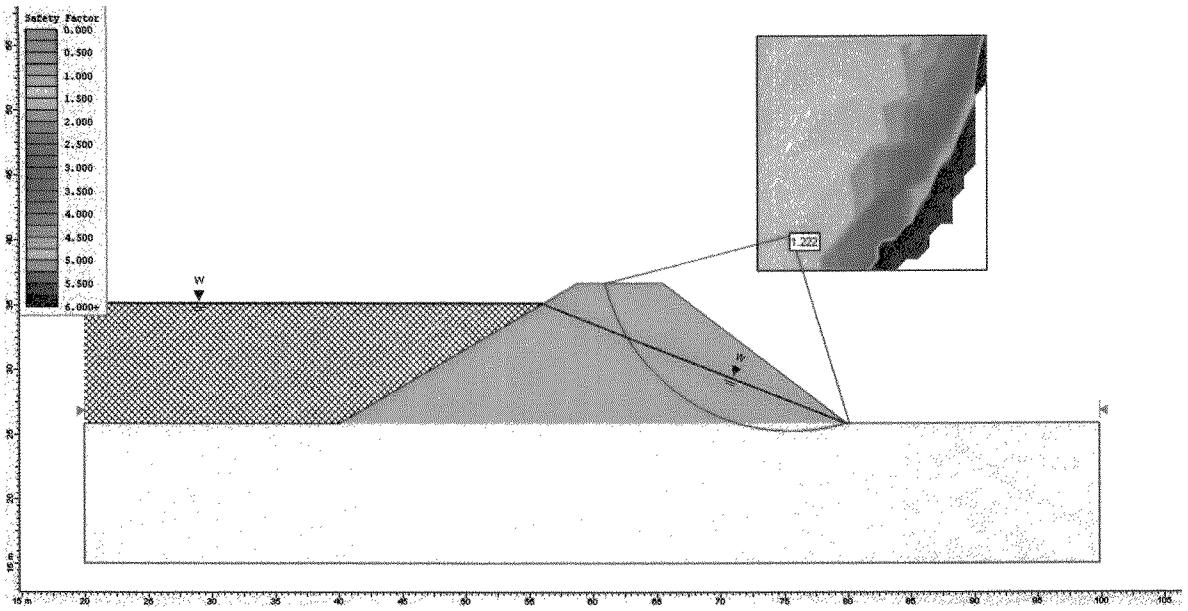


FIGURA 9.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

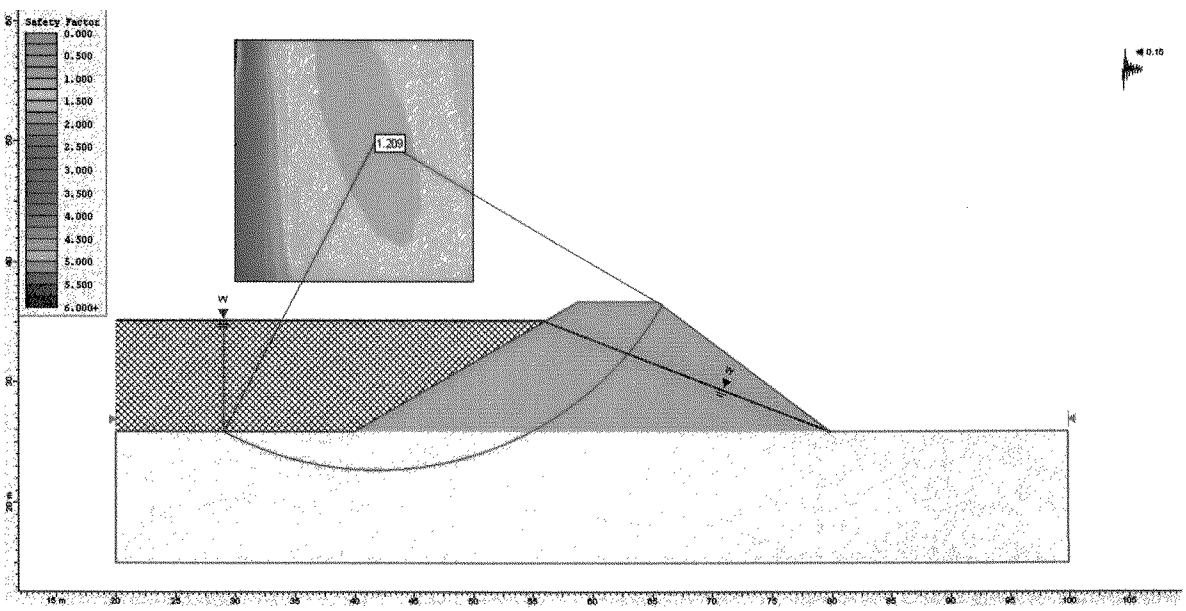


FIGURA 9.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

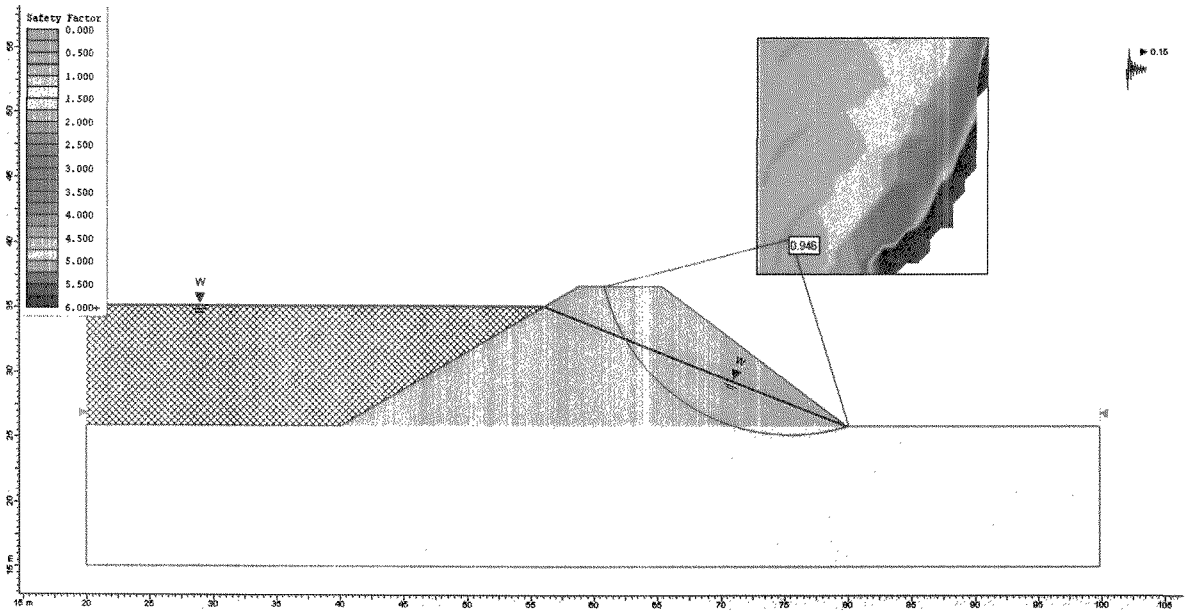


FIGURA 9.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

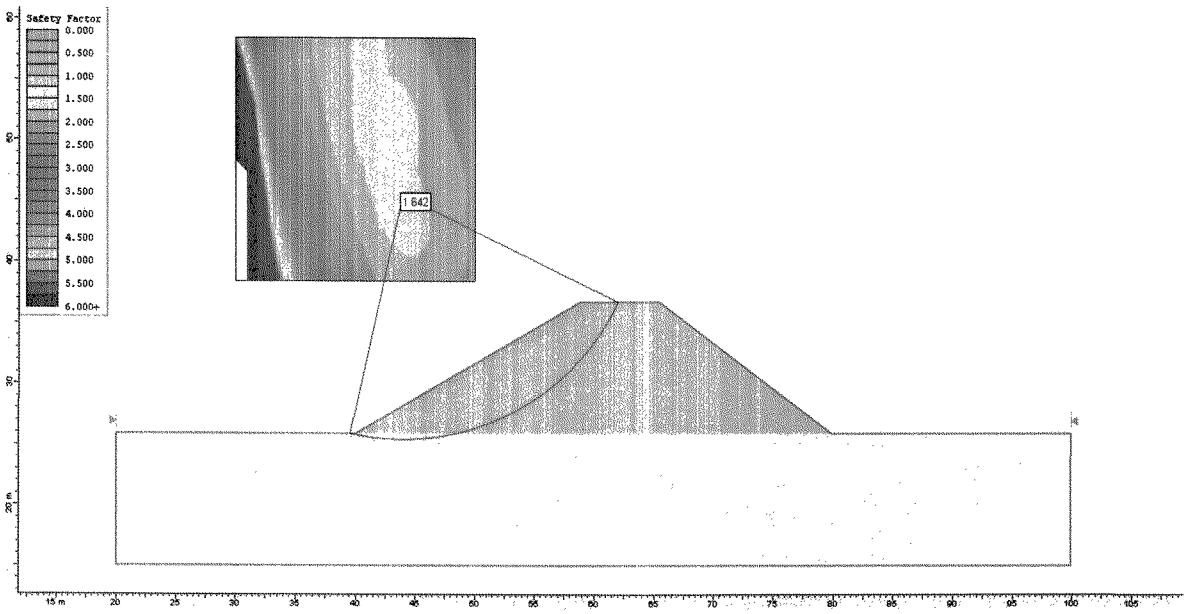


FIGURA 9.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

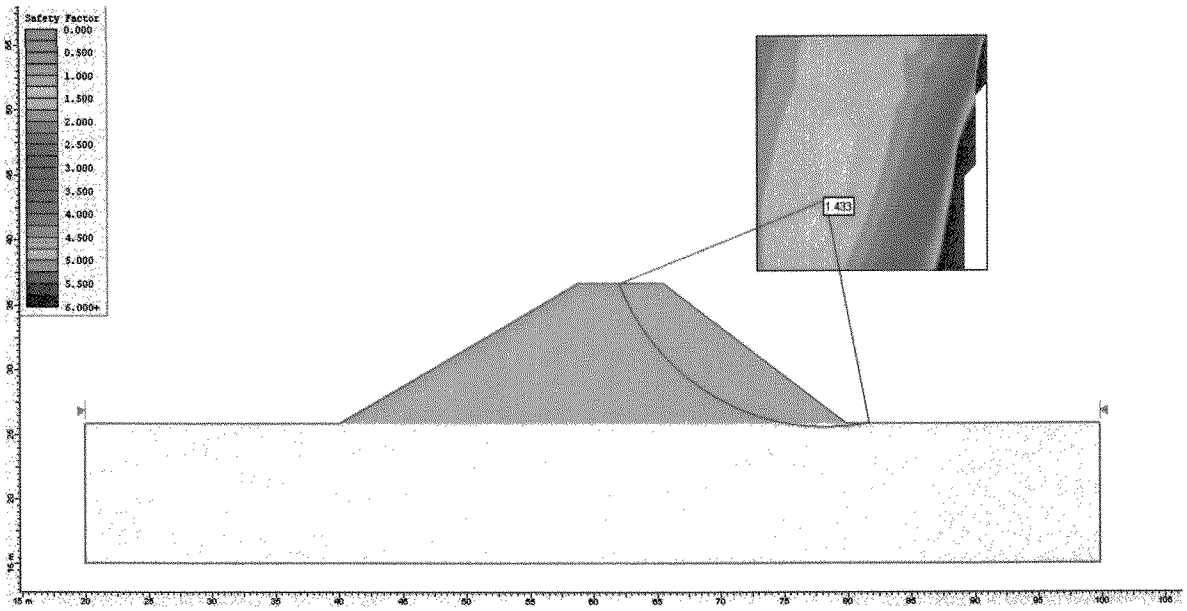


FIGURA 9.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

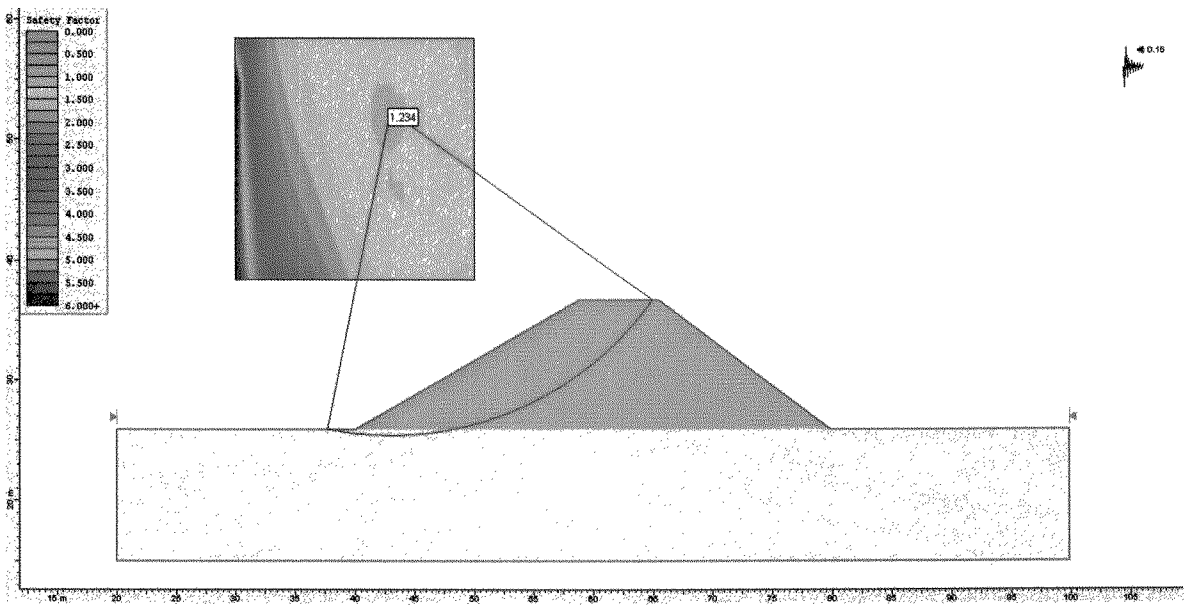
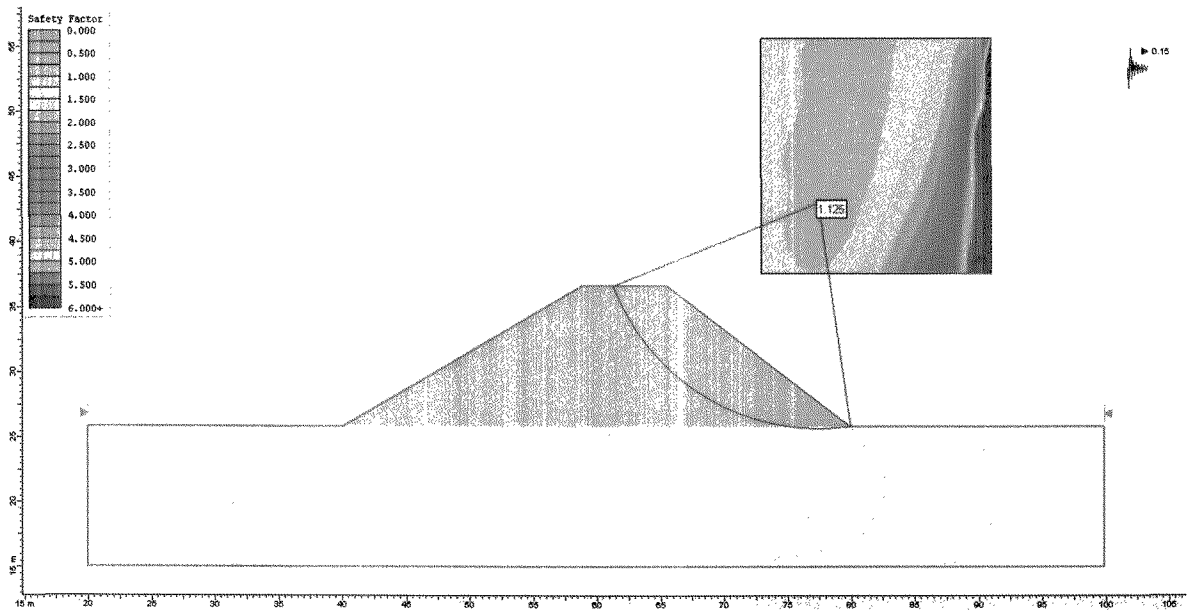


FIGURA 9.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 9.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Millahue	1,999	1,222	1,209	0,946

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Millahue	1,642	1,433	1,234	1,125

9.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Millahue***, se tiene:

Lh (m) =	34,3	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	3,2	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	7,4	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
MILLAHUE	34,3	0	11,45	9,0	1,6	7,4	3,20	23,7	No

9.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Millahue.

MILLAHUE
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	623	0,3871	0,2138
2	36	0,8090	0,6545	654	0,4064	0,2660
3	30	0,8660	0,7500	731	0,4542	0,3407
4	24	0,9135	0,8346	1013	0,6294	0,5253
5	18	0,9511	0,9045	1190	0,7394	0,6688
6	12	0,9781	0,9568	1394	0,8662	0,8287
7	6	0,9945	0,9891	1437	0,8929	0,8832
8	0	1,0000	1,0000	1505	0,9352	0,9352
9	6	0,9945	0,9891	960	0,5965	0,5900
10	12	0,9781	0,9568	381	0,2367	0,2265
11	18	0,9511	0,9045	373	0,2318	0,2096
12	24	0,9135	0,8346	367	0,2280	0,1903
13	30	0,8660	0,7500	342	0,2125	0,1594
14	36	0,8090	0,6545	338	0,2100	0,1375
15	42	0,7431	0,5523	337	0,2094	0,1156
	Suma	**13,5109**			Suma	**6,2906**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,466 millas
F = 749,30 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,70	0,8222
Molitor	2,49	0,7602
Creager	1,45	0,4405
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **1.60 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

9.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

9.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

9.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación: **75,7** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,36 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **27,25** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	101,52	0,95	0,00	0,00
0,002	119,95	0,95	0,00	0,00
0,0010	133,89	0,95	0,00	0,00

9.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si el material es cohesivo	0,05	

9.7.4 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

9.7.5 Riesgo

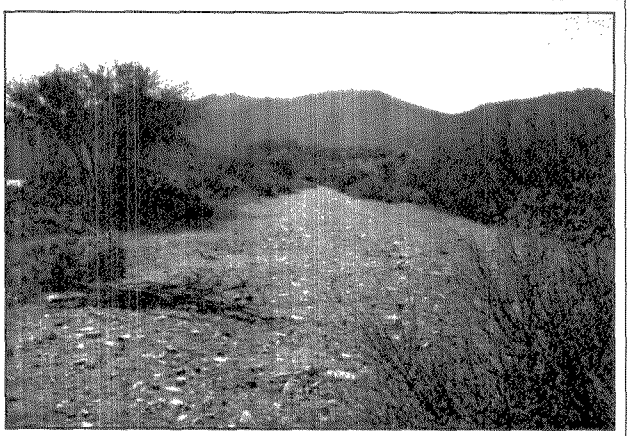
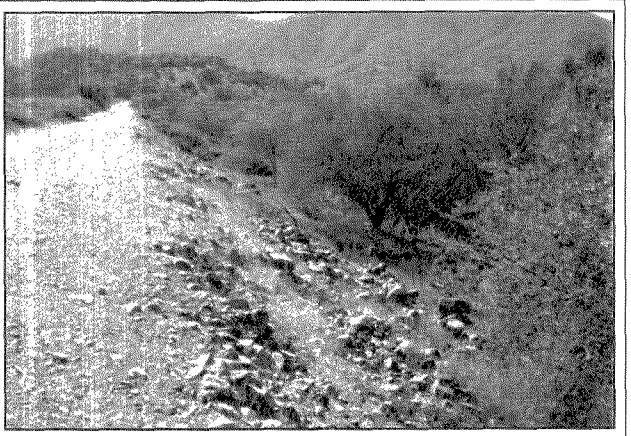
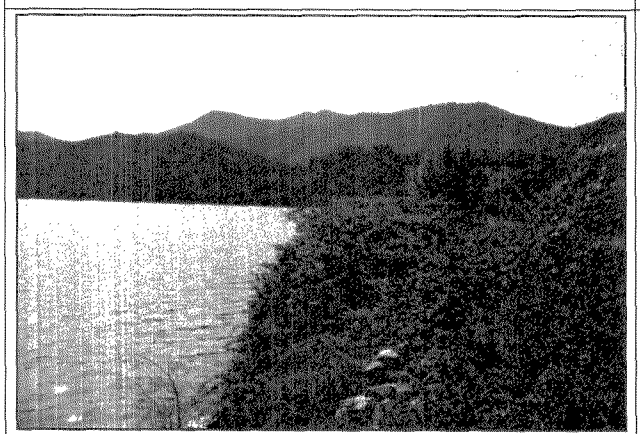
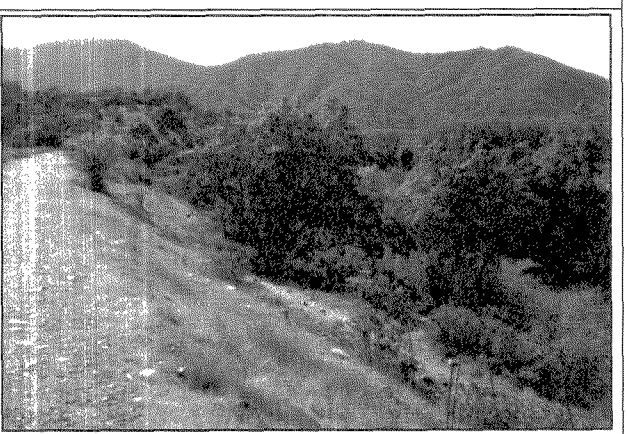
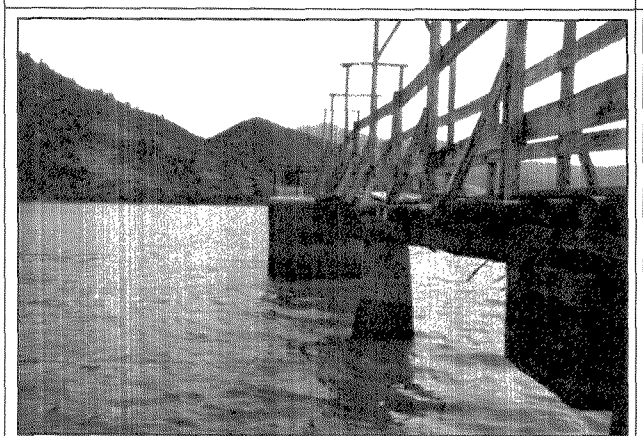
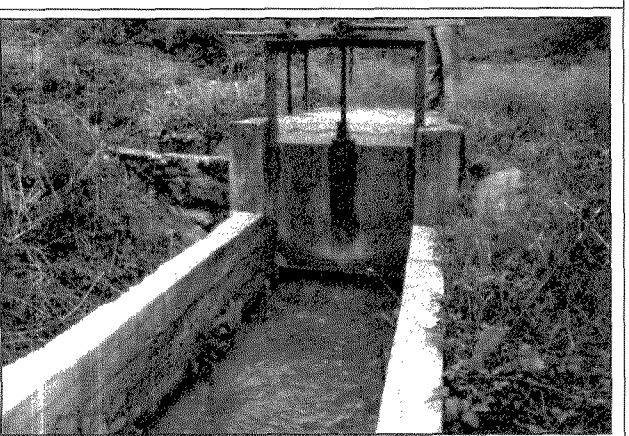
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

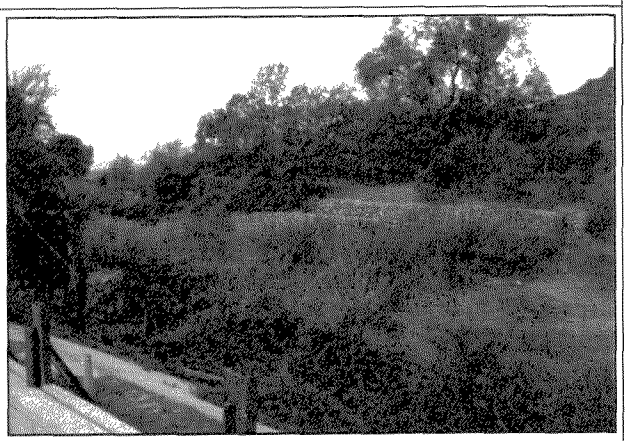
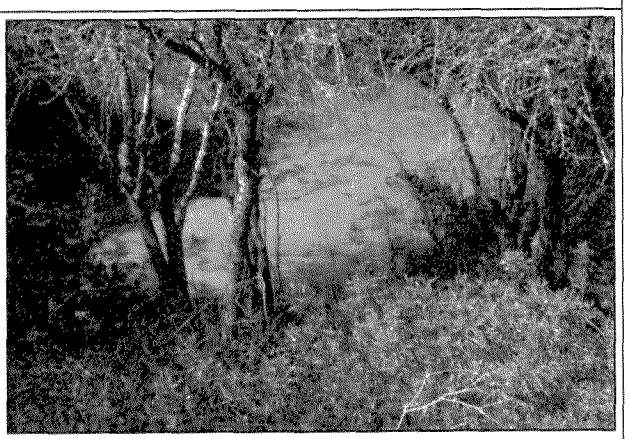
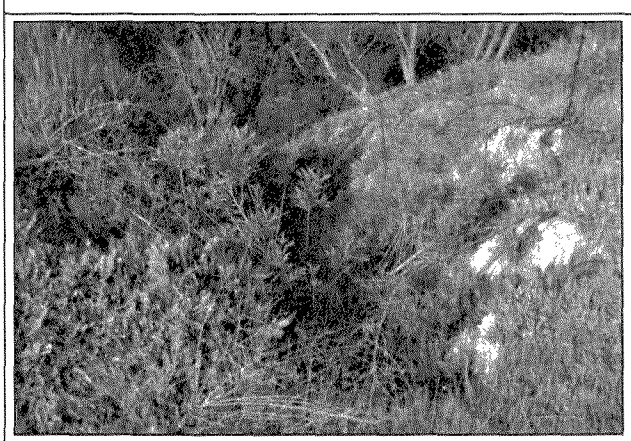
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,80	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

9.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Millahue.

VISTA MURO	VISTA MURO
	
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA	VISTA TALUD AGUAS ABAJO
	
OBRA DE ENTREGA	OBRA DE ENTREGA
	

EVACUADOR DE CRECIDAS	EVACUADOR DE CRECIDAS
	
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	ZONA DE SATURACION
	
CARCAVAS EN MURO	CANAL DE ENTREGA
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Millahue
Propietario	Comité de Riego Tranque Millahue y La Rioja
RUT Propietario	En tramite
Año de construcción	1950
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	1985
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Rio Cachapoal
Fuente del recurso	Quebrada Los Alazanes

N° de ficha	9
Fecha (dd/mm/año)	09-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	San Vicente de Tagua-Tagua	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.175.173	E = 295.552
Coordenadas UTM Centro	N = 6.175.352	E = 295.370
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.175.668	E = 295.120
Datum WGS 84		
Altitud	ED = 231 ; C = 231 ; EI = 229	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	
Presa de material granular graduado	X
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 (m)	590		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 5,40 ;	C = 7,1 ;	EI = 7,80
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	18,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,60		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 30° ;	C = 30° ;	EI = 30°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 37° ;	C = 37° ;	EI = 37°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	9,0
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	7,4
Área estimada o calculada de la poza (m2)	657.800
Ancho máximo de la poza (km)	0,46
Largo de la poza (km)	1,43
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	1,217

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.175.352 E= 295.370	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Areno Gravosa

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	Aguas arriba : uniformes ; Aguas abajo semi uniformes por presencia de cárcavas. (ver álbum fotográfico)
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	A 120 m de estribo derecho saturación, 10 cm de altura de agua
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se aprecian filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada, aguas arriba presenta enrocado de protección y aguas abajo, cubierta vegetal

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
Vertederos libres, sin control	
Vertederos controlados por compuertas	X

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	Vertedero frontal de caída libre con compuertas de madera
Material constructivo	Hormigón en su estructura, salida con gaviones
Estado de conservación y operatividad	En buen estado, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Alto 0,50 m; Ancho 110 m

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

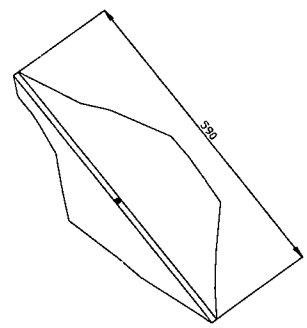
Tipo de estructura	Torre de hormigón con salida en tubo de hormigón por el fondo del muro
Mediciones estructurales	Torre = 2,90 m diámetro; 12 m alto
Funcionamiento actual	En buen estado, funcionando

10. CARACTERIZACION 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, quebrada entre cerros, pendiente media 0,9%, ancho medio 11 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	2,47 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	2,16 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,23 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	300 has.

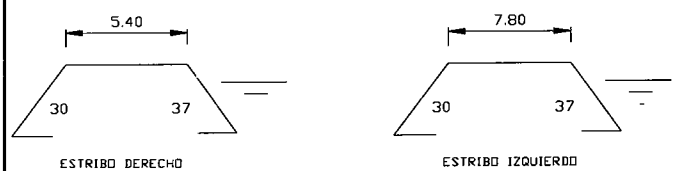
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

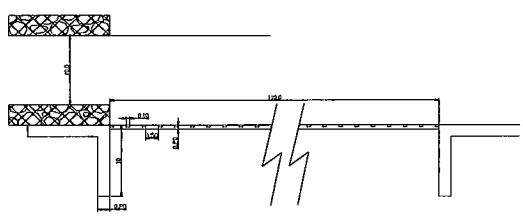


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

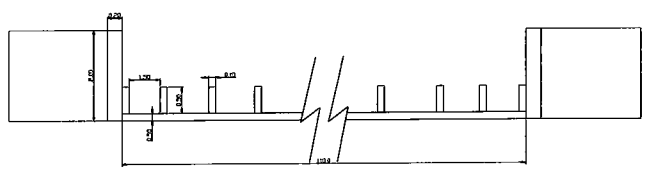
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



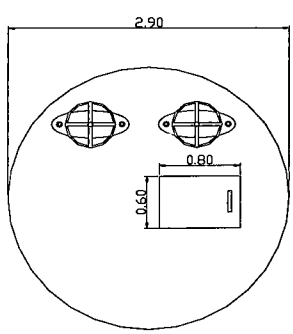
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



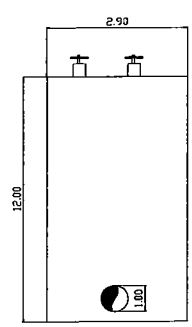
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

A 120 m desde estribo derecho zona con saturación en el pie del muro

A 418 m desde estribo derecho zona de cárcavas en el muro

A 510 m desde estribo derecho cárcavas en el muro

Esta presa fue reparada en la mitad superior después del sismo del 3 de marzo de 1985.

EMBALSE SAN JOSÉ DE LAS PATAGUAS
(SAN HERNAN)

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

10. EMBALSE SAN HERNÁN (SAN JOSÉ LAS PATAGUAS)
10.1 Ubicación
10.2 Características Generales
10.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
10.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
10.5 Determinación de Filtraciones
10.6 Verificación del Oleaje
10.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
10.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

10. EMBALSE SAN JOSÉ DE LAS PATAGUAS (SAN HERNÁN)

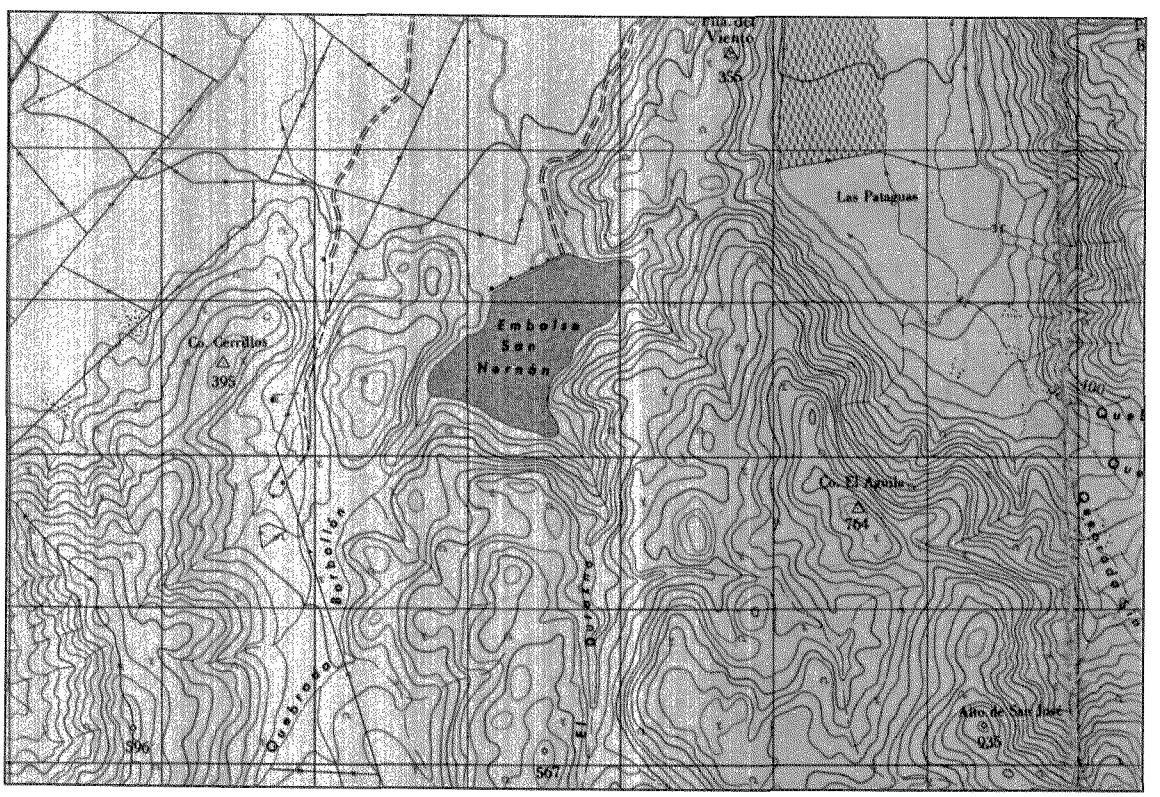
10.1 Ubicación

El embalse San José de Las Pataguas se ubica en la comuna de San Vicente de Tagua Tagua, provincia de Cachapoal, en las coordenadas UTM 6.176.741 Norte y 301.185 Este, Datum WGS 84. Se localiza en la cuenca de Rapel, subcuenca del Río Cachapoal y la fuente corresponde a la quebrada El Durazno.

Se accede desde San Vicente de Tagua-Tagua por la ruta H-80-I hasta el cruce puente Zamorano, se empalma la ruta H-800 hacia el sur hasta empalme con ruta H-930 (1,3 km aproximadamente), finalmente se continua hacia el sur por ruta H-830 por 20 km.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 10.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE SAN JOSÉ DE LAS PATAGUAS



Fuente: Carta IGM

10.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra siendo un bien comunitario de los parceleros. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1958.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 0,783 hm^3. La altura máxima del muro es de 7,8 m, con una longitud de coronamiento de 630 m y ancho promedio del coronamiento de 4,0 m y borde libre de 1,0 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=2,48:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,80:1.

El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal, libre y sin control, de hormigón con forma escalonada y decreciendo en su volumen hasta descargar con un ancho de 3,0 m se encuentra en regular estado de conservación y operación.

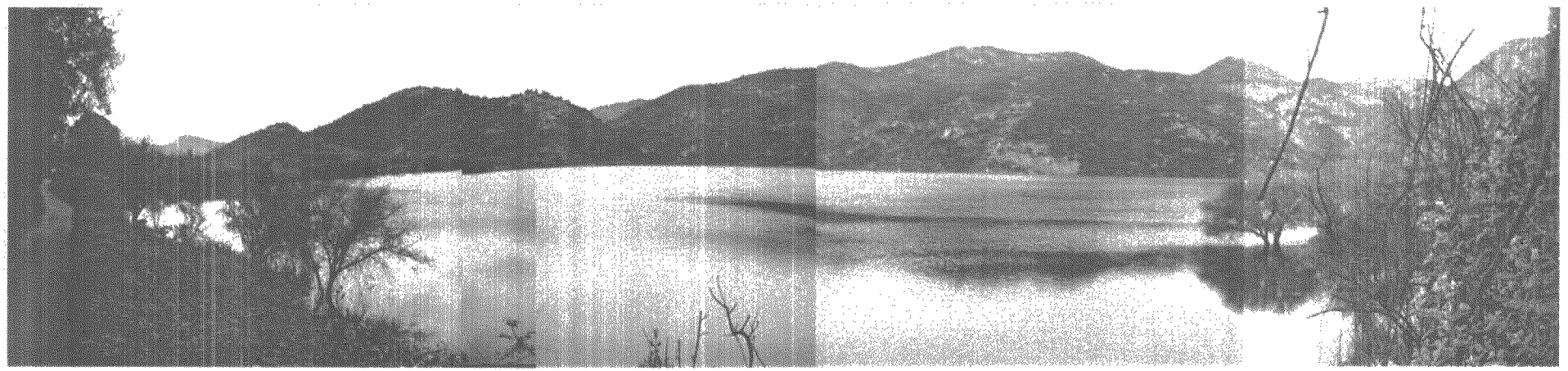
La ***obra de entrega*** corresponde a una estructura circular de hormigón armado, de 3 m de diámetro y 7 m de altura. La obra se encuentra en buen estado y operativa.

En el Anexo 1 se incluye la planilla de Registro de Embalses en donde se consignan los datos principales y un croquis de planta y elevación del muro, obra de toma y obra de entrega.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 10.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE SAN JOSÉ DE LAS PATAGUAS





Vista panorámica Embalse San Hernán

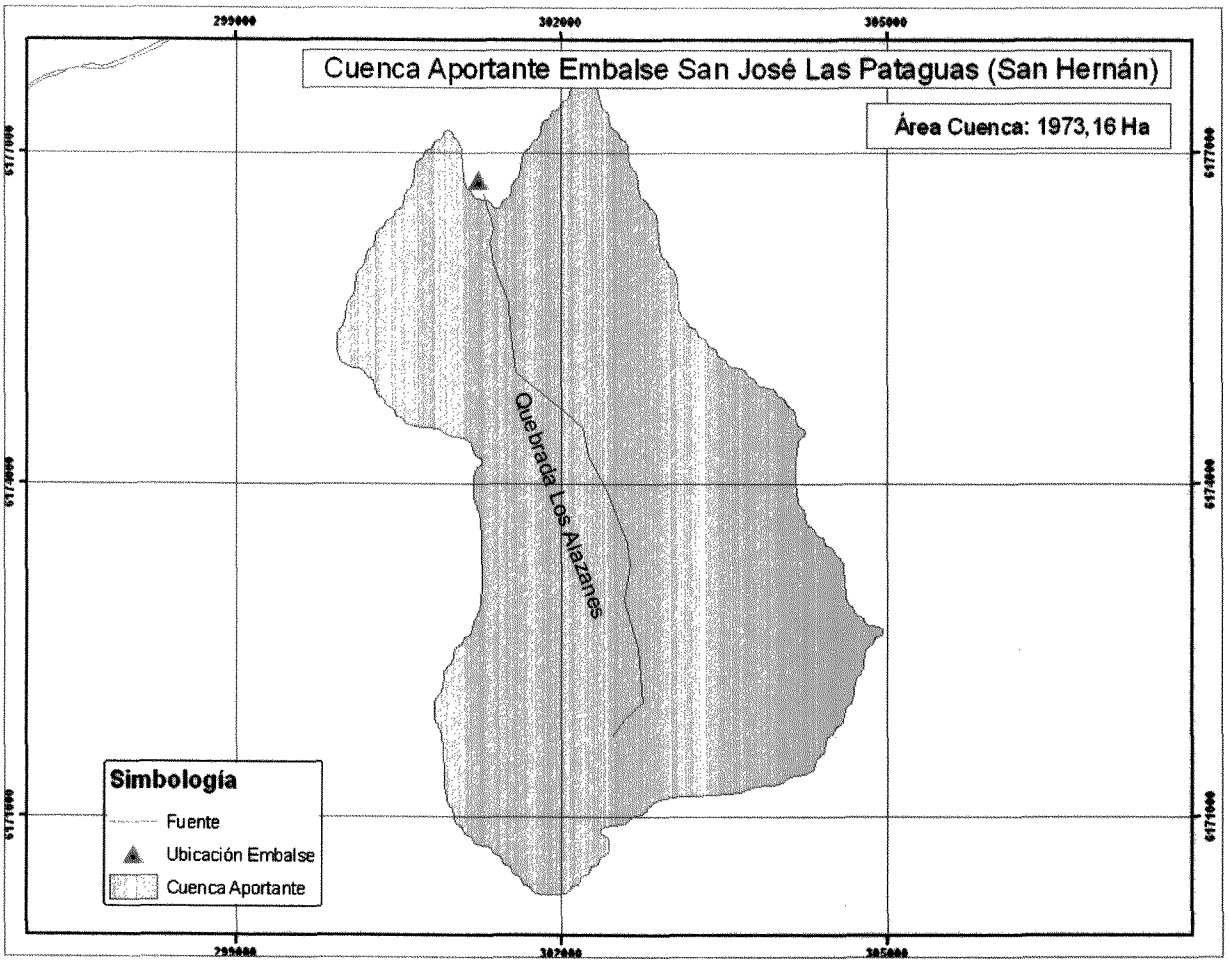
10.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse San José Las Pataguas (San Hernán) tiene como fuente a la quebrada El Durazno, la cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 19,7 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 10.3-1
CUENCA EMBALSE SAN JOSE DE LAS PATAGUAS



CUADRO 10.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		San José de Las Pataguas (San Hernán)
SUPERFICIE (ha)	Total	1.973,2
	Pluvial	1.973,2
PERÍMETRO (m)	Total	27.720,0
	Pluvial	27.720,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	1.072,7
	Mínima	225,4
	Diferencia	847,4
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	25125,0
	Cauce	14,1
LONGITUD CAUCE (km)	Total	6,33
	Desde centro de gravedad	3,16
CENTROIDE CUENCA	UTM E	302.444
	UTM N	6.174.070
	Altura (msnm)	679,8
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	301.690
	UTM N	6.173.745
	Altura (msnm)	476
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5,4} \le t_c \le \frac{L}{3,6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
San José de Las Pataguas	0,60	1,60	0,06	0,73	0,73

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
San José de Las Pataguas	San Fernando	0,113	121,4	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
San Jose de Las Pataguas	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	9,7	10,0	34,3
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	13,0	14,3	58,5
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	14,8	24,4	75,6
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	16,1	29,2	88,4
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	17,0	33,0	98,7
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	17,7	35,8	106,2
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	19,8	44,8	129,3
	T=100	1	Cachapoal	1,5	21,9	58,4	164,5

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \cdot (Ap)^{0,915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
San José de Las Pataguas	5,90	14,51	19,60	22,43	25,29	27,25	33,72	41,17

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin

sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
San José de Las Pataguas	58,42	62,95	74,38

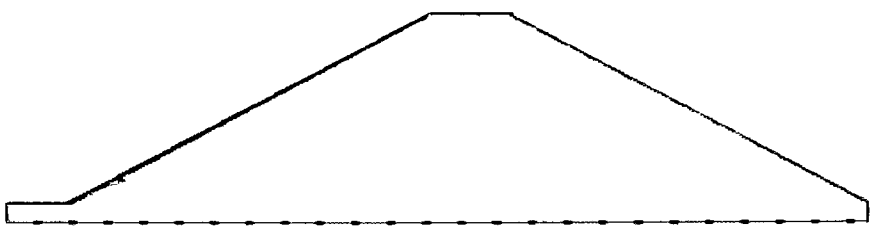
10.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una Arcilla areno limosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	7,76 m
Ancho coronamiento	4,0 m
Borde libre	1,0 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 2,48 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,80 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 10.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 25°	1.80	2,00	2,20

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 10.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

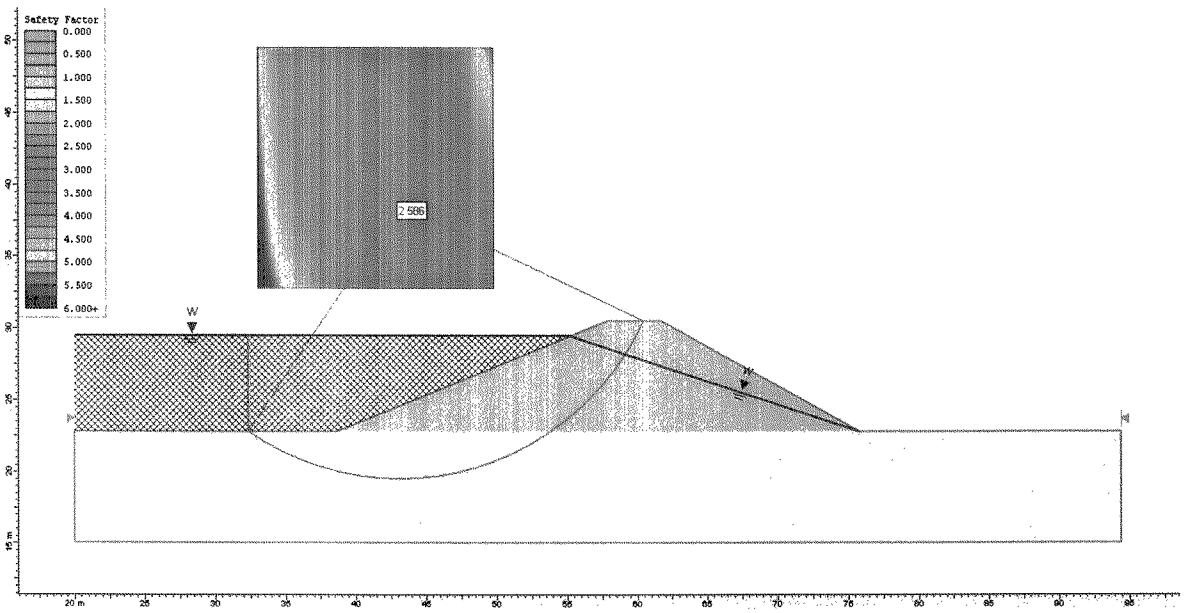


FIGURA 10.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

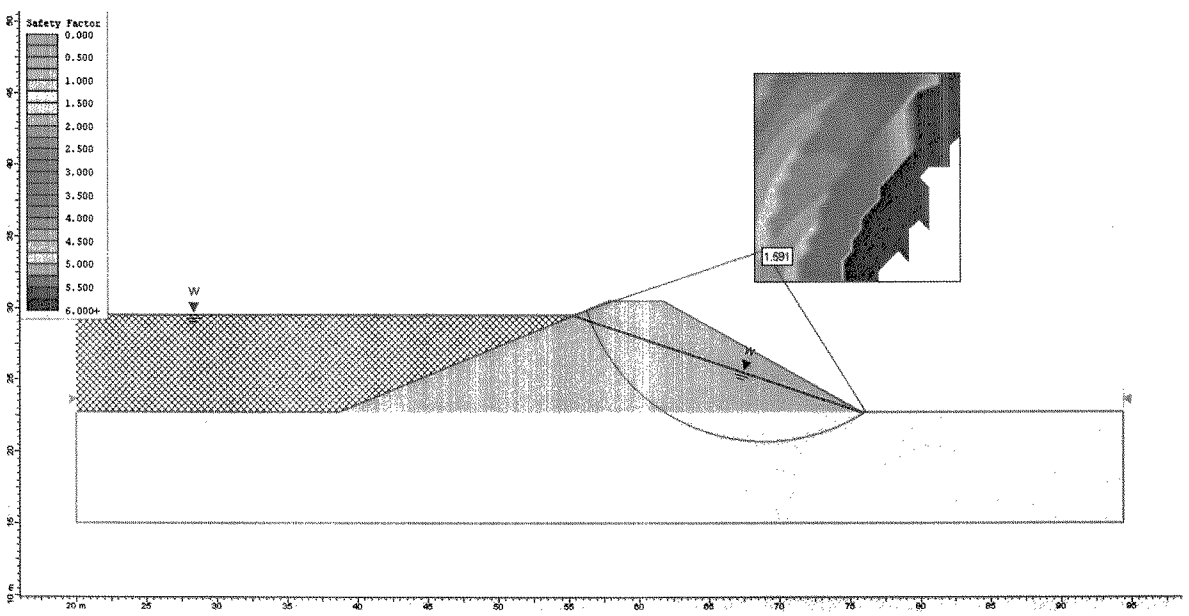


FIGURA 10.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

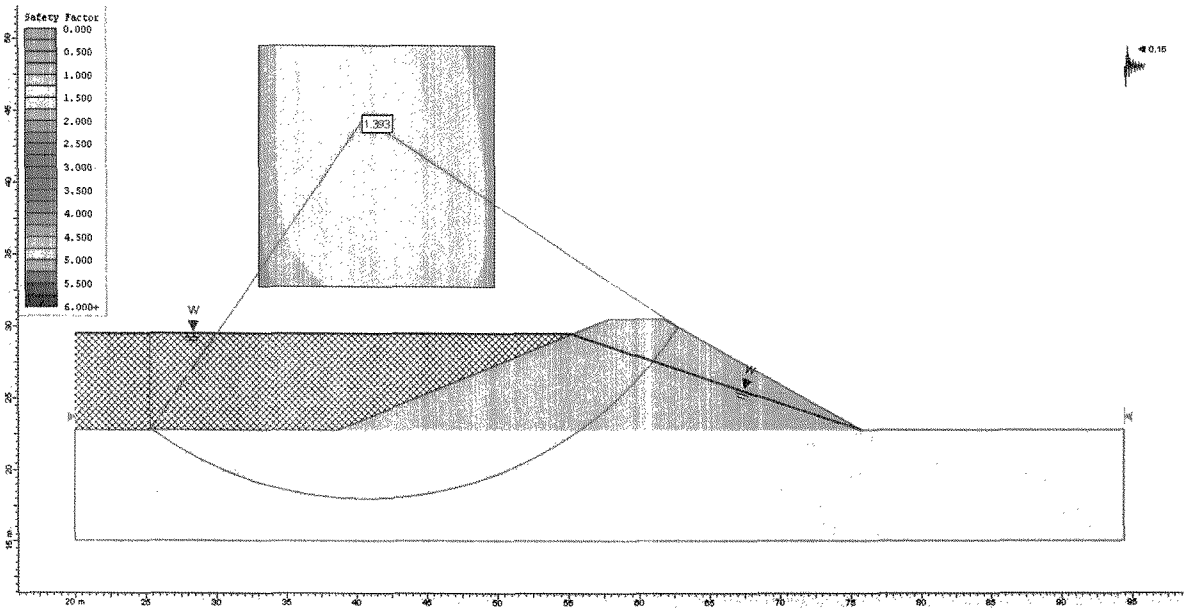


FIGURA 10.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

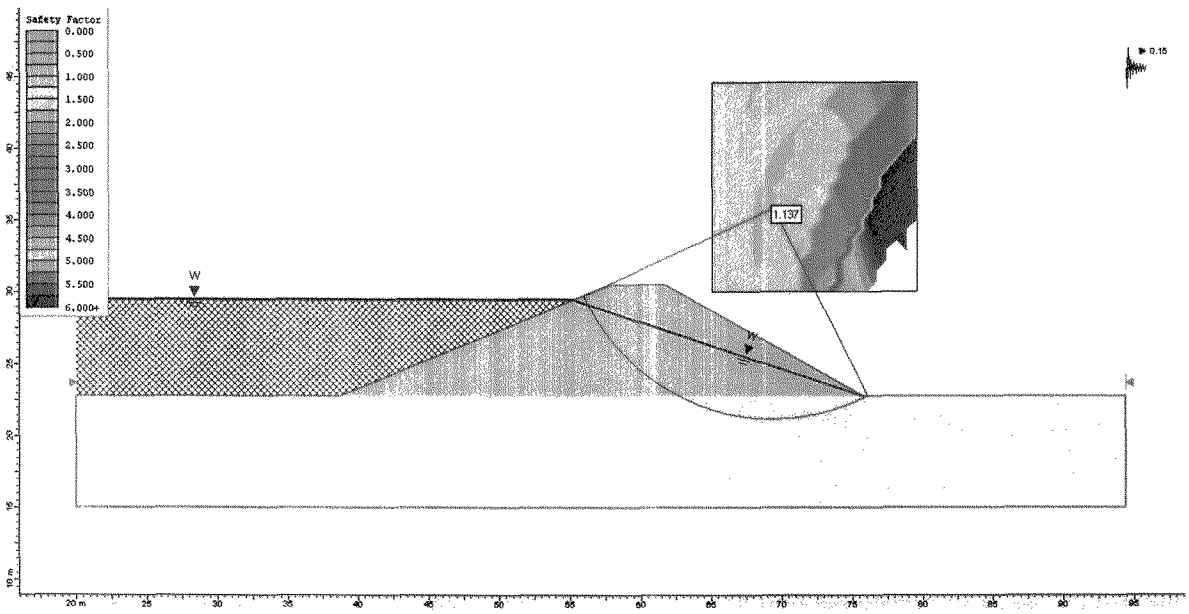


FIGURA 10.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

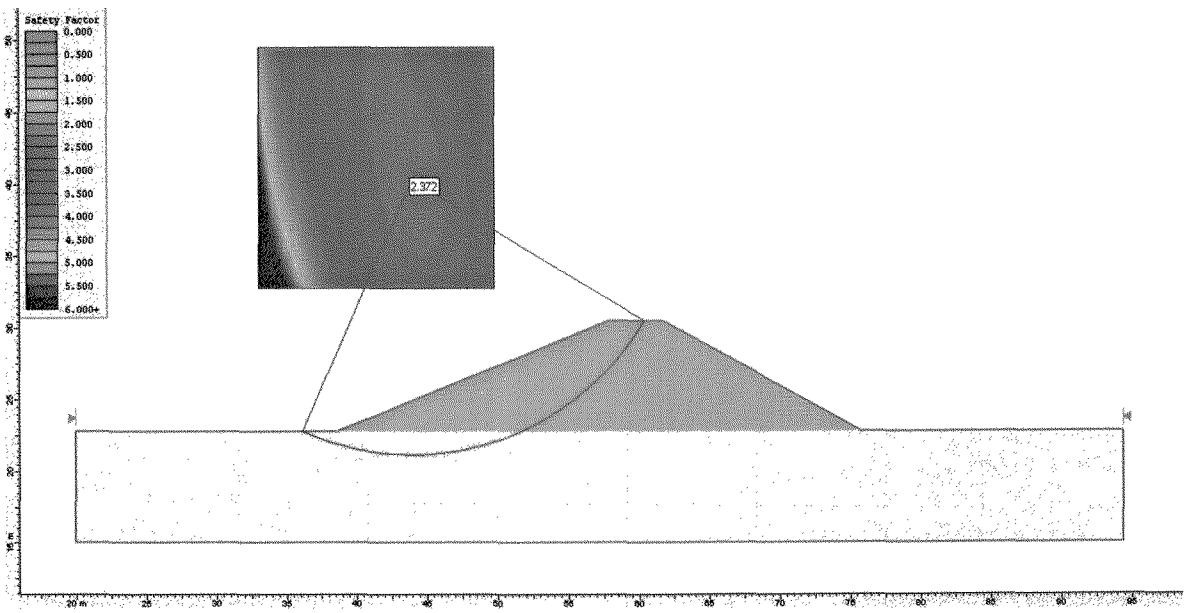


FIGURA 10.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

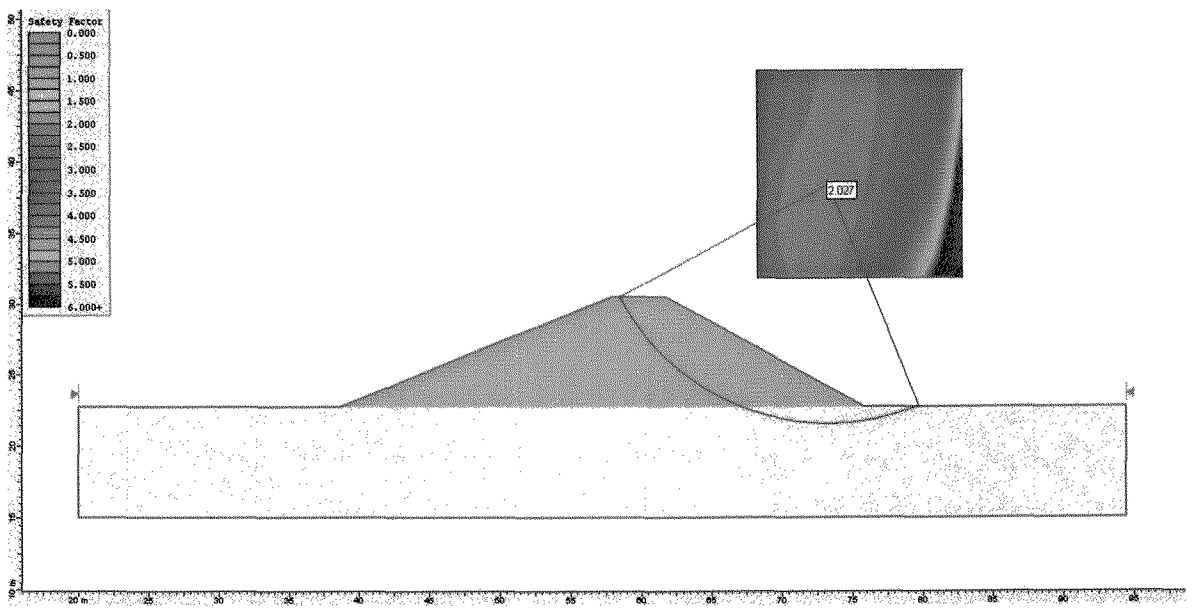


FIGURA 10.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

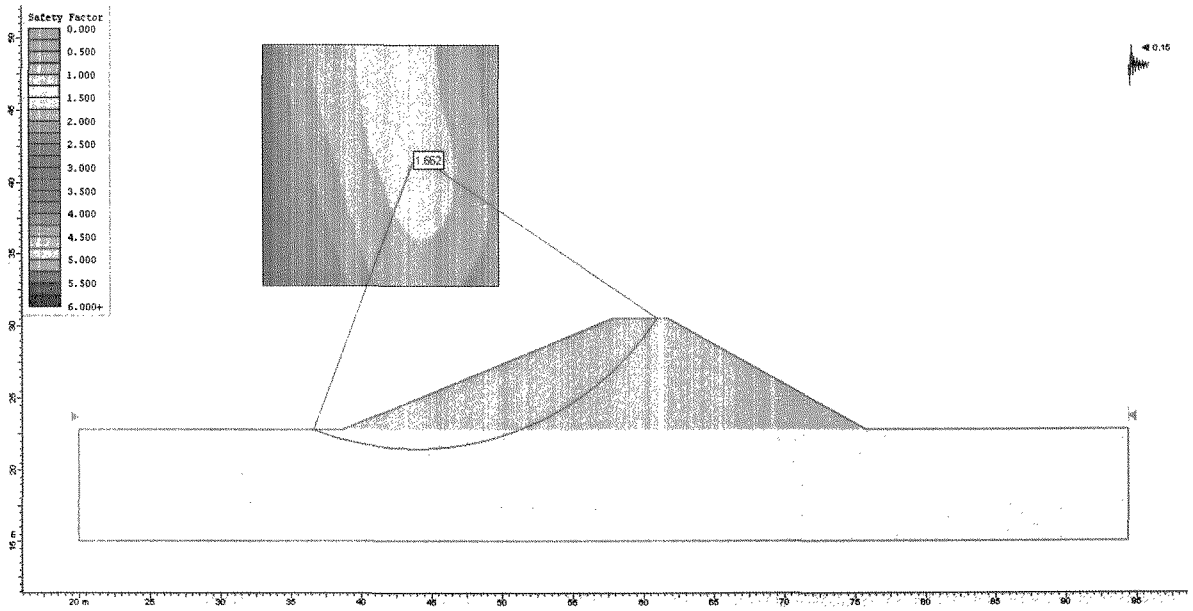
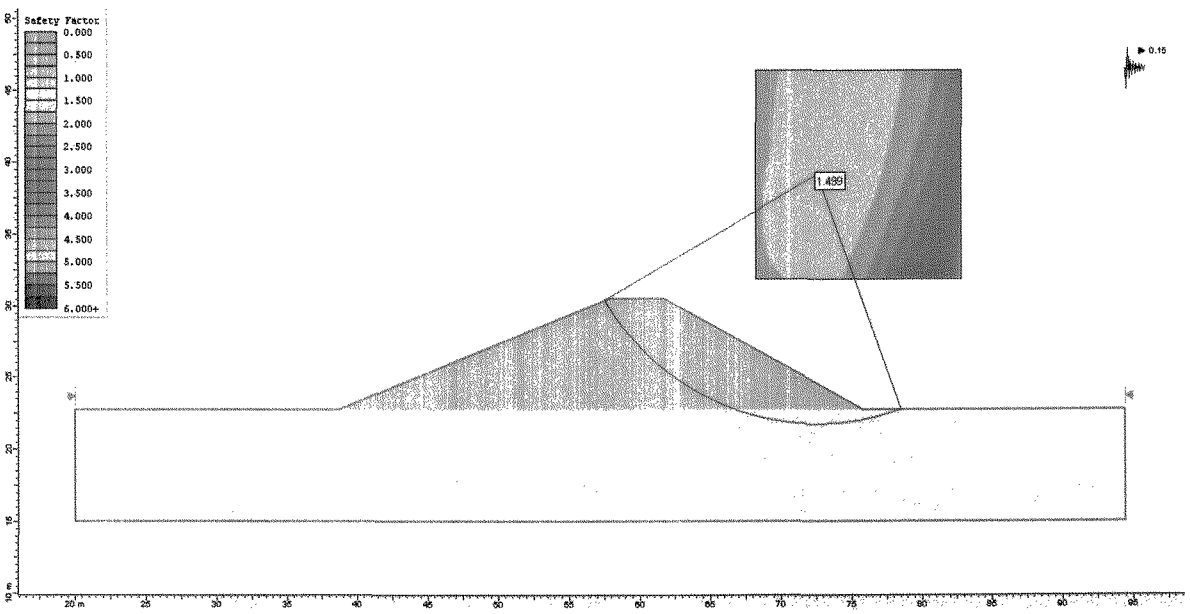


FIGURA 10.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 10.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
San José de las Pataguas (San Hernán)	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
	2,586	1,591	1,393	1,137

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
San José de las Pataguas (San Hernán)	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
	2,372	2,027	1,662	1,499

10.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***San José de Las Pataguas***, se tiene:

Lh (m) =	37,2	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,70	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	6,75	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **SÍ** se cumple la relación, por lo tanto, **NO** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
SAN JOSE DE LAS PATAGUAS (SAN HERNAN)	37,2	0	12,40	7,8	1,0	6,757	1,70	11,5	Si

10.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse San José de las Pataguas.

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **1,00 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

SAN JOSE DE LAS PATAGUAS
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	455	0,2827	0,1561
2	36	0,8090	0,6545	487	0,3026	0,1981
3	30	0,8660	0,7500	491	0,3051	0,2288
4	24	0,9135	0,8346	529	0,3287	0,2743
5	18	0,9511	0,9045	638	0,3964	0,3586
6	12	0,9781	0,9568	668	0,4151	0,3971
7	6	0,9945	0,9891	781	0,4853	0,4800
8	0	1,0000	1,0000	813	0,5052	0,5052
9	6	0,9945	0,9891	661	0,4107	0,4062
10	12	0,9781	0,9568	623	0,3871	0,3704
11	18	0,9511	0,9045	576	0,3579	0,3237
12	24	0,9135	0,8346	530	0,3293	0,2748
13	30	0,8660	0,7500	490	0,3045	0,2284
14	36	0,8090	0,6545	487	0,3026	0,1981
15	42	0,7431	0,5523	490	0,3045	0,1681
	Suma	**13,5109**			Suma	**4,5680**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,338 millas
F = 544,11 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,61	0,7954
Molitor	2,44	0,7426
Creager	1,28	0,3913
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

10.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

10.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

10.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación: **1,83** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,36 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **0,67** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	58,42	0,95	0,00	0
0,002	62,95	0,95	0,00	0
0,0010	74,38	0,95	0,00	0

10.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
Sin humedad al pie	0,05	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	

10.7.4 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

10.7.5 Riesgo

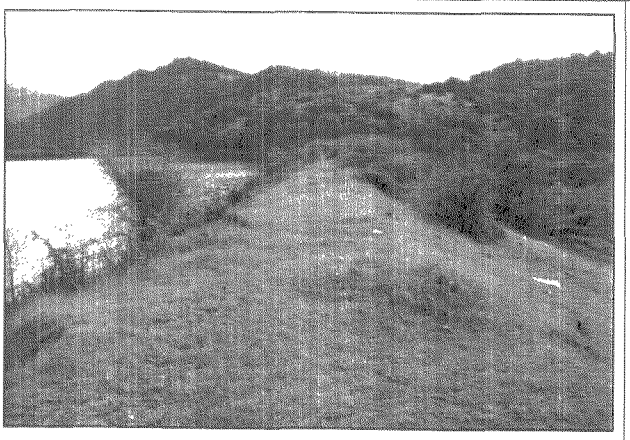
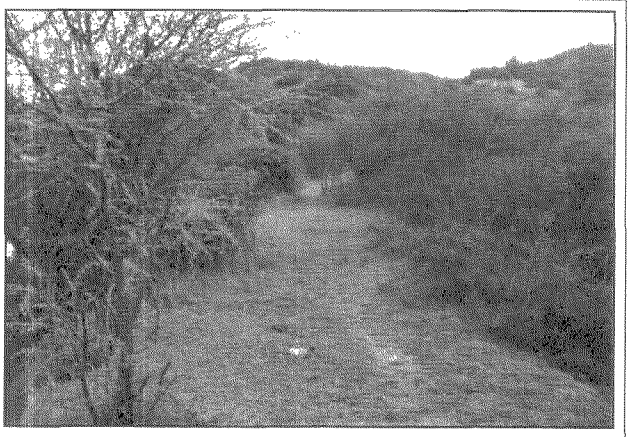
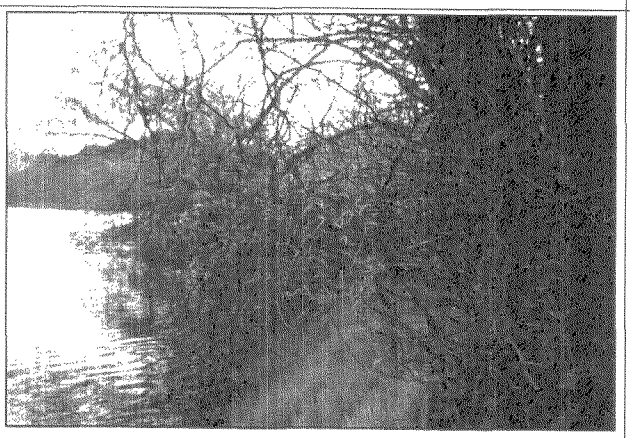
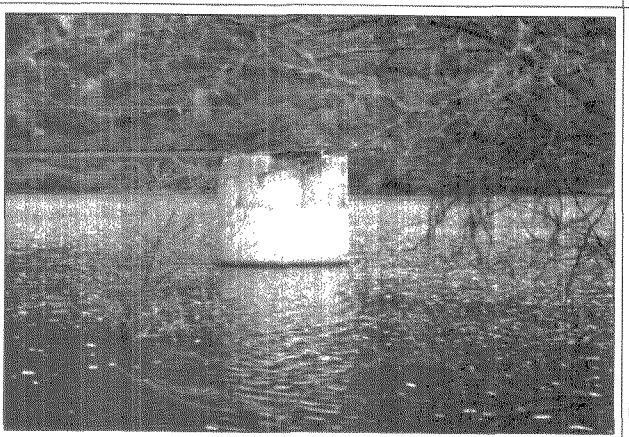
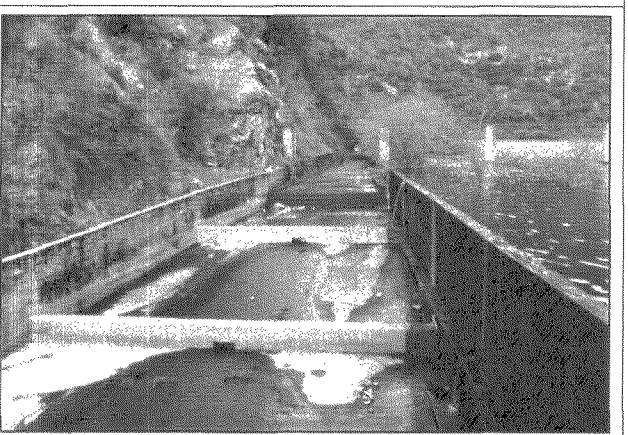
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,80	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	0,25

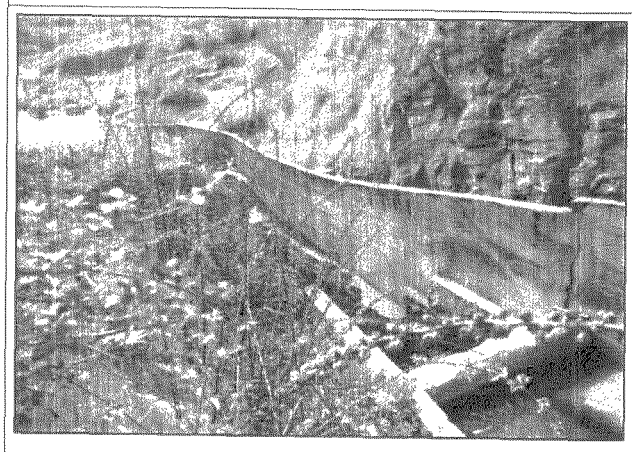
Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

10.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

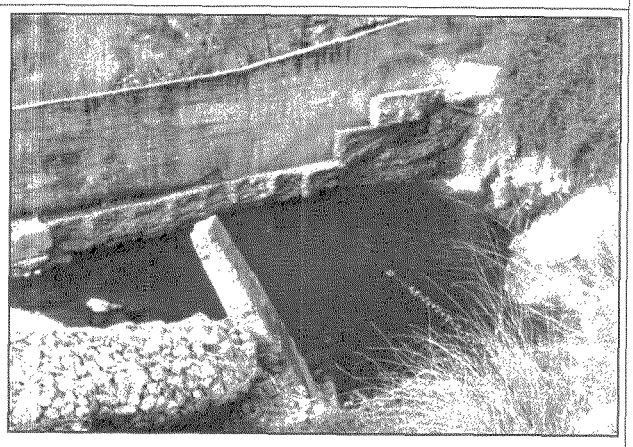
A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse San José de las Pataguas (San Hernán).

VISTA MURO	VISTA MURO
	
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA	VISTA TALUD AGUAS ABAJO
	
OBRA DE ENTREGA	EVACUADOR DE CRECIDAS
	

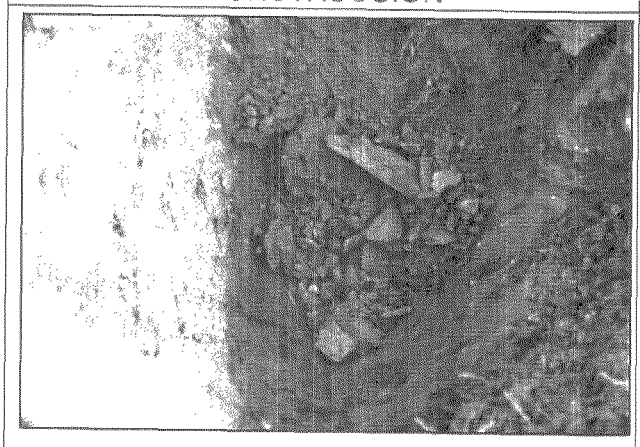
EVACUADOR DE CRECIDAS



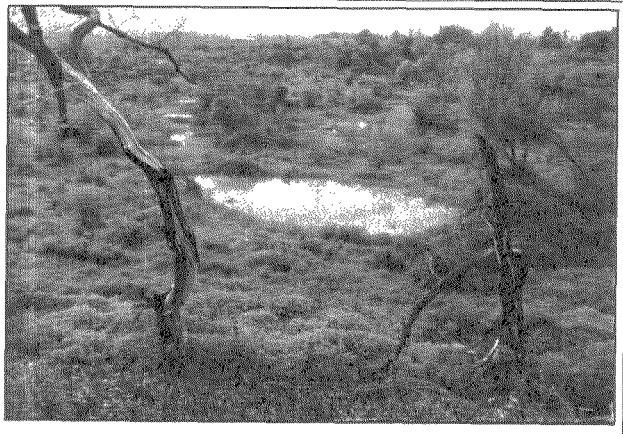
EVACUADOR DE CRECIDAS



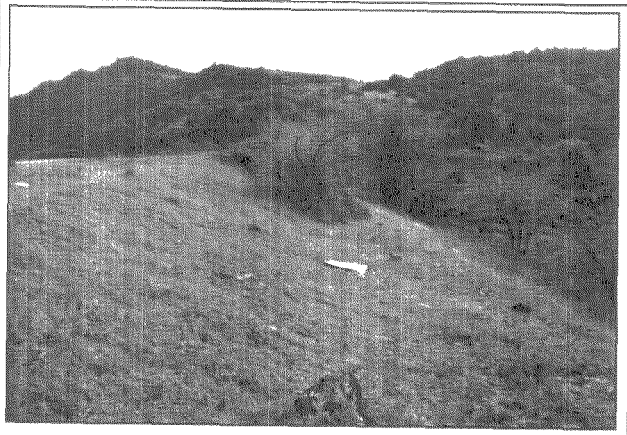
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



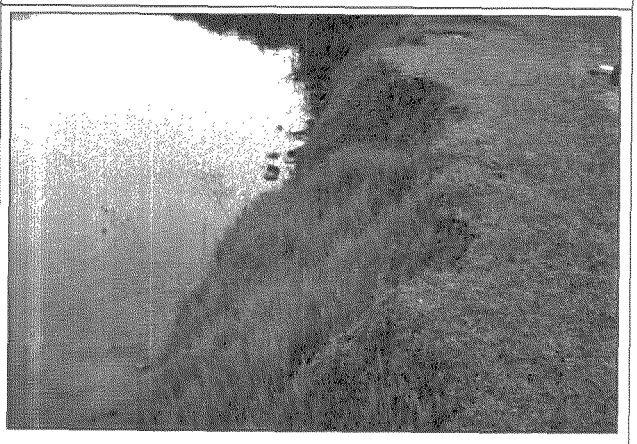
ZONA DE SATURACION



DOBLE CORONAMIENTO



DESLIZAMIENTOS EN EL TALUD AGUAS ARRIBA POR EFECTO DEL OLEAJE



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	San José de las Pataguas (San Hernán)
Propietario	Bien Comunitario
RUT Propietario	Sin Rut
Año de construcción	1958
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Cachapoal
Fuente del recurso	Quebrada El Durazno

Nº de ficha	10
Fecha (dd/mm/año)	13-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	San Vicente de Tagua-Tagua	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.176.880	E = 301.517
Coordenadas UTM Centro	N = 6.176.741	E = 301.185
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.176.641	E = 300.941
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m.	ED = 204 ; C = 214 ; EI = 222	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	630		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 4,80 ;	C = 3,0 ;	EI = 4,30
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	16,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,0		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 29° ;	C = 29° ;	EI = 29°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 22° ;	C = 22° ;	EI = 22°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	7,8
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	6,8
Área estimada o calculada de la poza (m2)	460.800
Ancho máximo de la poza (km)	0,96
Largo de la poza (km)	0,48
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,783

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.176.741 E= 301.185	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Arena Limosa

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Irregular por relleno en el muro
Compacidad del material estructural	Medio - Alto
Uniformidad de los taludes	Aguas Abajo Regular; Aguas Arriba Irregular a malo
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	Si, hacia aguas arriba a 480 m del estribo derecho
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	Si, en varios puntos a lo largo del muro
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se presentan filtraciones
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada con enrocado en la base aguas abajo; aguas arriba no existe ningún revestimiento

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
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	Libre y sin control
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	Regular, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Largo 30,0 m ; Alto 7 m (en la parte mas alta)

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

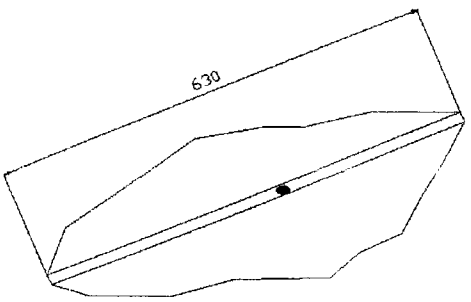
Tipo de estructura	Torre de hormigón con pasarela metálica
Mediciones estructurales	Diámetro= 3,0 m, Alto= 7,0 mts; Longitud Vertedero 30,0 mts.
Funcionamiento actual	Se encuentra en funcionamiento, pero la obra esta en regular estado.

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	Canal en tierra, terreno de quebrada, pendiente media 1,1%, ancho medio cauce 10 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1,97 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	1,64 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,67 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	200 has.

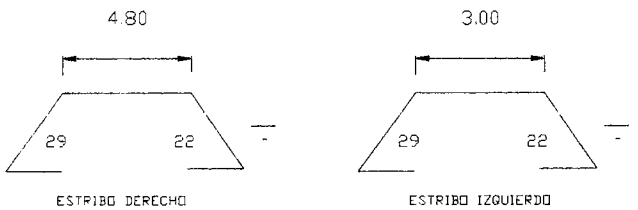
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)

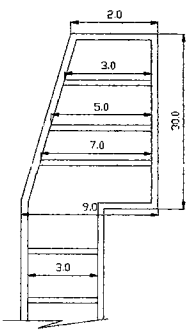


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

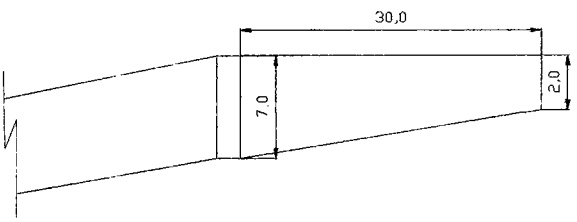
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



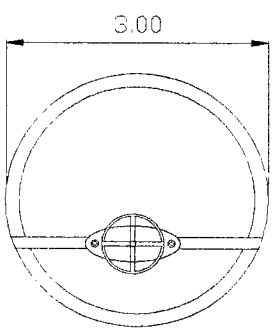
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



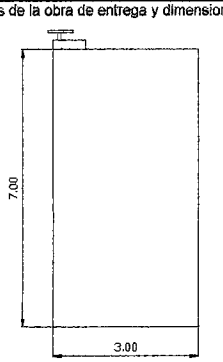
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

Embalse de propiedad de 15 comuneros que no están constituidos en ningún tipo de sociedad
A los 150 mts. zona con saturación.
A los 450 mts. zona con saturación.
A los 480 mts. deslizamientos en el talud hacia aguas arriba por efectos del oleaje
A los 530 mts. zona con saturación.
Por lo general el muro es irregular en varios tramos por el trabajo de relleno que se realizó, aumentando el muro existente en unos 2.0 mts. quedando notoriamente un peldaño hacia aguas abajo como aguas arriba haciéndolo inestable si se aumenta la capacidad de embalsamiento.
El muro del vertedero con una longitud de 30.0 m y un ancho de muro de 0.20 m. se encuentra con 4 fisuras en puntos distintos desde la parte superior a la inferior, actualmente por esas grietas filtra agua.

EMBALSE IDAHUE

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

11. EMBALSE IDAHUE
11.1 Ubicación
11.2 Características Generales
11.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
11.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
11.5 Determinación de Filtraciones
11.6 Verificación del Oleaje
11.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
11.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

11. EMBALSE IDAHUE

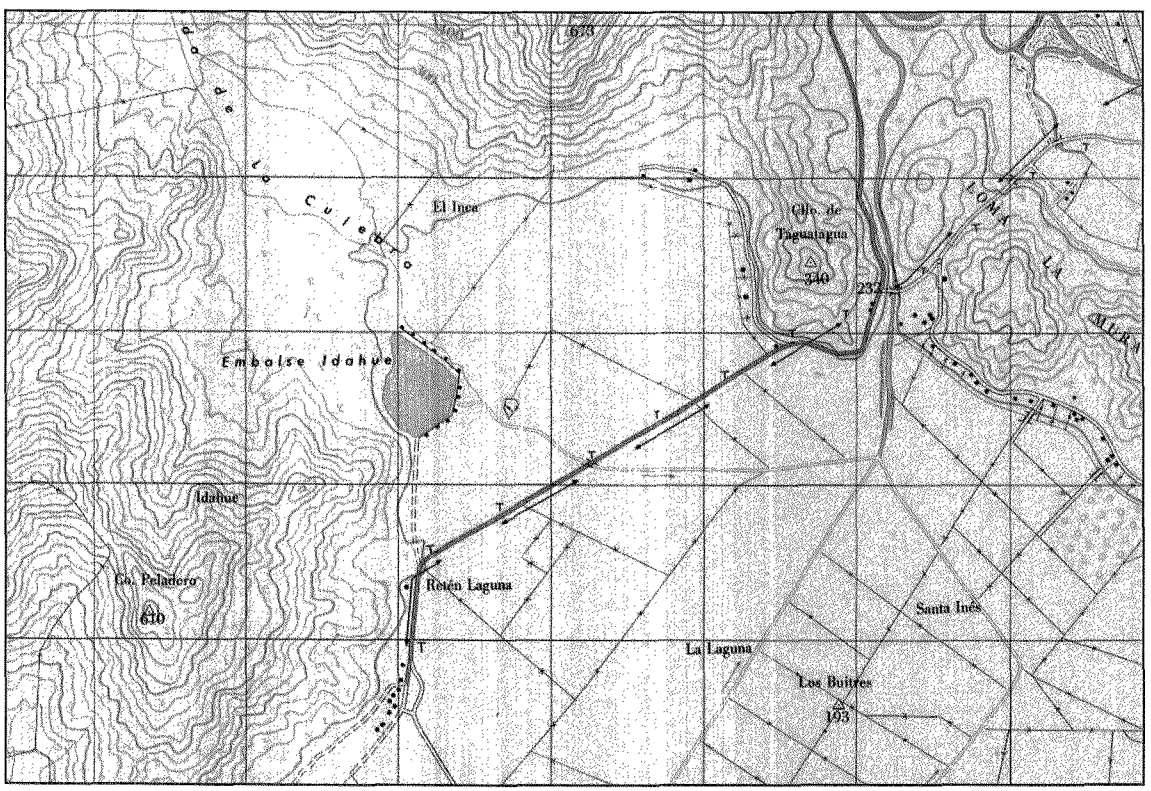
11.1 Ubicación

El embalse Idahue se ubica en la comuna de San Vicente de Tagua Tagua, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.182.993 Norte y 298.002 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 206 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca de Rapel, subcuenca del estero Zamorano y la fuente corresponde a una quebrada Sin Nombre.

Se accede desde San Vicente de Tagua-Tagua por la ruta H-80-I hasta el cruce con el puente Zamorano (800 m desde la plaza), luego se sigue por la ruta H-800, hacia el sur hasta la ruta H-930 (1,3 km aprox.), luego hacia el oriente por ruta H-830 por 13 km hasta un camino secundario hacia el norte por 1 km.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 11.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE IDAHUE



Fuente: Carta IGM

11.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Comunidad Tranque Idahue. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1934.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 0,470 hm^3. La altura máxima del muro es de 8,2 m, con una longitud de coronamiento de 1.027 m (son 3 muros en total) y ancho promedio del coronamiento de 3,4 m y borde libre de 1,5 m. Los taludes de los muros son:

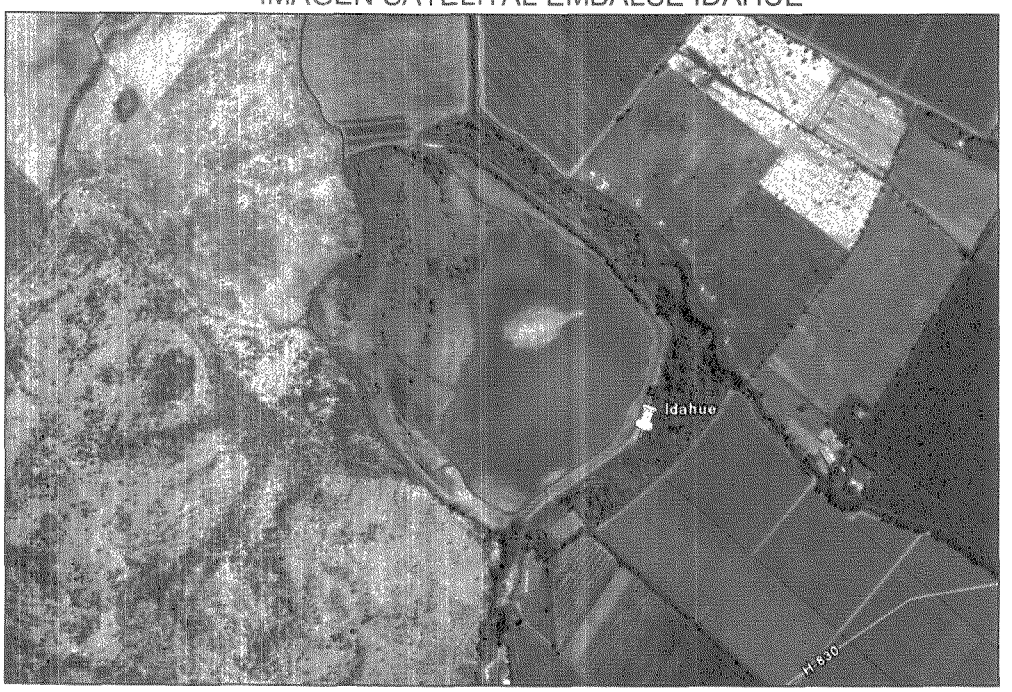
	MURO 1	MURO 2	MURO 3
Talud Aguas Arriba H:V	1,54:1	1,48:1	1,28:1
Talud Aguas Abajo H:V	1,19:1	1,07:1	1,04:1

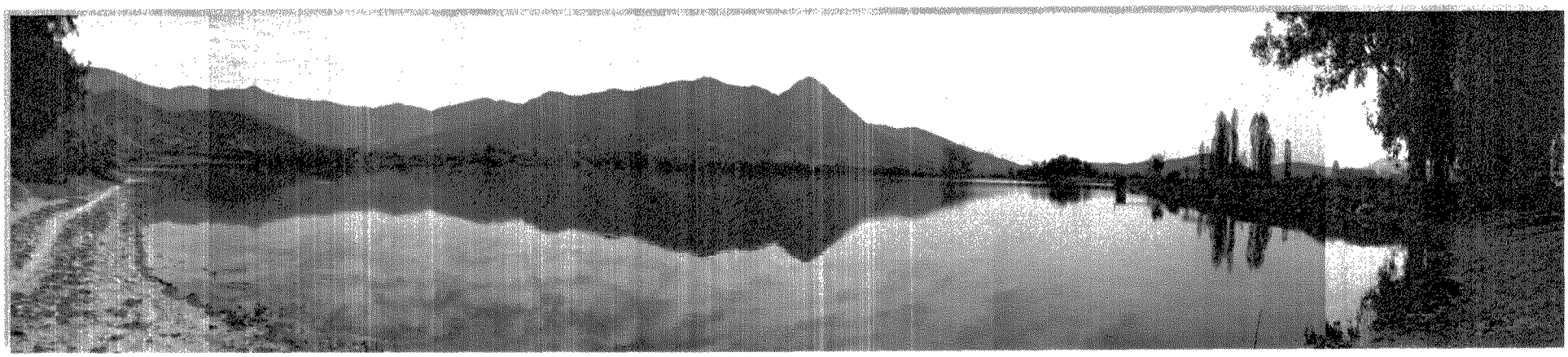
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero de hormigón de 32,40 m de longitud y una altura promedio de 1,60 m, con compuertas de madera. Regular estado de mantención y operación.

La ***obra de entrega*** corresponde a una estructura circular de hormigón armado ubicada a los 88 m desde el estribo derecho, de 8,0 m de altura y diámetro de 2,30 m salida por tubería de 700 mm por el fondo del muro hacia canales. La obra se encuentra en buen estado, en funcionamiento.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 11.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE IDAHUE





Vista panorámica Embalse Idahue

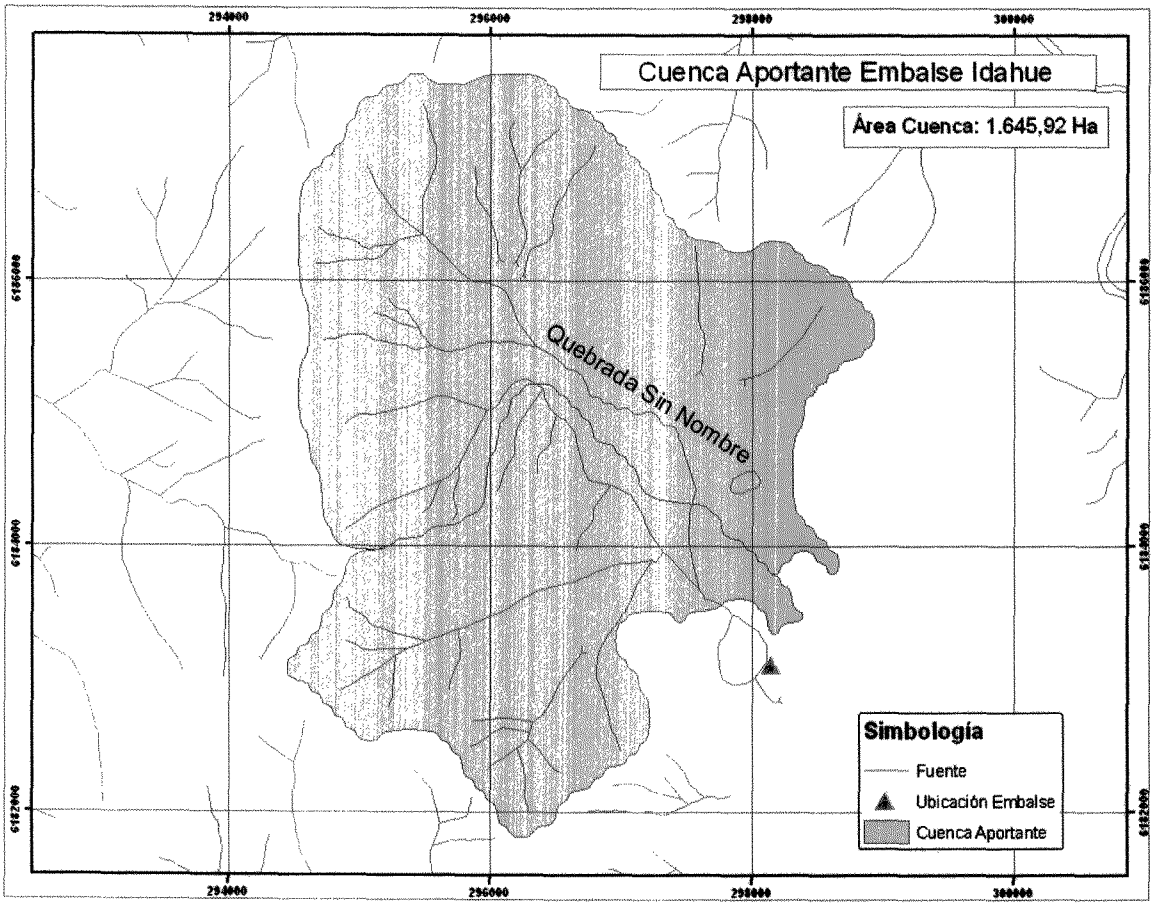
11.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Idahue tiene como fuente a la quebrada Sin Nombre, la cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 16,46 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 11.3-1
CUENCA EMBALSE IDAHUE



CUADRO 11.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Idahue
SUPERFICIE (ha)	Total	1.645,9
	Pluvial	1.645,9
PERÍMETRO (m)	Total	24.660,0
	Pluvial	24.660,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	795,1
	Mínima	210,5
	Diferencia	584,6
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	26,5
	Cauce	11,3
LONGITUD CAUCE (km)	Total	6,25
	Desde centro de gravedad	3,13
CENTROIDE CUENCA	UTM E	296.684
	UTM N	6.184.730
	Altura (msnm)	242,4
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	296.649
	UTM N	6.185.297
	Altura (msnm)	234
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con\ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Idahue	0,68	5,67	0,06	0,75	0,75

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Idahue	San Fernando	0,115	90	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Idahue	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	7,3	5,9	20,9
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	9,8	8,4	35,6
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	11,2	14,4	46,1
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	12,1	17,1	53,9
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	12,9	19,4	60,1
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	13,3	21,1	64,7
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	14,9	26,4	78,8
	T=100	1	Cachapoal	1,5	16,5	34,4	100,2

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \cdot (Ap)^{0,915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Idahue	1,79	4,97	6,72	7,69	8,67	9,34	11,56	14,11

- **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Idahue	37,04	43,76	48,85

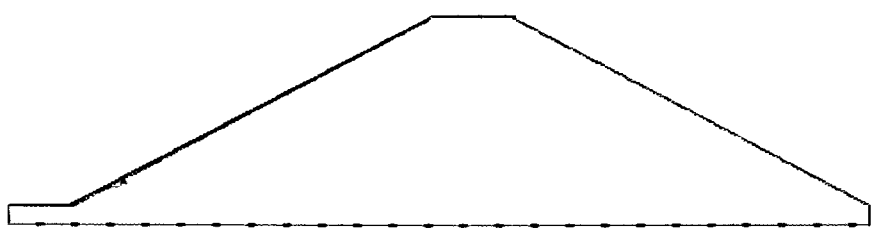
11.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla limo arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

MURO 1

Altura:	7,4 m
Ancho coronamiento	3,5 m
Borde libre	1,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,54 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,19 : 1

MURO 2

Altura:	8,2 m
Ancho coronamiento	3,9 m
Borde libre	1,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,48 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,07 : 1

MURO 3

Altura:	7,6 m
Ancho coronamiento	2,9 m
Borde libre	1,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,28 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,04 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 11.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 25°	1,0	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 11.4-1
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

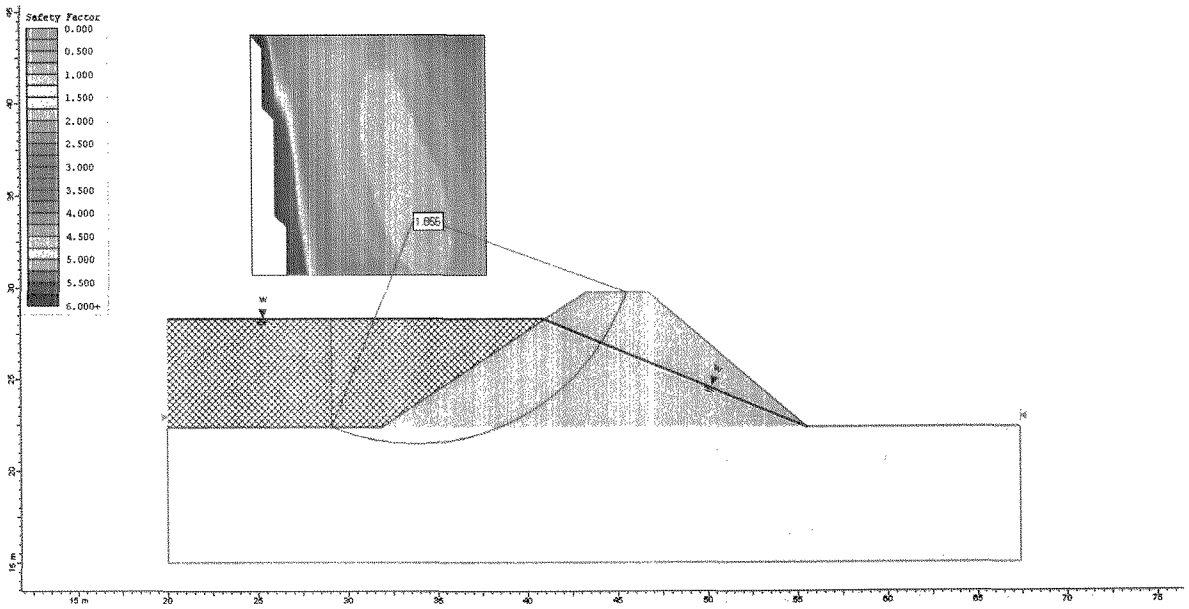


FIGURA 11.4-2
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

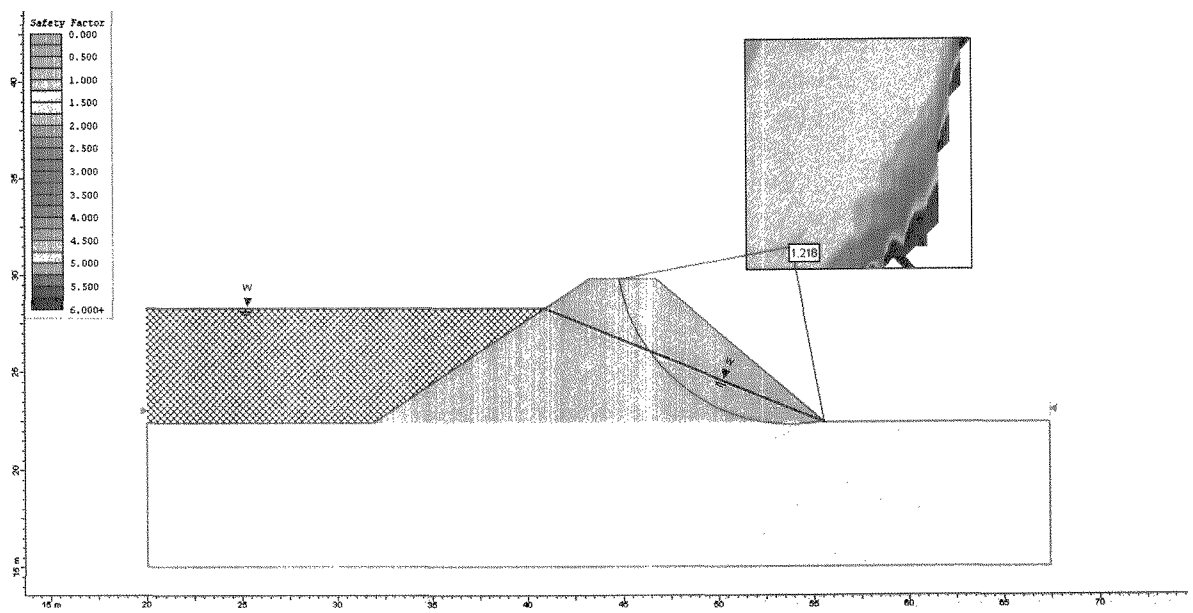


FIGURA 11.4-3
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

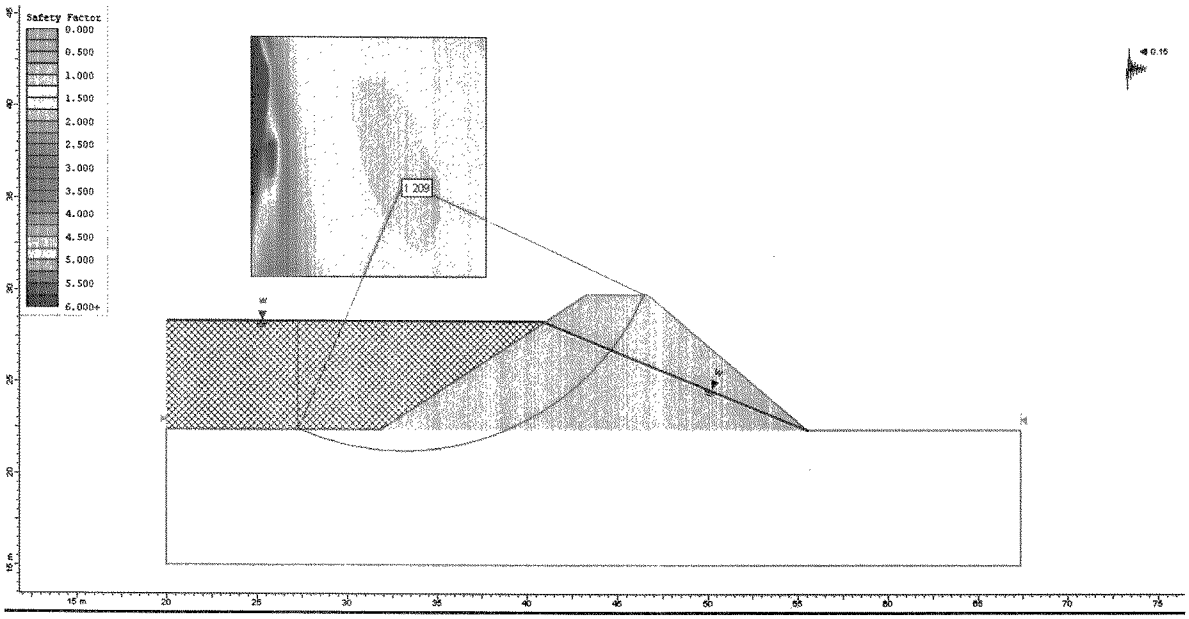


FIGURA 11.4-4
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

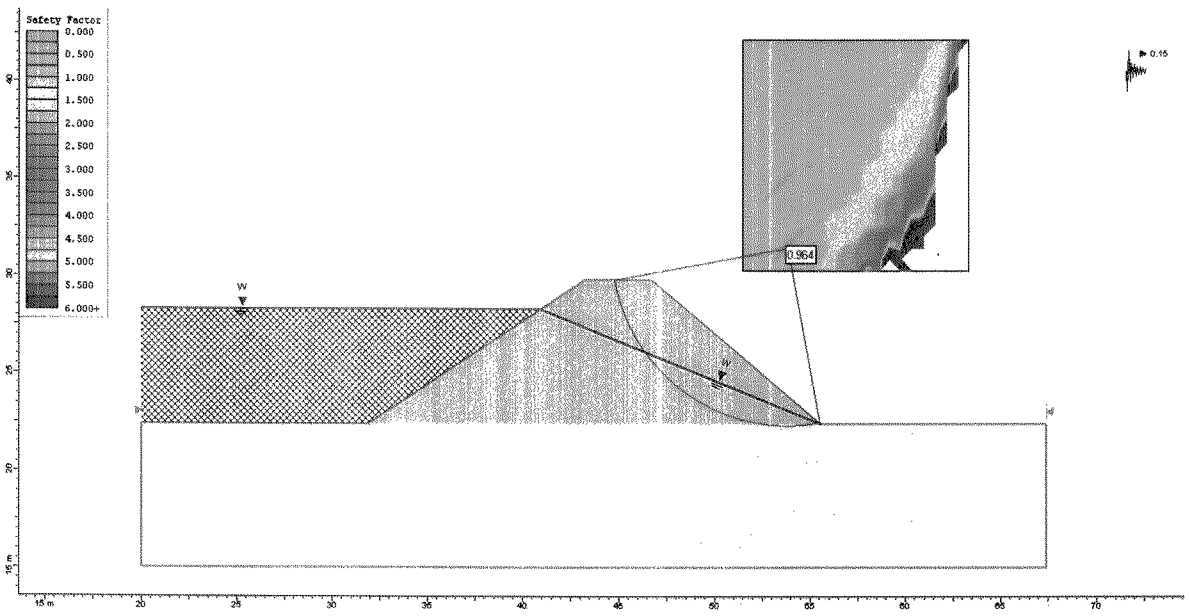


FIGURA 11.4-5
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

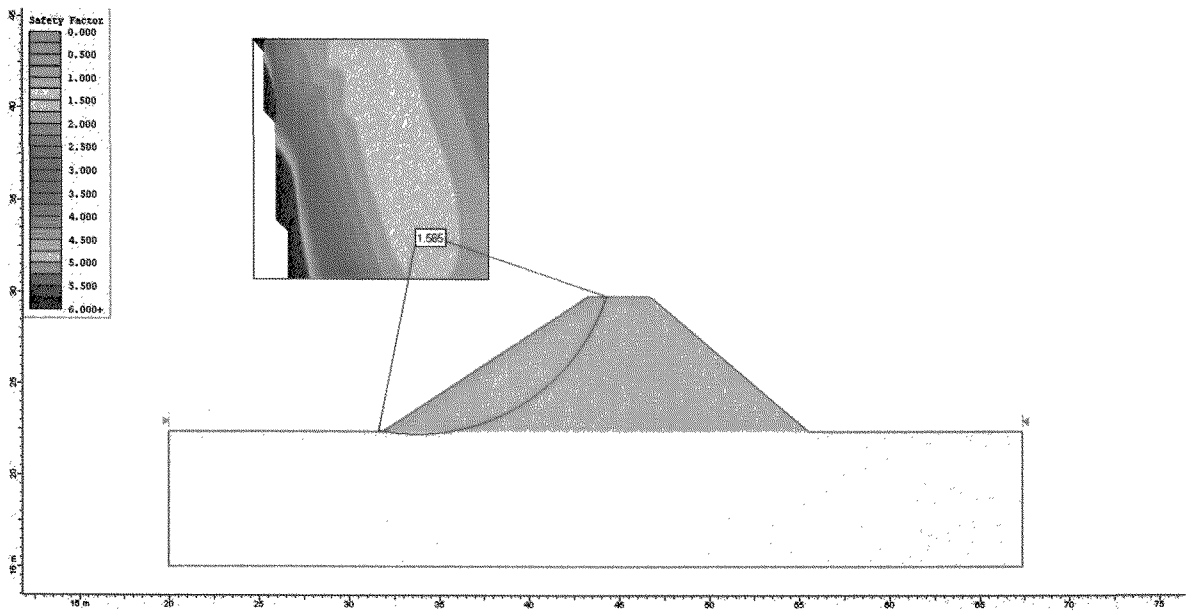


FIGURA 11.4-6
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

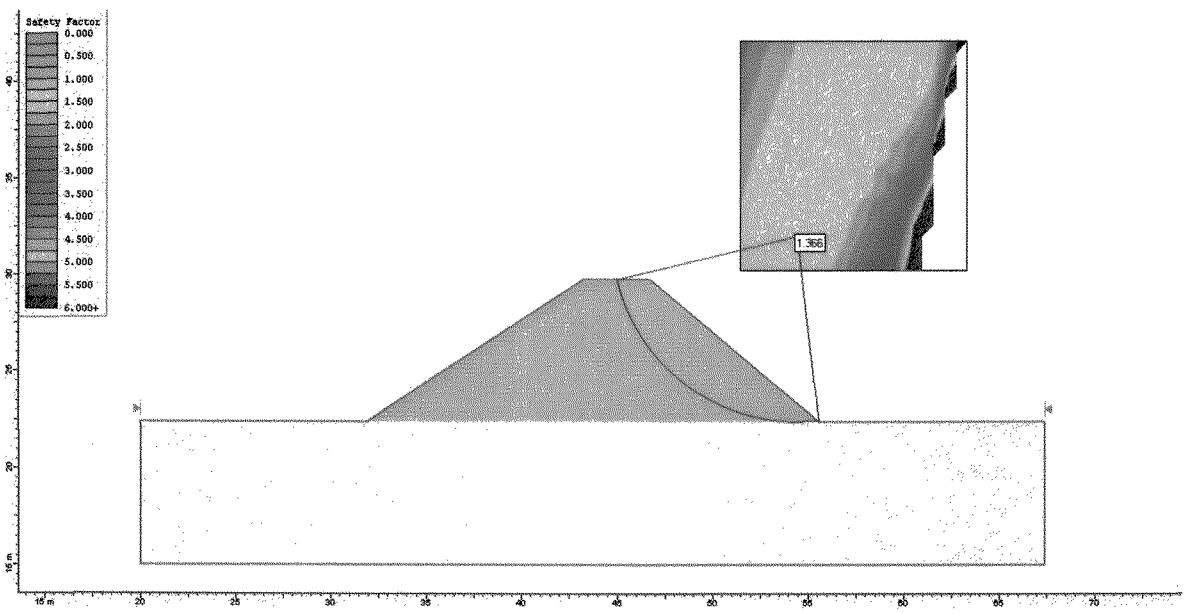


FIGURA 11.4-7
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

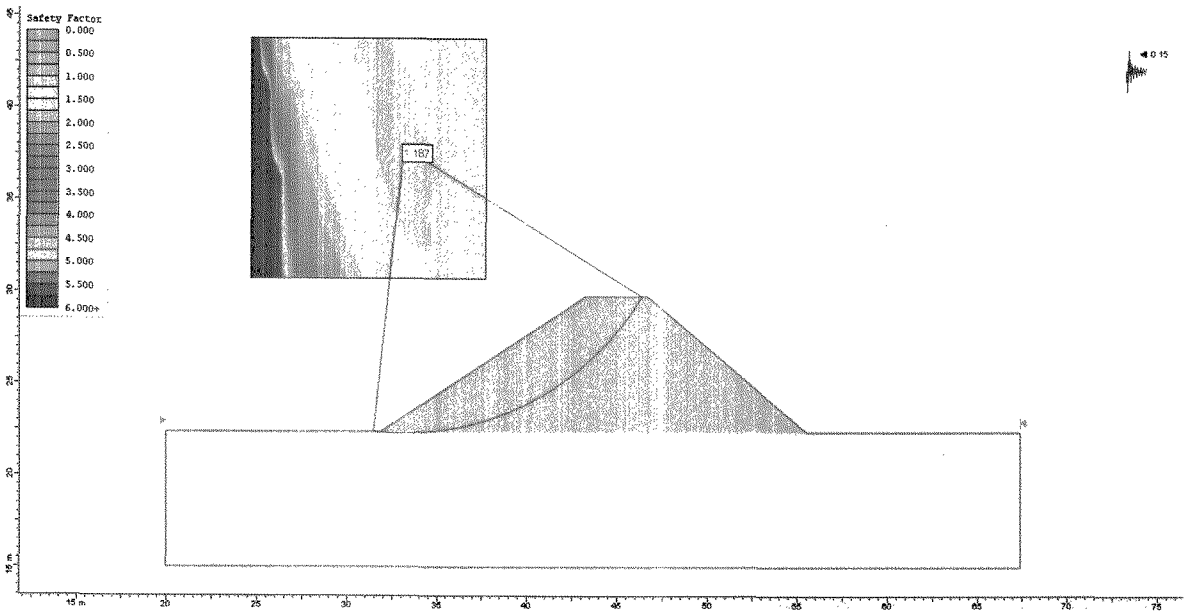


FIGURA 11.4-8
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA

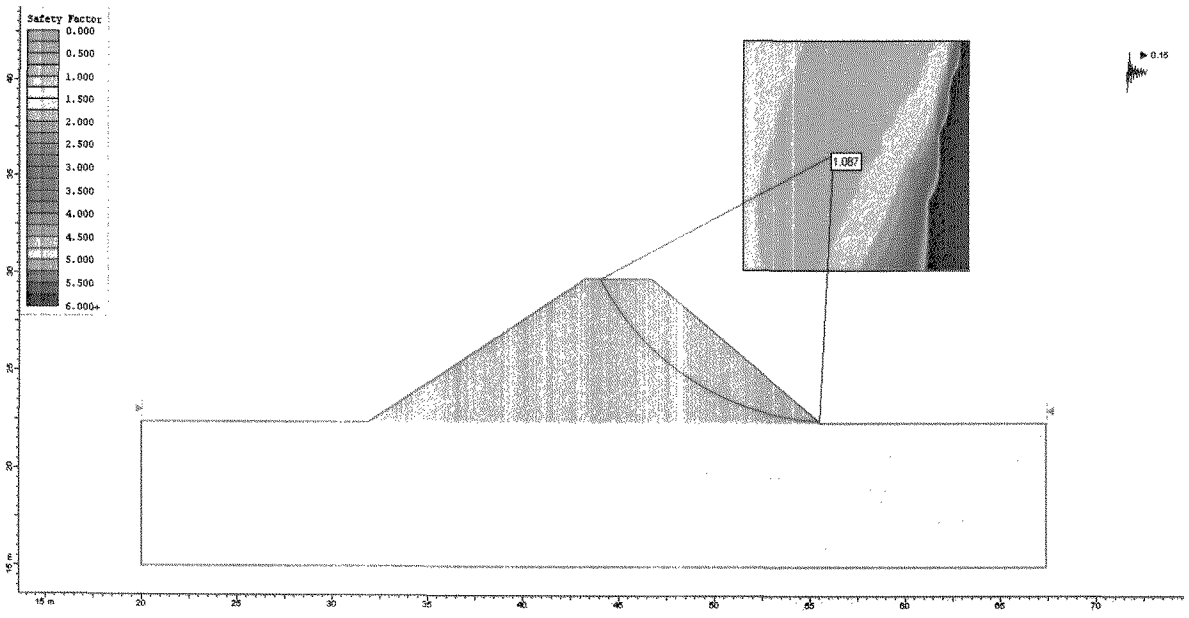


FIGURA 11.4-9
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

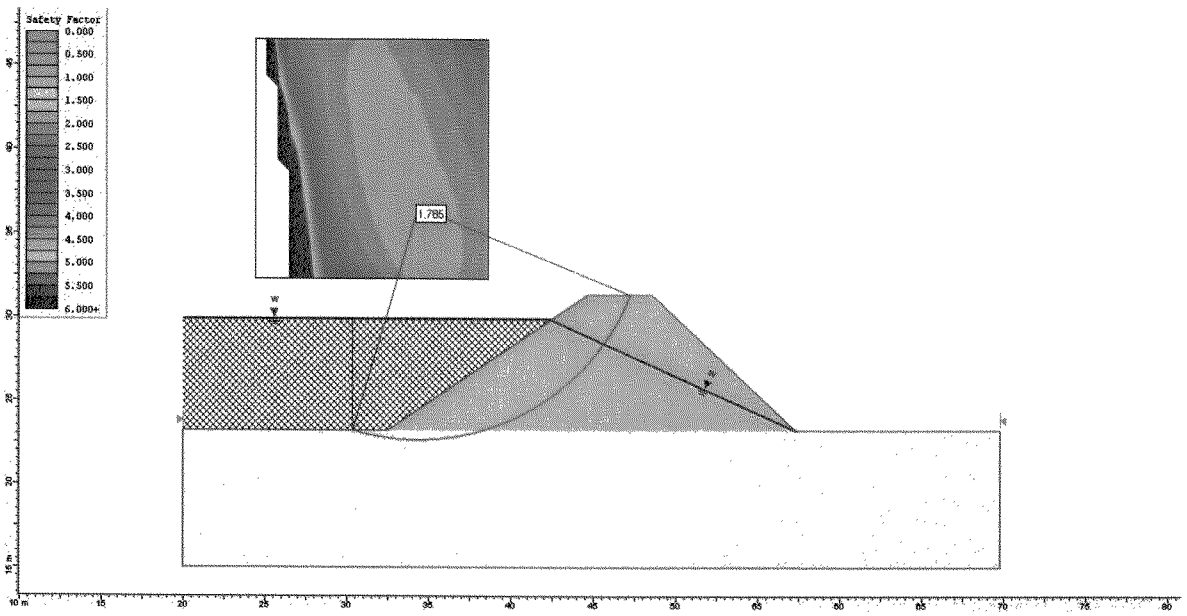


FIGURA 11.4-10
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

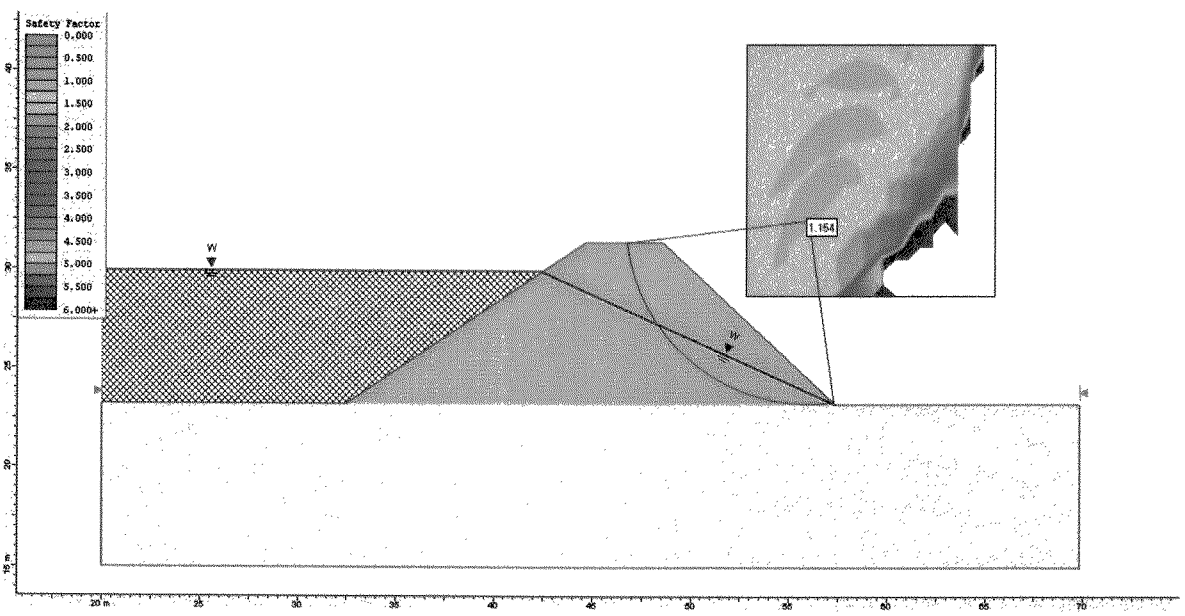


FIGURA 11.4-11
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

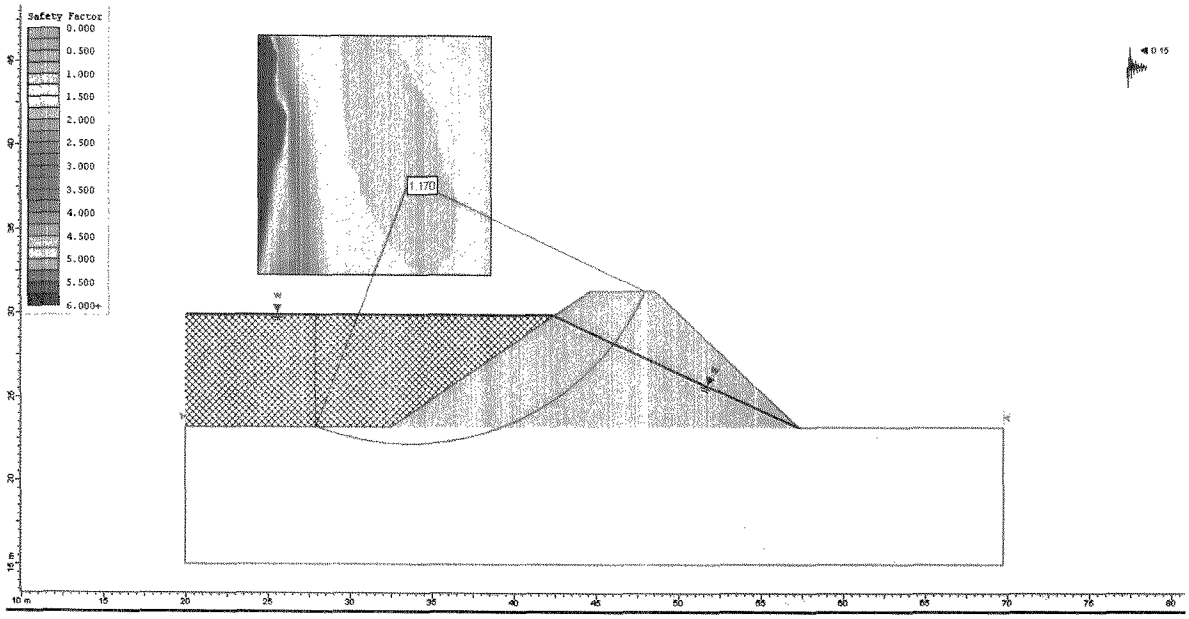


FIGURA 11.4-12
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

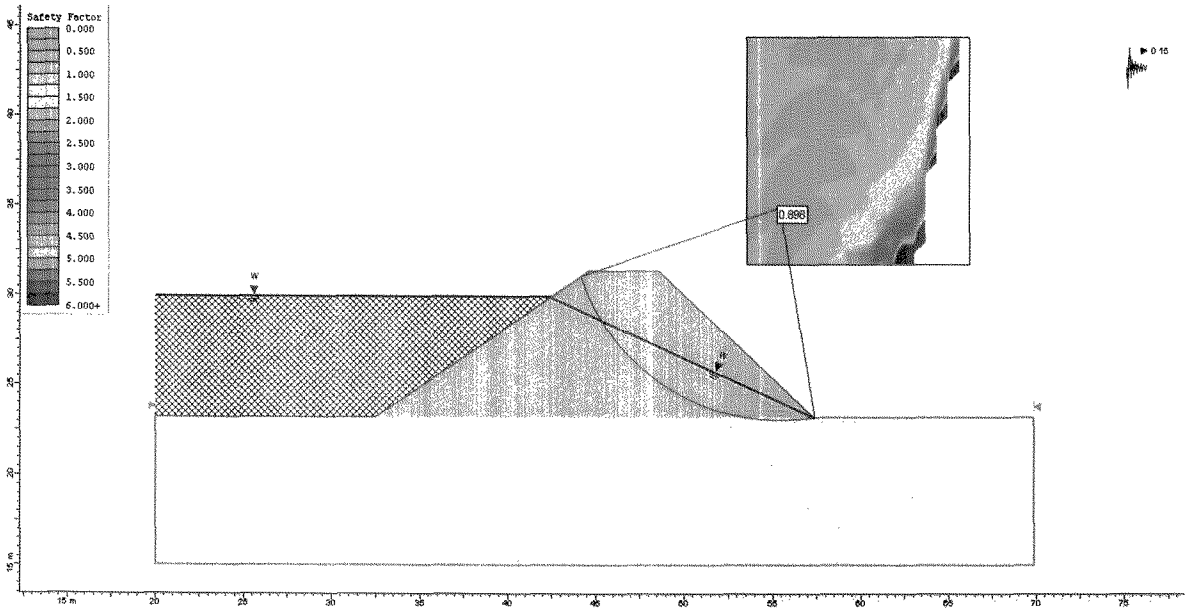


FIGURA 11.4-13
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

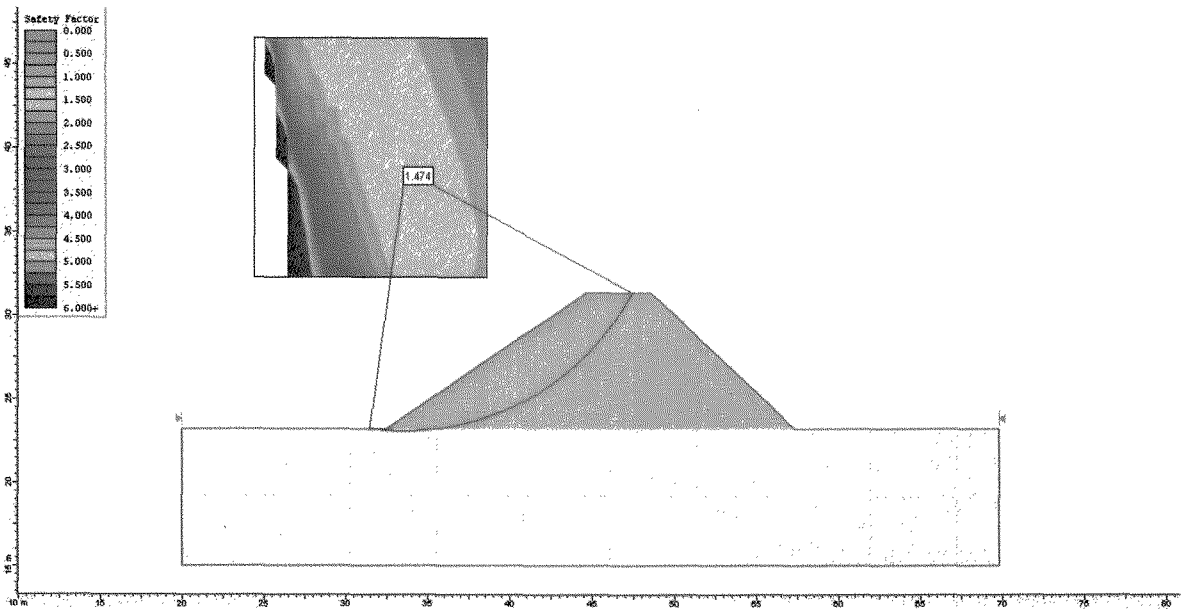


FIGURA 11.4-14
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

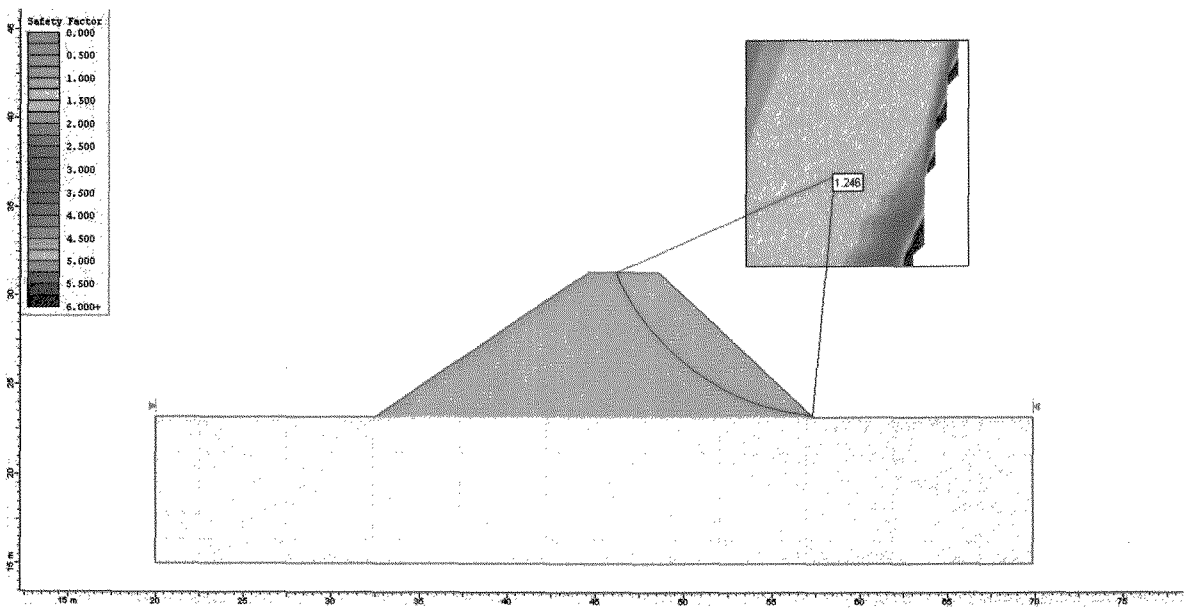


FIGURA 11.4-15
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

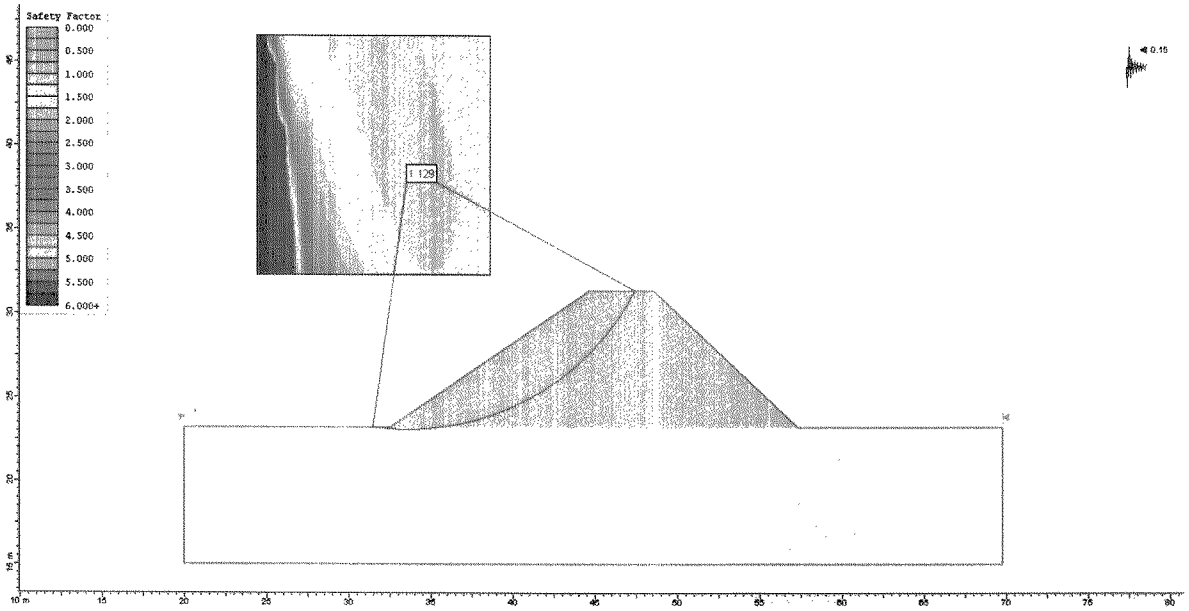


FIGURA 11.4-16
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA

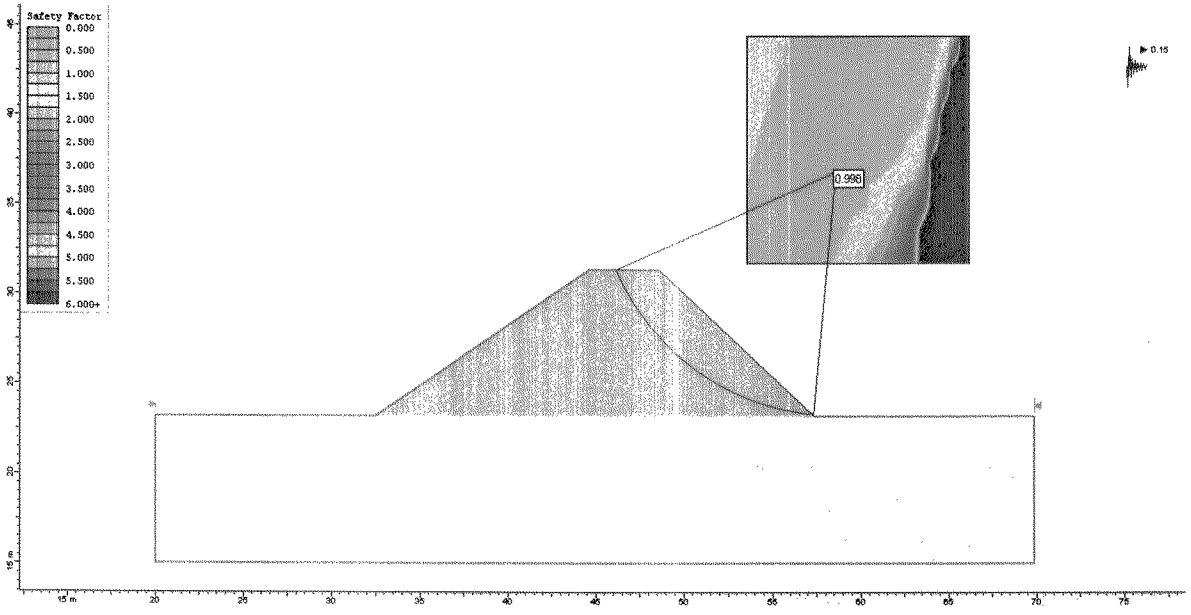


FIGURA 11.4-17
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

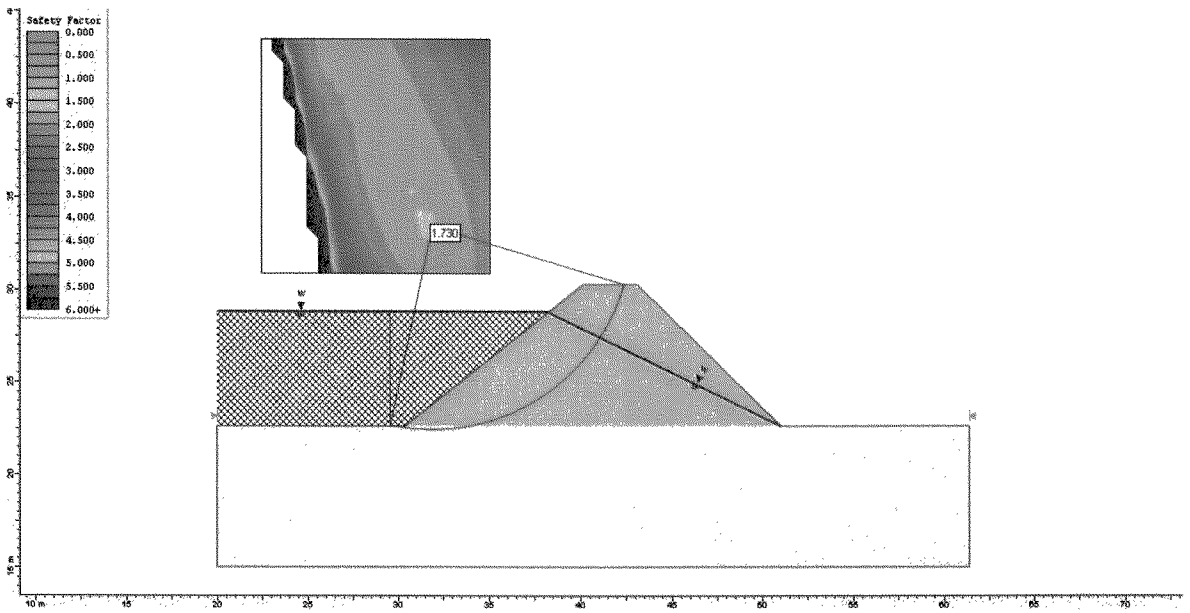


FIGURA 11.4-18
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

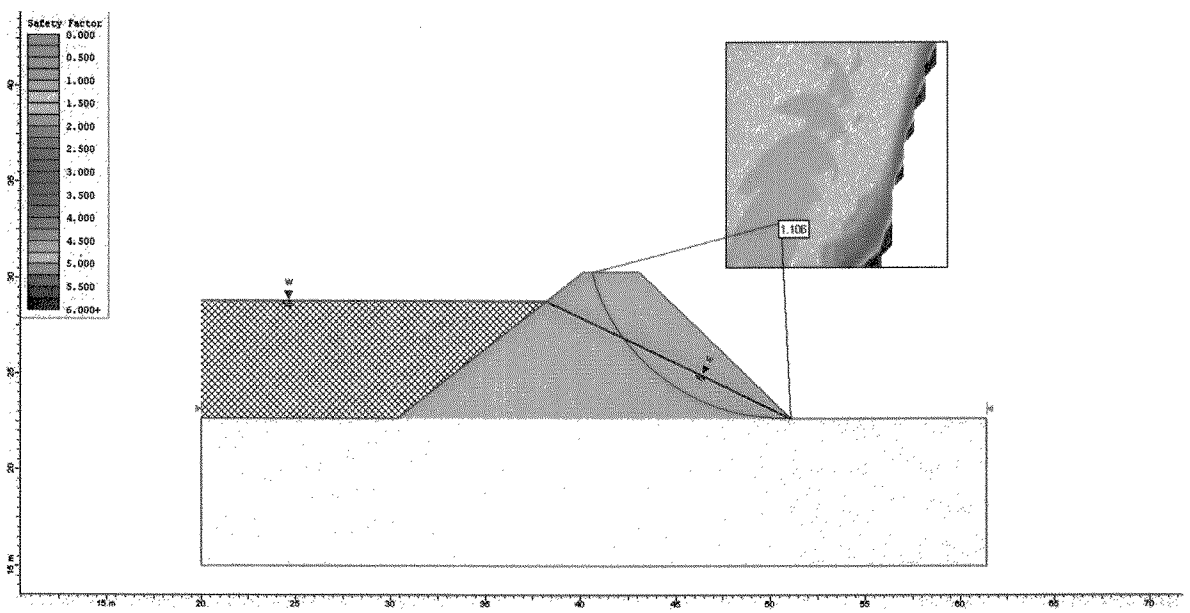


FIGURA 11.4-19
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

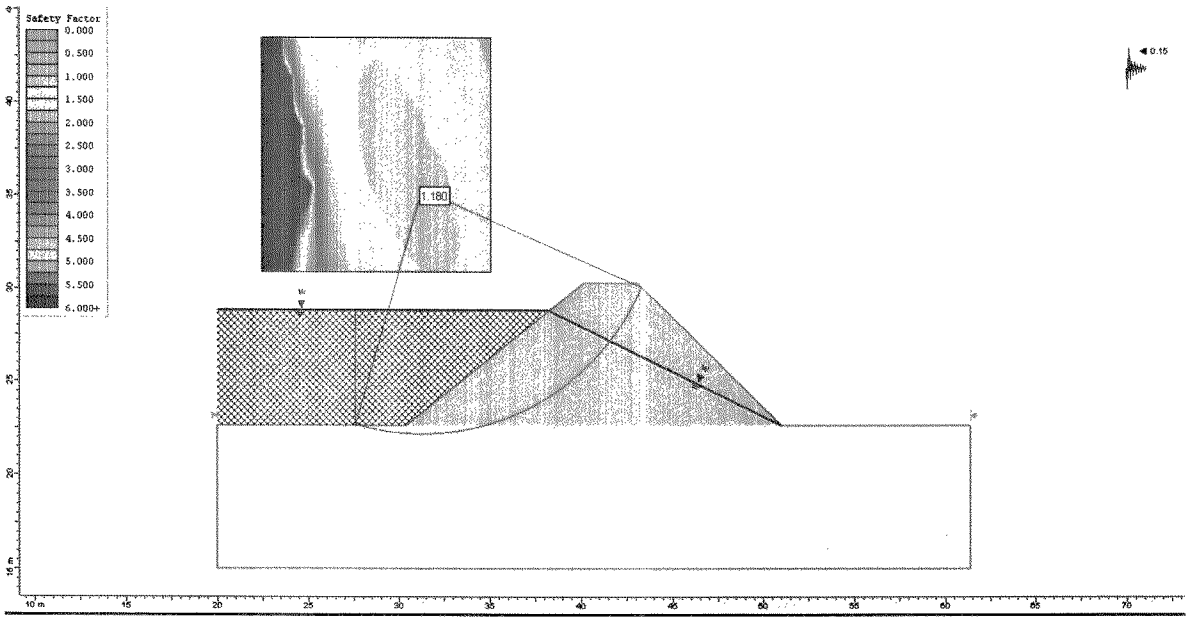


FIGURA 11.4-20
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

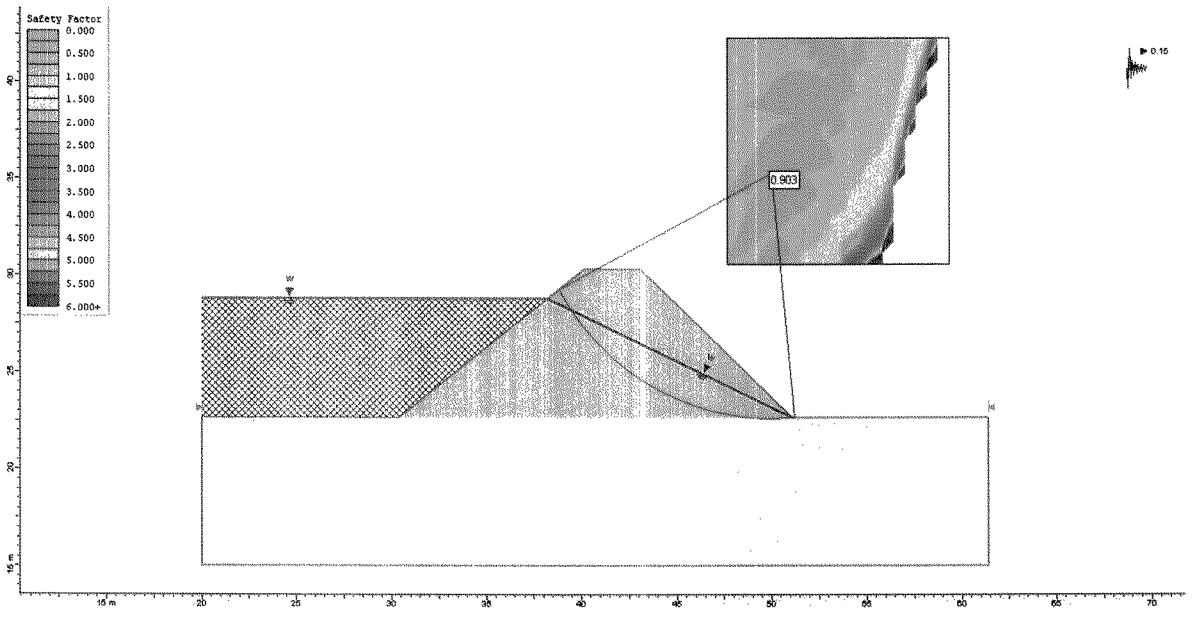


FIGURA 11.4-21
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

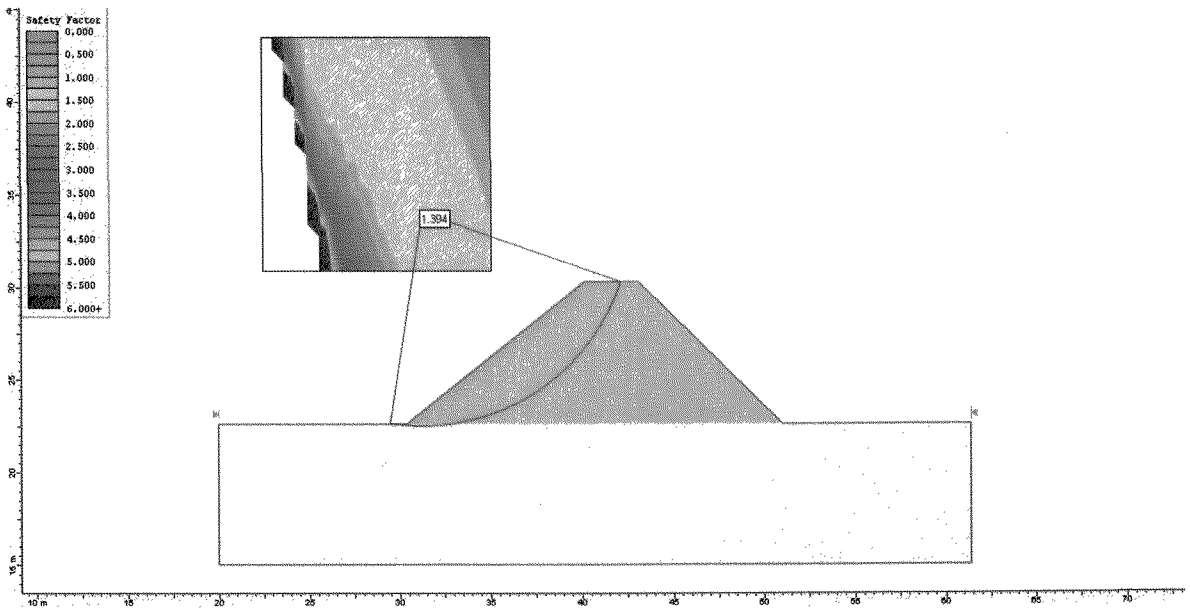


FIGURA 11.4-22
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

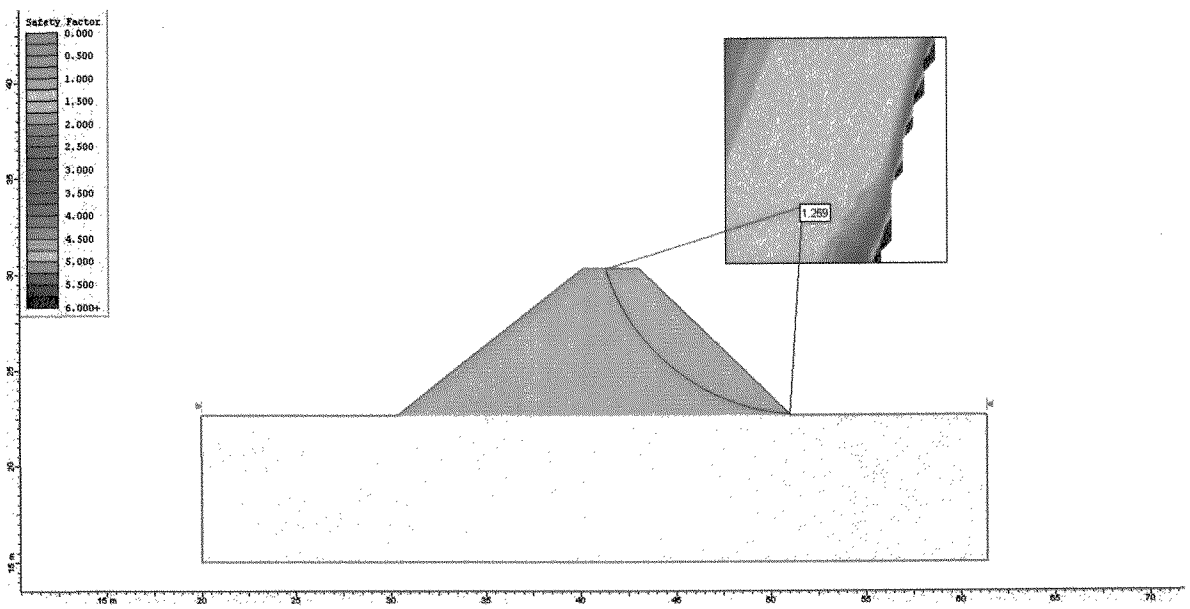


FIGURA 11.4-23
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

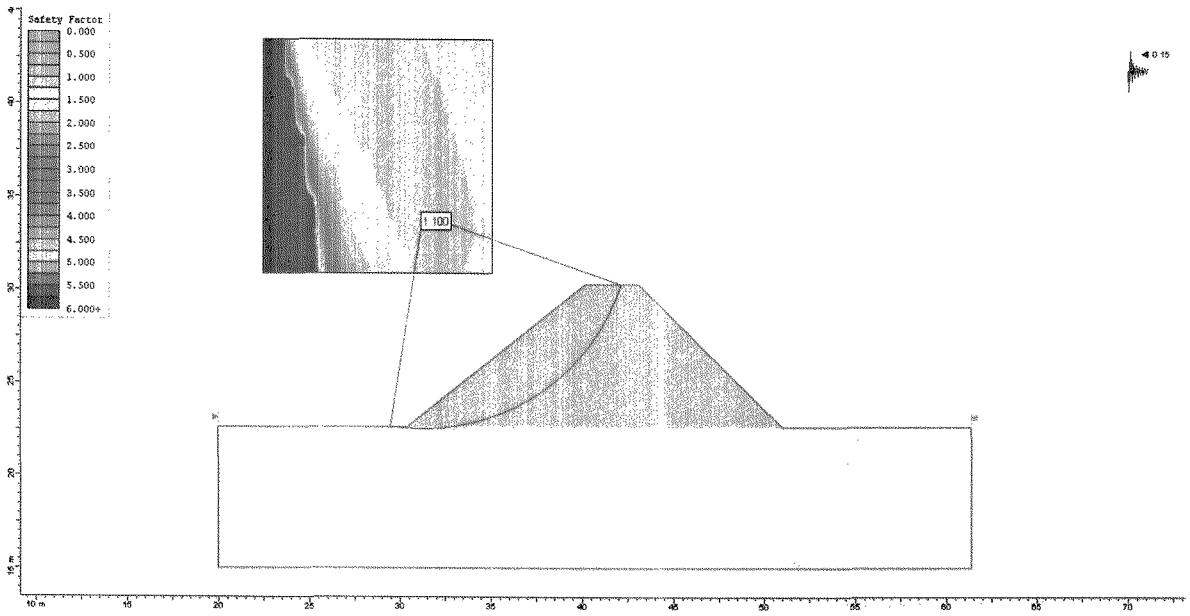
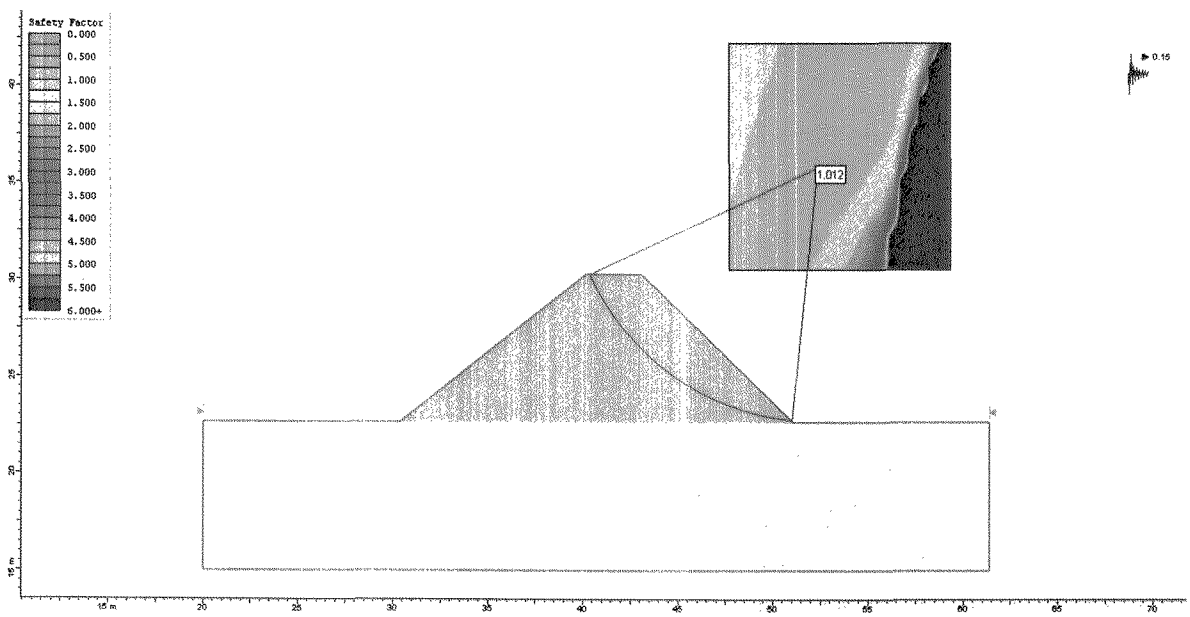


FIGURA 11.4-24
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 11.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES
IDAHUE

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
IDAHUE	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Muro 1	1,856	1,218	1,209	0,964
Muro 2	1,785	1,154	1,170	0,898
Muro 3	1,730	1,136	1,180	0,903

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,10g	
IDAHUE	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Muro 1	1,565	1,366	1,187	1,087
Muro 2	1,474	1,246	1,129	0,998
Muro 3	1,394	1,259	1,100	1,012

11.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Idahue***, se tiene:

	Muro 1	**Muro 2**	**Muro 3**	
Lh (m) =	23,7	24,9	20,7	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	0	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,7	1,7	1,7	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	5,89	6,68	6,14	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	**Lh**	**Lv**	**L'**	**Ht**	**bl**	**h**	**C'**	**(C' h)**	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
IDAHUE M1	23,7	0	7,90	7,4	1,5	5,8921	1,70	10,0	No

Embalse	**Lh**	**Lv**	**L'**	**Ht**	**bl**	**h**	**C'**	**(C' h)**	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
IDAHUE M2	24,9	0	8,31	8,2	1,5	6,684	1,70	11,4	No

Embalse	**Lh**	**Lv**	**L'**	**Ht**	**bl**	**h**	**C'**	**(C' h)**	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
IDAHUE M3	20,7	0	6,90	7,6	1,5	6,1413	1,70	10,4	No

11.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Idahue.

IDAHUE
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	329	0,2044	0,1129
2	36	0,8090	0,6545	348	0,2162	0,1415
3	30	0,8660	0,7500	381	0,2367	0,1776
4	24	0,9135	0,8346	416	0,2585	0,2157
5	18	0,9511	0,9045	450	0,2796	0,2529
6	12	0,9781	0,9568	502	0,3119	0,2984
7	6	0,9945	0,9891	564	0,3505	0,3466
8	0	1,0000	1,0000	623	0,3871	0,3871
9	6	0,9945	0,9891	419	0,2604	0,2575
10	12	0,9781	0,9568	430	0,2672	0,2556
11	18	0,9511	0,9045	390	0,2423	0,2192
12	24	0,9135	0,8346	358	0,2225	0,1856
13	30	0,8660	0,7500	353	0,2193	0,1645
14	36	0,8090	0,6545	345	0,2144	0,1403
15	42	0,7431	0,5523	329	0,2044	0,1129
	Suma	**13,5109**			Suma	**3,2685**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,242 millas
F = 389,33 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,54	0,7731
Molitor	2,39	0,7284
Creager	1,13	0,3457
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **1,50 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

11.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

11.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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		
		Muro 1	Muro 2	Muro 3
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	0,2	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			

11.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**23,25**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,36	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**8,37**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	37,04	0,95	0,00	0
0,002	43,76	0,95	0,00	0
0,0010	48,85	0,95	0,00	0

11.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado		
		Muro 1	Muro 2	Muro 3
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	0,2	0,2	0,2
Si existe sistema de drenaje	0			
Si el material es cohesivo	0,05			

11.7.4 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

11.7.5 Riesgo

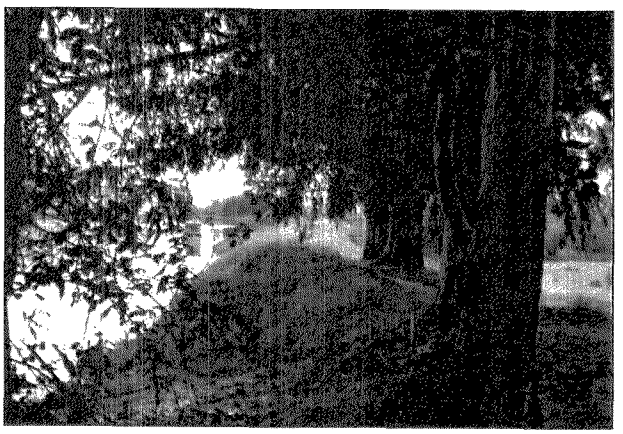
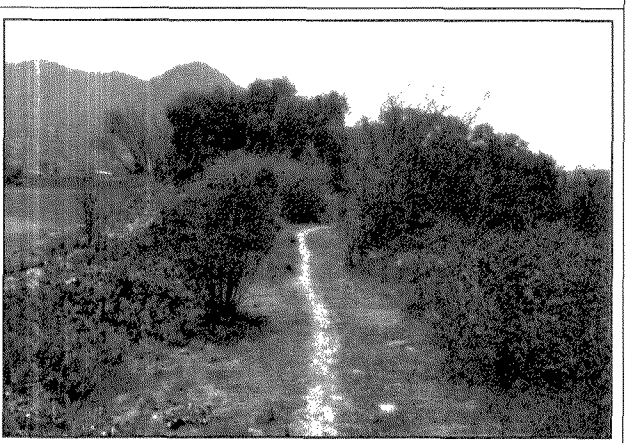
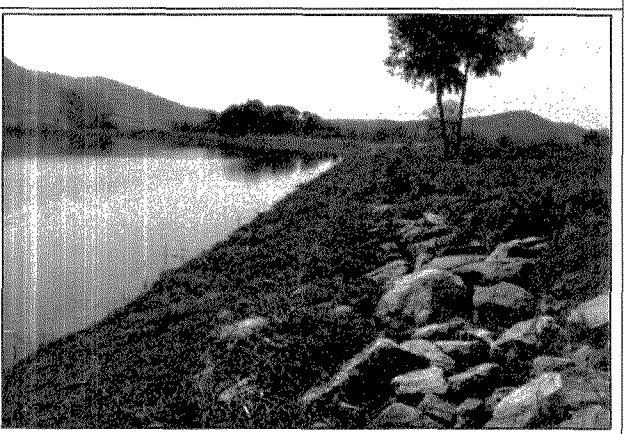
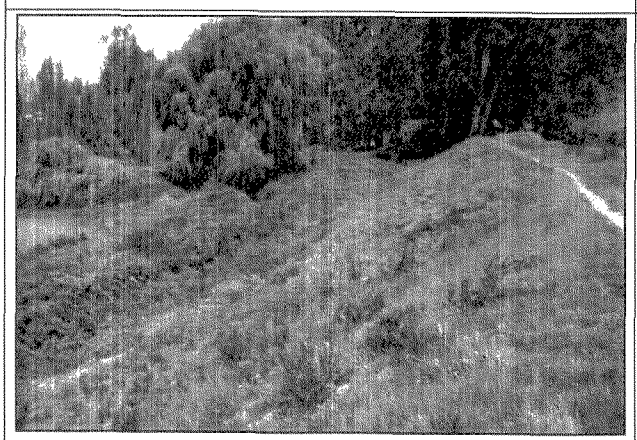
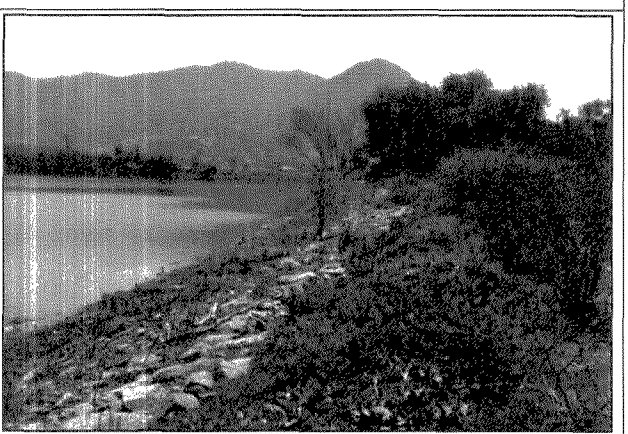
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

Riesgo	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Muro 1	0,80	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00
Muro 2	0,80	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00
Muro 3	0,80	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00

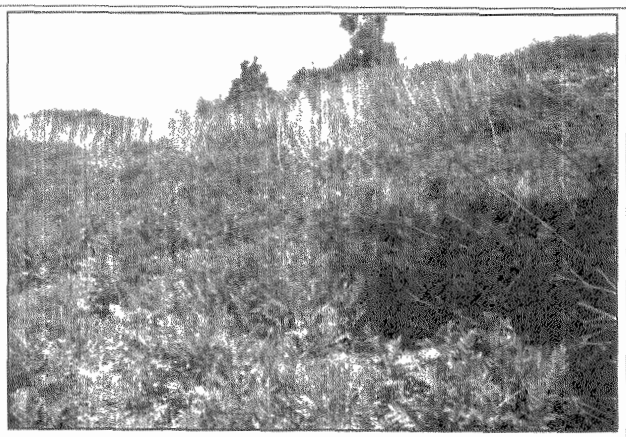
Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico para los muros 1, 2 y 3.

11.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

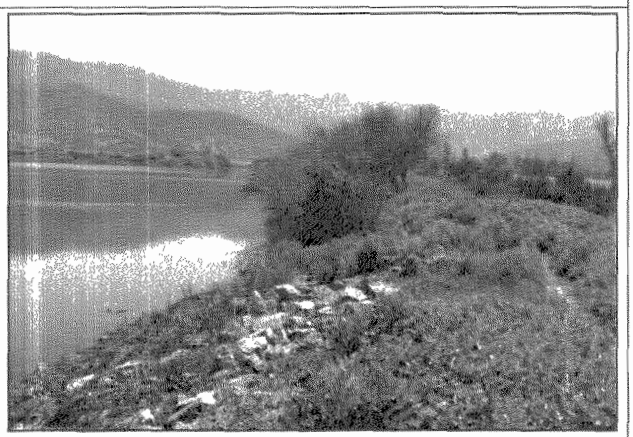
A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Idahue.

VISTA MURO M1	VISTA MURO M2
	
VISTA MURO M3	VISTA TALUD AGUAS ARRIBA M1
	
VISTA TALUD AGUAS ABAJO M1	VISTA TALUD AGUAS ARRIBA M2
	

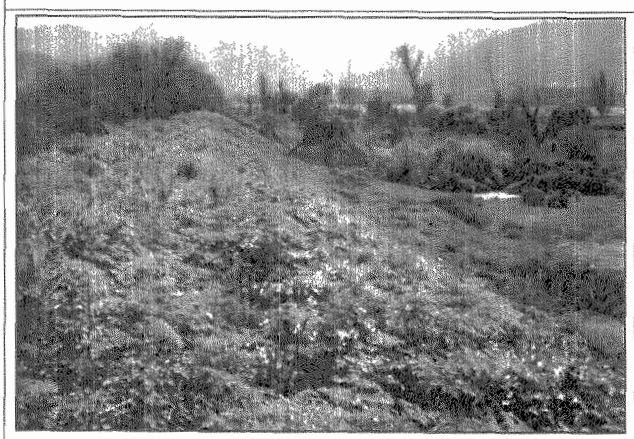
VISTA TALUD AGUAS ABAJO M2



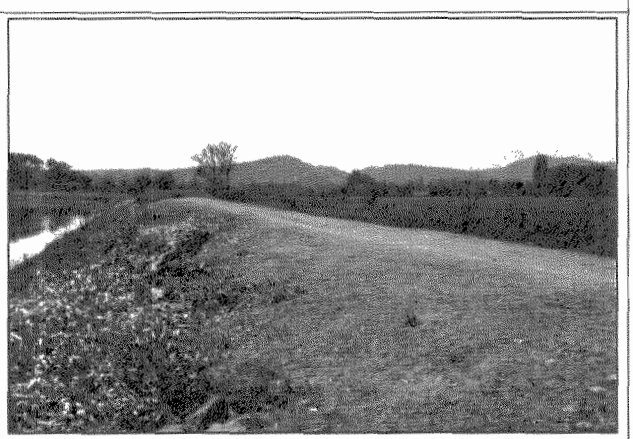
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA M3



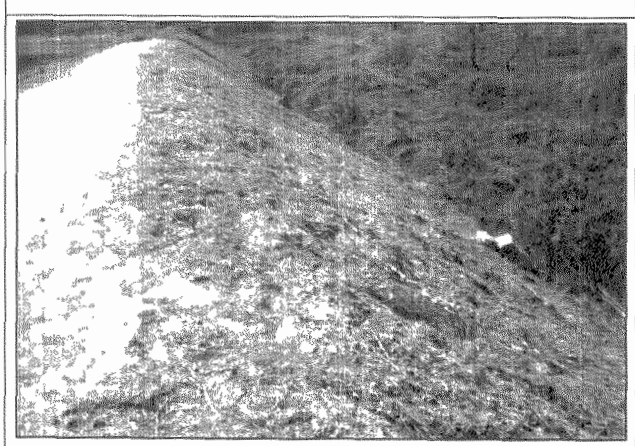
VISTA TALUD AGUAS ABAJO M3



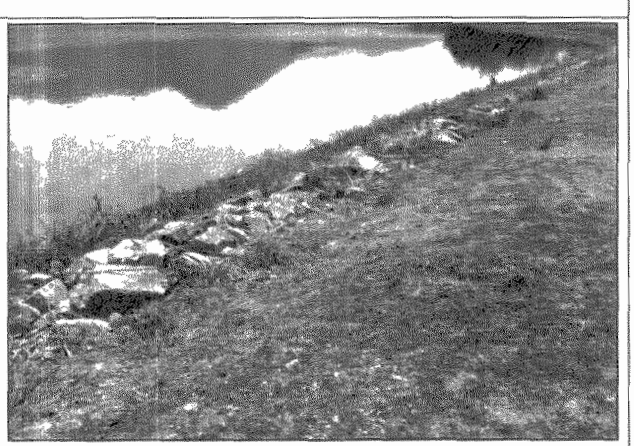
ZONA REPARADA MURO 1

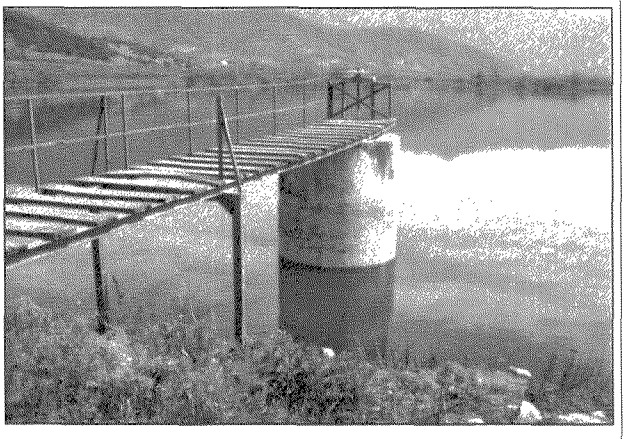
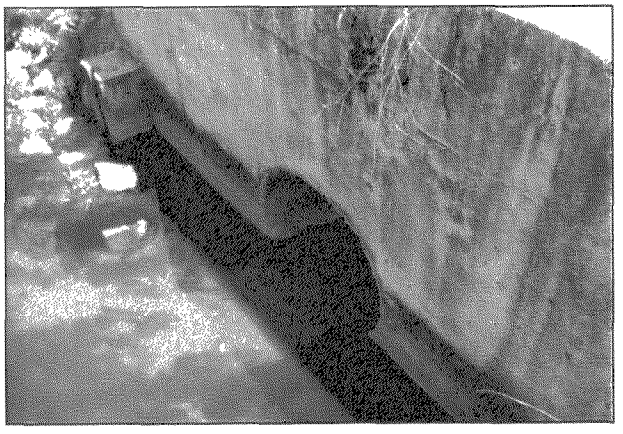
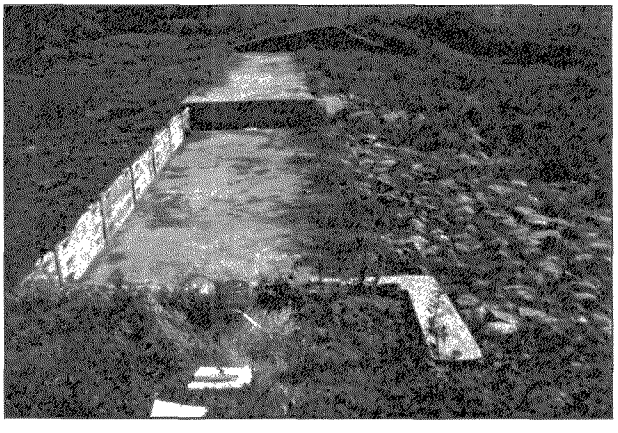
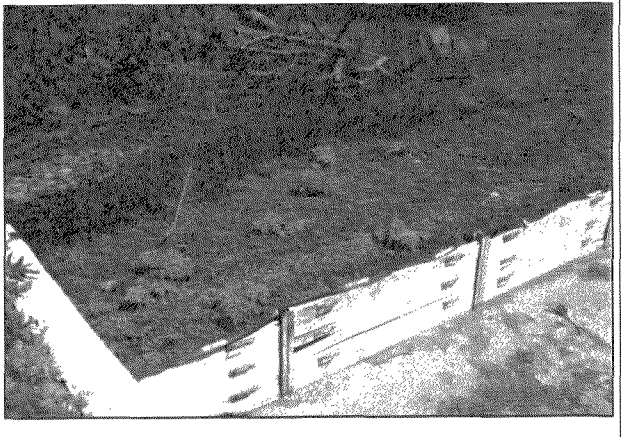


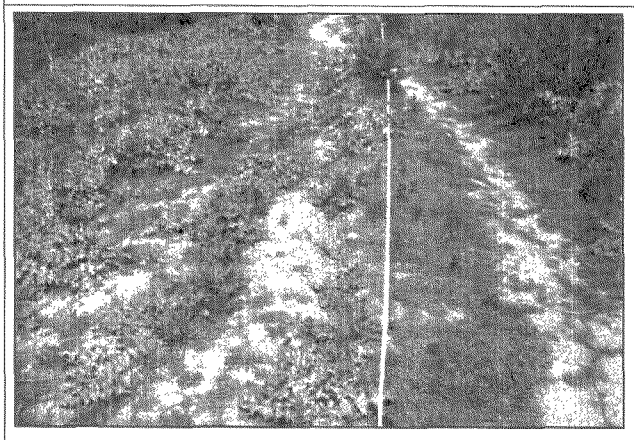
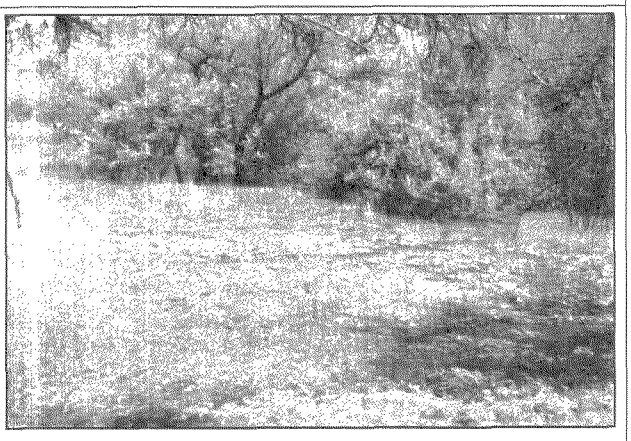
ZONA REPARADA M1



ZONA REPARADA M1



OBRA DE ENTREGA	OBRA DE ENTREGA
	
EVACUADOR DE CRECIDAS	EVACUADOR DE CRECIDAS
	
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	ZONA SATURADA M1
	

ZONA SATURADA M2	ZONA SATURADA M3
	
GRIETAS MURO 2	EMBANCAMIENTO EN EL MURO 3
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Idahue Muro 1
Propietario	Comunidad Tranque Idahue
RUT Propietario	En tramite
Año de construcción	1934
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	2002
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Estero Zamorano
Fuente del recurso	Quebrada Sin Nombre

Nº de ficha	11.1
Fecha (dd/mm/año)	09-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	San Vicente de Tagua-Tagua	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.182.959	E = 297.935
Coordenadas UTM Centro	N = 6.182.993	E = 298.002
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.183.111	E = 298.164
Datum WGS 84		
Altitud	ED = 210 ; C = 211 ; EI= 208	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	282		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 2,00 ;	C = 3,70;	EI = 4,80
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	11,50		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,50		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 36° ;	C = 44° ;	EI = 42°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 31° ;	C = 33° ;	EI = 33°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	Aguas arriba uniformes, aguas abajo regularmente 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	Se presenta sector saturado al final del muro 1 (ver álbum fotográfico)
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se aprecian filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada, aguas arriba presenta enrocado de protección, aguas abajo cubierta vegetal

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

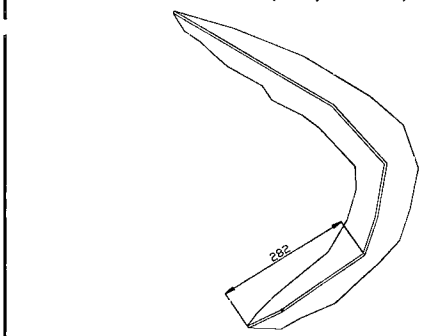
Tipo de estructura	Torre de hormigón ubicada a los 88 m desde estribo derecho, salida por tubería por el fondo del muro hacia canales
Mediciones estructurales	Diámetro externo 2,30 m grosor paredes 0,40 m; altura 8,00 m
Funcionamiento actual	En buen estado, en funcionamiento

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, terreno pie de cerro, pendiente media 0,4%, ancho medio 2,5 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,2 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,2 Km.
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	0,77 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	140 has

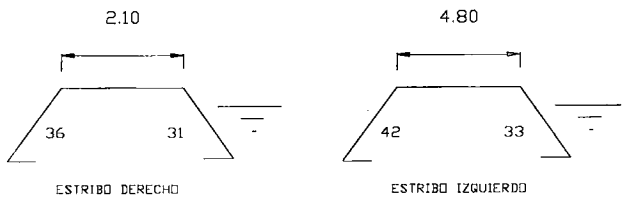
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

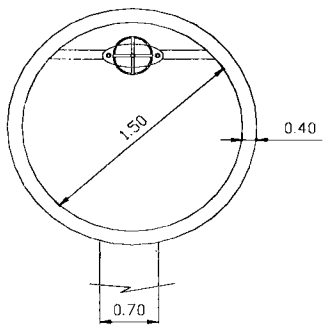


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

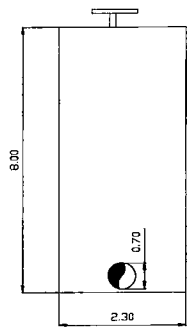
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



Croquis de la obra de Toma y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de Toma y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

Personalidad Jurídica en tramite
Desde 131 m hasta 188 m zona desmalezada por reparaciones (ver álbum fotográfico)
Se hicieron arreglos en el núcleo por filtraciones (informado por regantes)

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Idahue Muro 2
Propietario	Comunidad Tranque Idahue
RUT Propietario	En tramite
Año de construcción	1934
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	2002
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Estero Zamorano
Fuente del recurso	Quebrada Sin Nombre

N° de ficha	11.2
Fecha (dd/mm/año)	09-10-2009

Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	San Vicente de Tagua-Tagua	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.183.111	E = 298.164
Coordenadas UTM Centro	N = 6.183.189	E = 298.189
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.183.301	E = 298.207
Datum WGS 84		
Altitud	ED = 208 ; C = 204 ; EI : 206	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	205		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 4,80 ;	C = 3,70;	EI = 3,10
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	12,00		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,50		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 42°;	C = 45° ;	EI = 42°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 33°;	C = 36° ;	EI = 33°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente)	8,2
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	6,7
Área estimada o calculada de la poza (m2)	280.600
Ancho máximo de la poza (km)	0,46
Largo de la poza (km)	0,61
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,470

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual		
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)		SI
Identificación del punto de toma de muestra		SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		SI
Coordenadas UTM	N = 6.183.189 E = 298.189	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		Arcilla Limo Arenosa

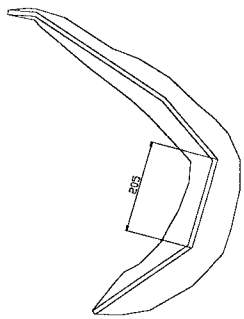
7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Media
Uniformidad de los taludes	Aguas arriba uniformes, aguas abajo regularmente uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se presentan depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	Si, a los 141 m (ver álbum fotográfico) desde estribo derecho
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se aprecian indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	Si, a los 70 m desde estribo derecho zona con saturación a los pies del talud aguas abajo
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se aprecian filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada, aguas arriba presenta enrocado de protección, aguas abajo presenta cubierta vegetal

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	Canal en tierra, terreno pie de cerro, pendiente media 0,4%, ancho medio 2,5 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,2 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,2 Km.
Densidad de población en las cercanias del tranque	Media - Alta
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,77 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	140 has

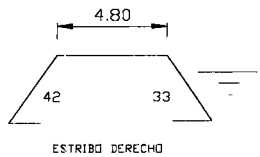
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

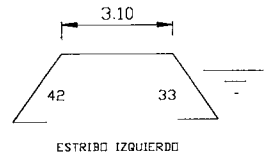


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



ESTRIBO DERECHO



ESTRIBO IZQUIERDO

12. OBSERVACIONES

Se presenta en casi toda la extensión del muro saturaciones a los pies del talud aguas abajo
A 45 m desde estribo derecho zona con depresion en el coronamiento
A 141 m desde estribo derecho grietas en el coronamiento

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Idahue Muro 3
Propietario	Comunidad Tranque Idahue
RUT Propietario	En tramite
Año de construcción	1934
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	2002
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Estero Zamorano
Fuente del recurso	Quebrada Sin Nombre

N° de ficha	11.3
Fecha (dd/mm/año)	09-10-2009
Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cachapoal	
Comuna	San Vicente de Tagua-Tagua	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N = 6.183.301	E = 298.207
Coordenadas UTM Centro	N = 6.183.422	E = 298.102
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N = 6.183.617	E = 297.786
Datum WGS 84		
Altitud	ED = 206 ; C = 205 ; EI : 206	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	540		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 3,10 ;	C = 2,40 ;	EI = 3,30
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	11,0		
Revancha minima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,50		
Paramentos verticales	NO		
Con eclimetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 42° ;	C = 42° ;	EI = 47°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 33° ;	C = 36° ;	EI = 44°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

7. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Media
Uniformidad de los taludes	Aguas arriba uniformes, aguas abajo regulamente 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	Muro se presenta saturado en casi toda su longuitud por presencia de densa cubierta vegetal
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se aprecian filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada, aguas arriba presenta enrocado de protección, aguas abajo cubierta vegetal

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
Vertederos libres, sin control	
Vertederos controlados por compuertas	X

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	

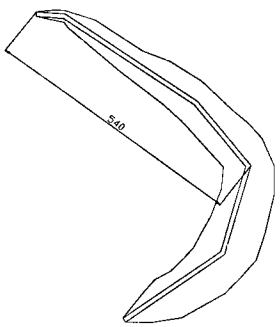
Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero de hormigón con compuertas de madera
Material constructivo	Hormigón y enrocado
Estado de conservación y operatividad	Buen estado, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Ancho : 35,0 m ; Altura : 1,60 m ; Largo 10,50 m

10. CARACTERIZACION 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, terreno pie de cerro, pendiente media 0,4%, ancho medio 2,5 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,2 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,2 Km.
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	0,77 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	140 has

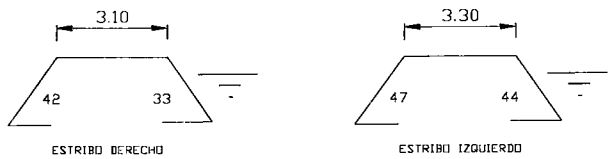
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

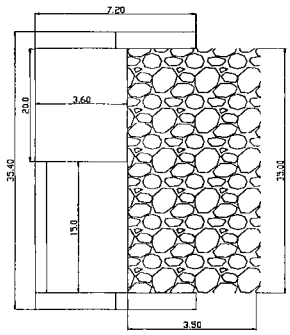


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

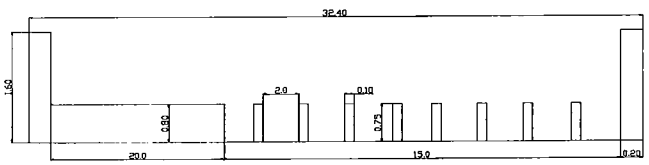
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

Sobre el coronamiento del muro existe abundante cubierta vegetal que mantiene el muro con una alta humedad, la compacidad del material es mas baja que en los otros muros

A 90 m desde estribo derecho se presenta zona de saturación a los pies del talud

Cercano a este muro se encuentra zona de embacamiento de la poza

EMBALSE SAN VICENTE

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

12. EMBALSE SAN VICENTE
12.1 Ubicación
12.2 Características Generales
12.3 Crecidas Afluentes al Embalse
- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

12.4 Análisis de Estabilidad
- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

12.5 Determinación de Filtraciones
12.6 Verificación del Oleaje
12.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
12.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

12. EMBALSE SAN VICENTE

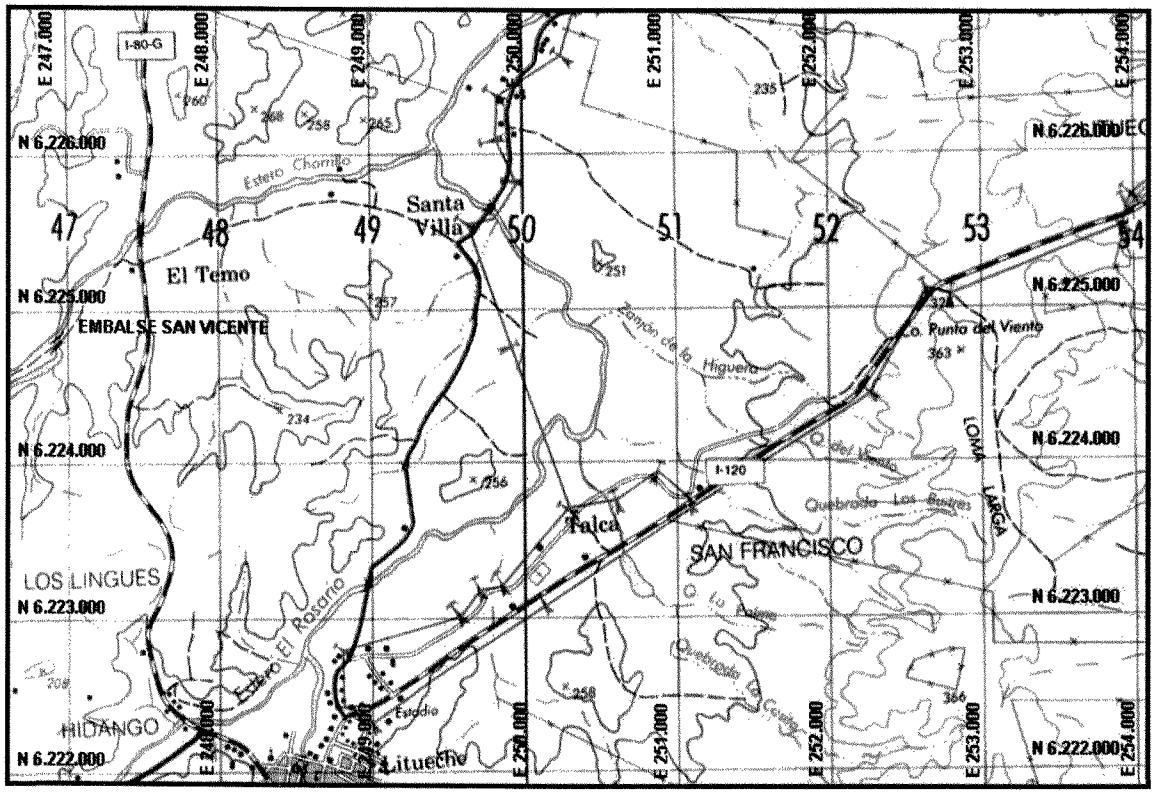
12.1 Ubicación

El embalse San Vicente se ubica en la comuna de Litueche, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.224.151 Norte y 246.263 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 229 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca de Rapel, subcuenca del Río Rapel y la fuente corresponde al estero El Rosario.

Se puede acceder al sitio del embalse desde la localidad de Litueche, al norte por la ruta G-80-L por aproximadamente 5 km hasta la entrada de un camino particular al embalse en dirección poniente por 3,5 km.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 12.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE SAN VICENTE



Fuente: Carta IGM

12.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Eduardo Doberti Quic. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1990.

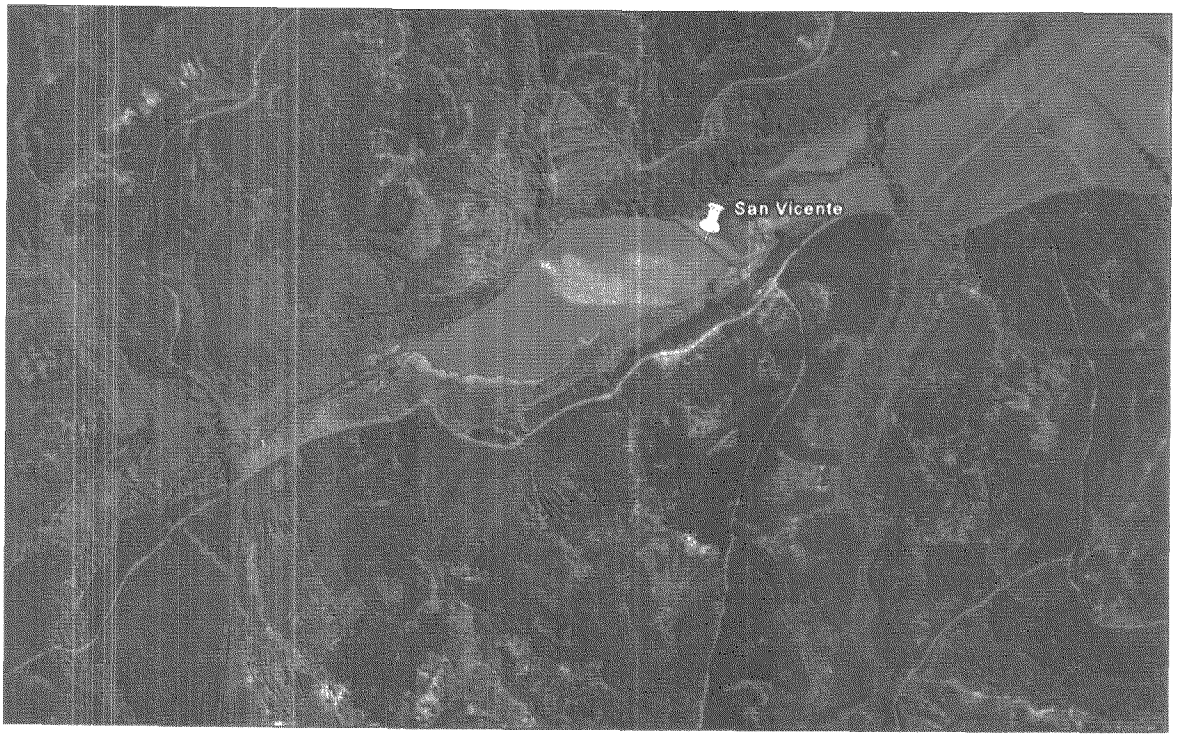
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 0,171 hm^3. La altura máxima del muro es de 9,0 m, con una longitud de coronamiento de 104 m y ancho promedio del coronamiento de 3,0 m y borde libre de 1,1 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,19:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,73:1.

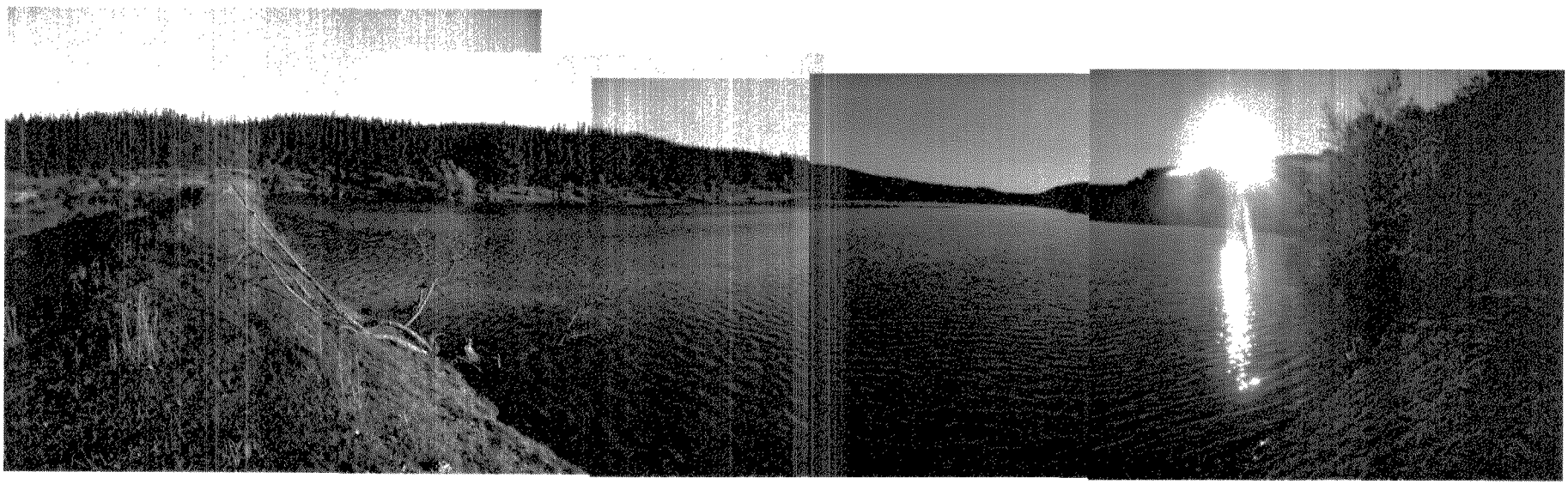
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a uno de caída libre a quebrada con un ancho medio de 12,0 m y 2,5 m de alto. No tiene estructura de control. Buen estado de mantención y operación.

La ***obra de entrega*** corresponde a 2 cajones de hormigón. Uno ubicado entre el estribo derecho y el centro del tranque y el otro ubicado entre el centro del tranque y el estribo izquierdo, cada cajón con una válvula de entrega de volante con tuberías de 12,5 cm de diámetro. La obra se encuentra en buen estado de mantención y operación.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 12.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE SAN VICENTE





Vista panorámica Embalse San Vicente

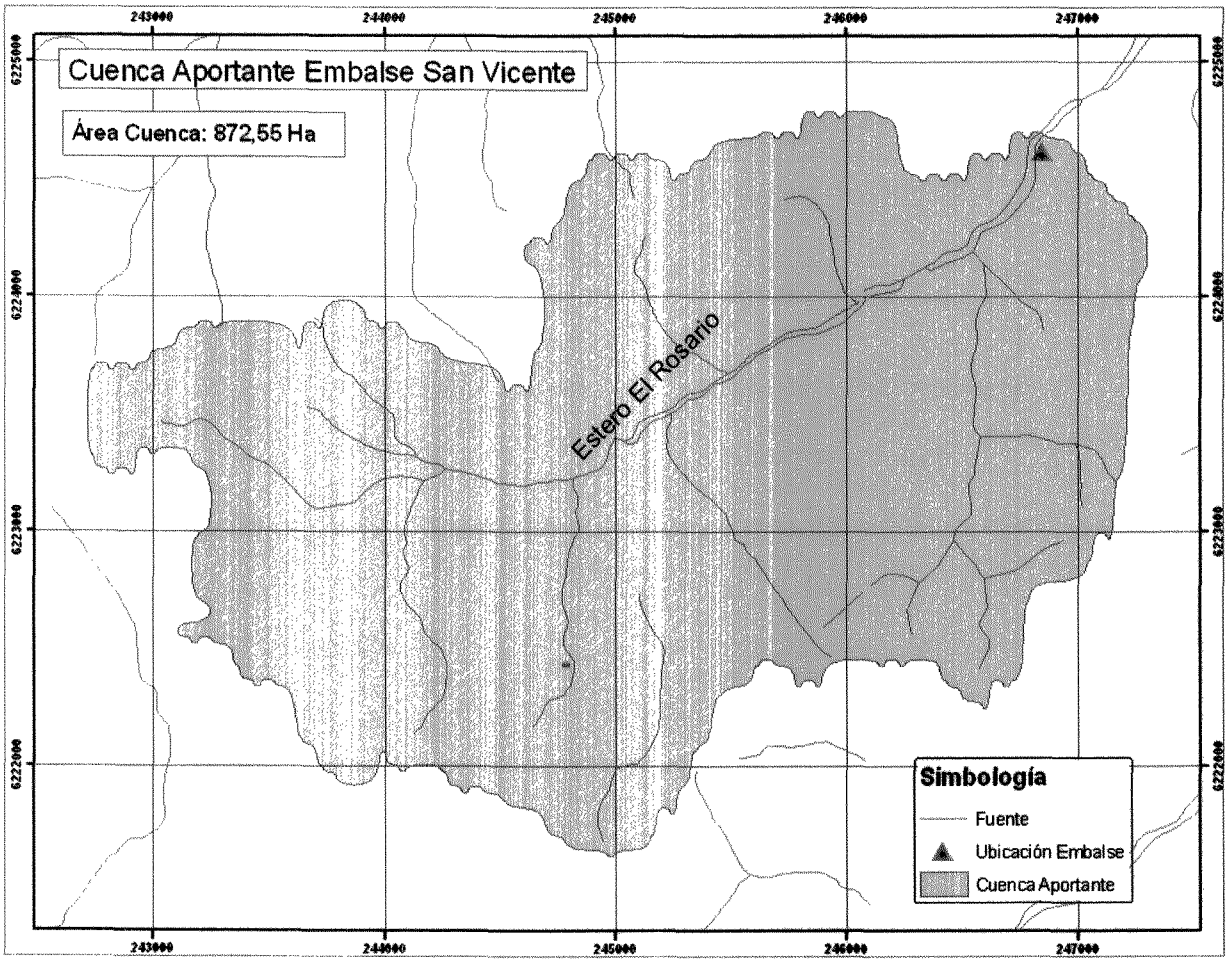
12.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse San Vicente tiene como fuente al estero El Rosario, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 8,73 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 12.3-1
CUENCA EMBALSE SAN VICENTE



CUADRO 12.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		San Vicente
SUPERFICIE (ha)	Total	872,6
	Pluvial	872,6
PERÍMETRO (m)	Total	21.240,0
	Pluvial	21.240,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	319,7
	Mínima	236,7
	Diferencia	83,1
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	8,1
	Cauce	6,6
LONGITUD CAUCE (km)	Total	5,78
	Desde centro de gravedad	2,89
CENTROIDE CUENCA	UTM E	245.009
	UTM N	6.223.130
	Altura (msnm)	264,9
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	245.381
	UTM N	6.223.713
	Altura (msnm)	254
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
San vicente	1,31	2,81	0,06	0,78	0,78

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
San Vicente	Rapel	0,128	108,1	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
San Vicente	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	9,8	4,2	14,3
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	13,1	6,1	24,3
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	14,9	10,3	31,4
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	16,2	12,3	36,7
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	17,2	13,9	41,0
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	17,8	15,1	44,1
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	20,0	18,9	53,7
	T=100	1	Cachapoal	1,5	22,1	24,7	68,3

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
San Vicente	1,88	5,37	7,26	8,30	9,36	10,09	12,48	15,24

➢ Extrapolación de caudales

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
San Vicente	26,59	31,42	35,07

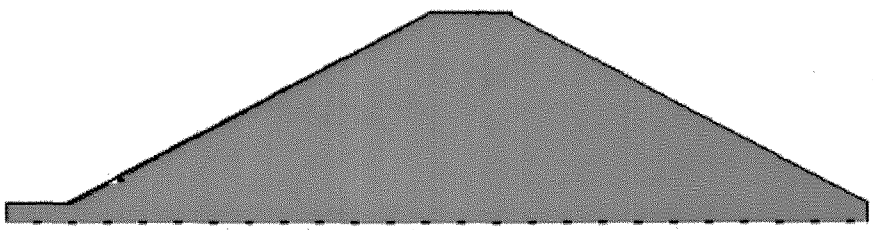
12.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla areno limosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	9,00 m
Ancho coronamiento	3,00 m
Borde libre	1.10 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,19 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,73 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 12.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 25°	2,5	1,8	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo¡Error! Marcador no definido.	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 12.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

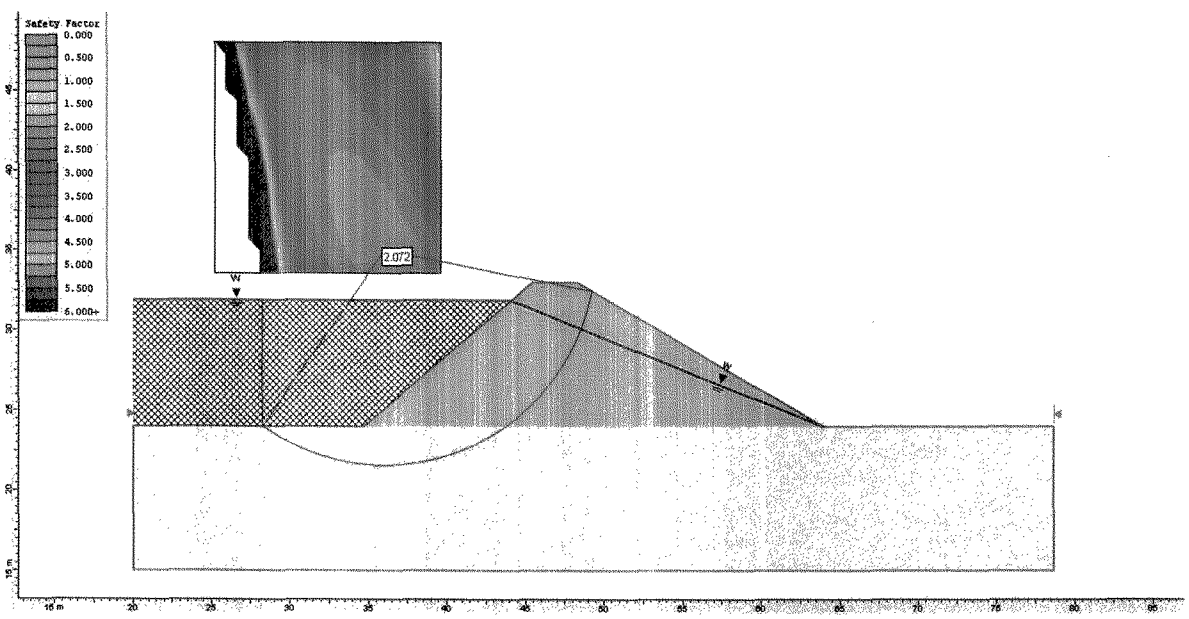


FIGURA 12.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

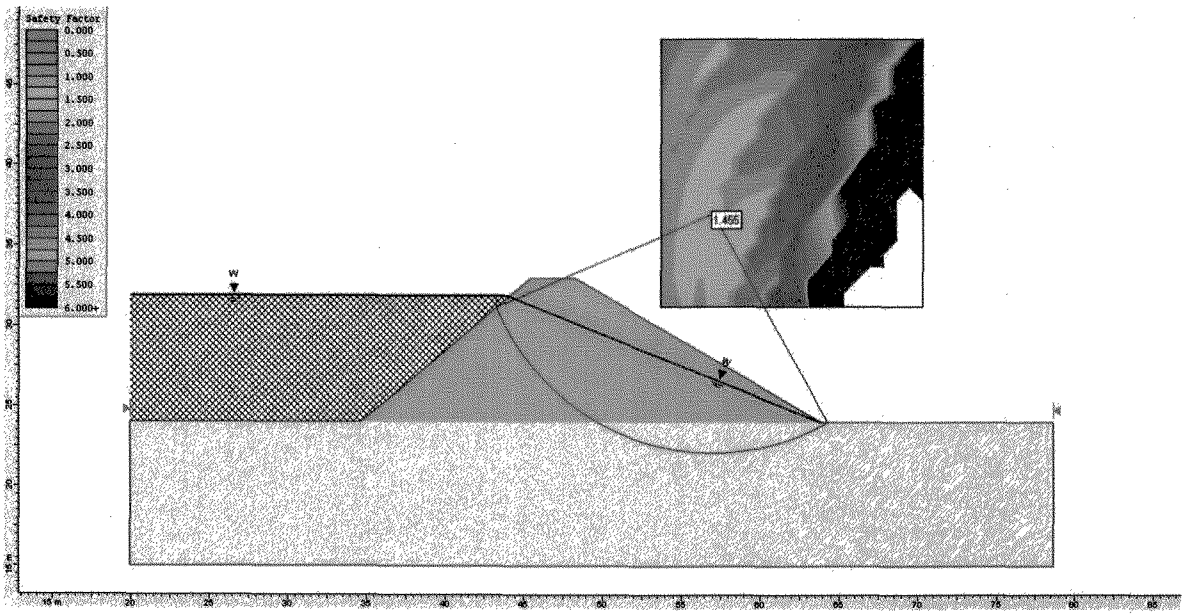


FIGURA 12.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

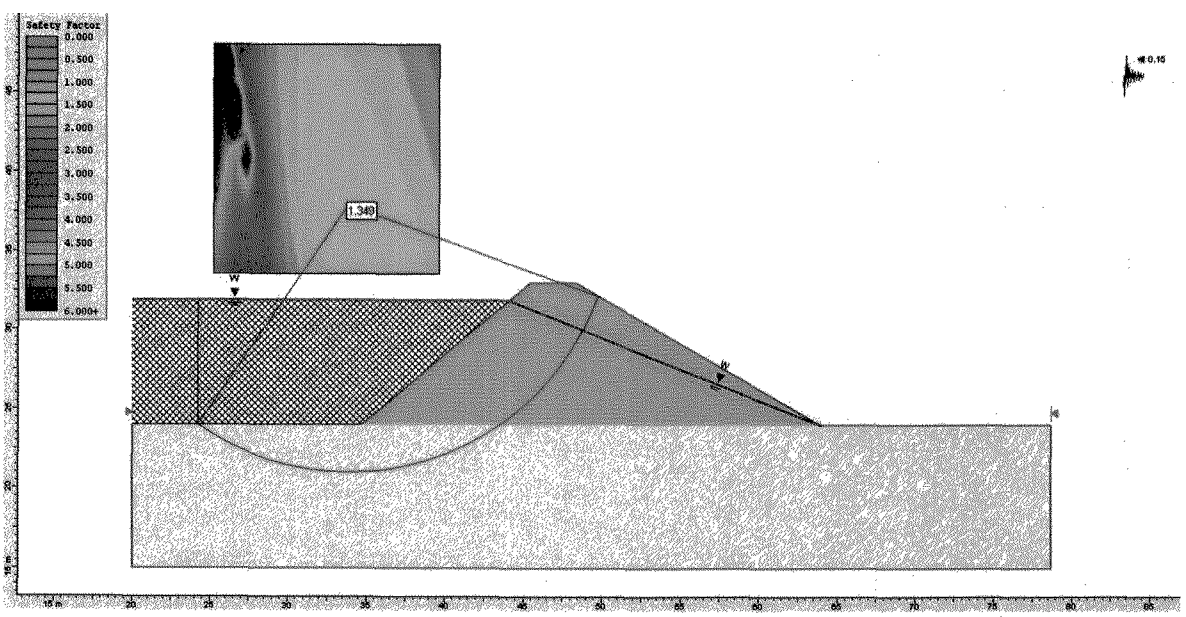


FIGURA 12.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

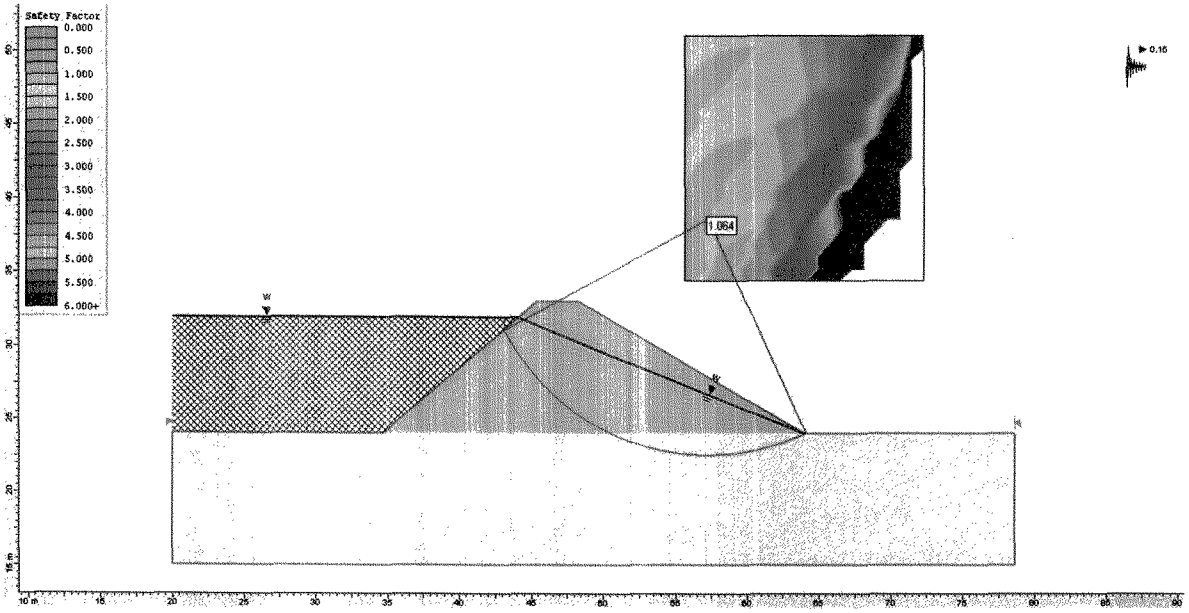


FIGURA 12.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

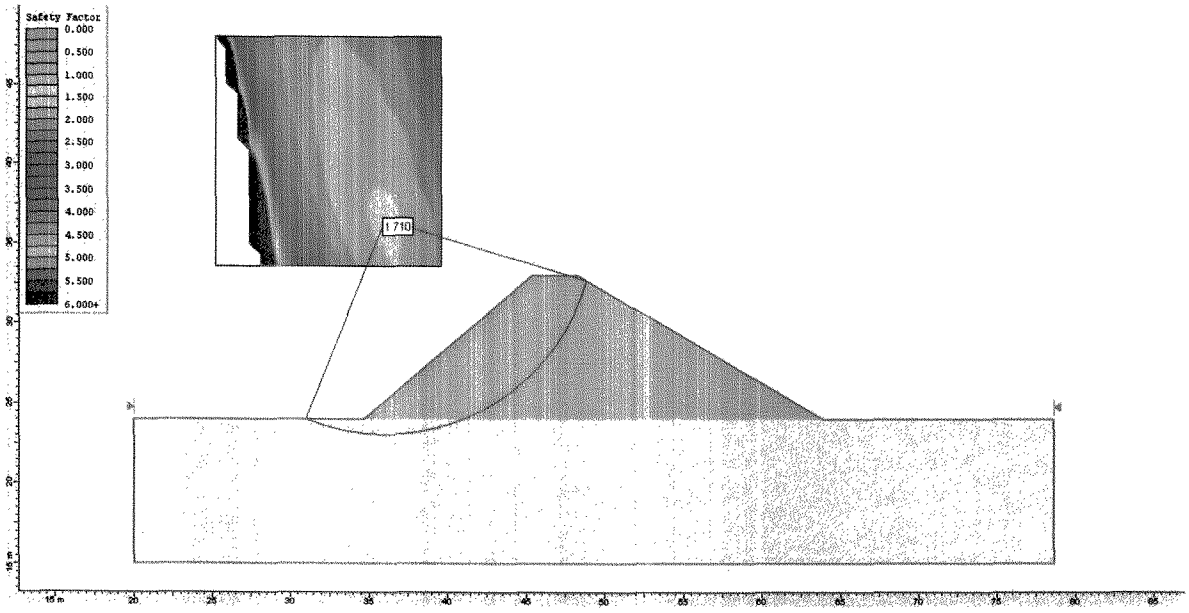


FIGURA 12.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

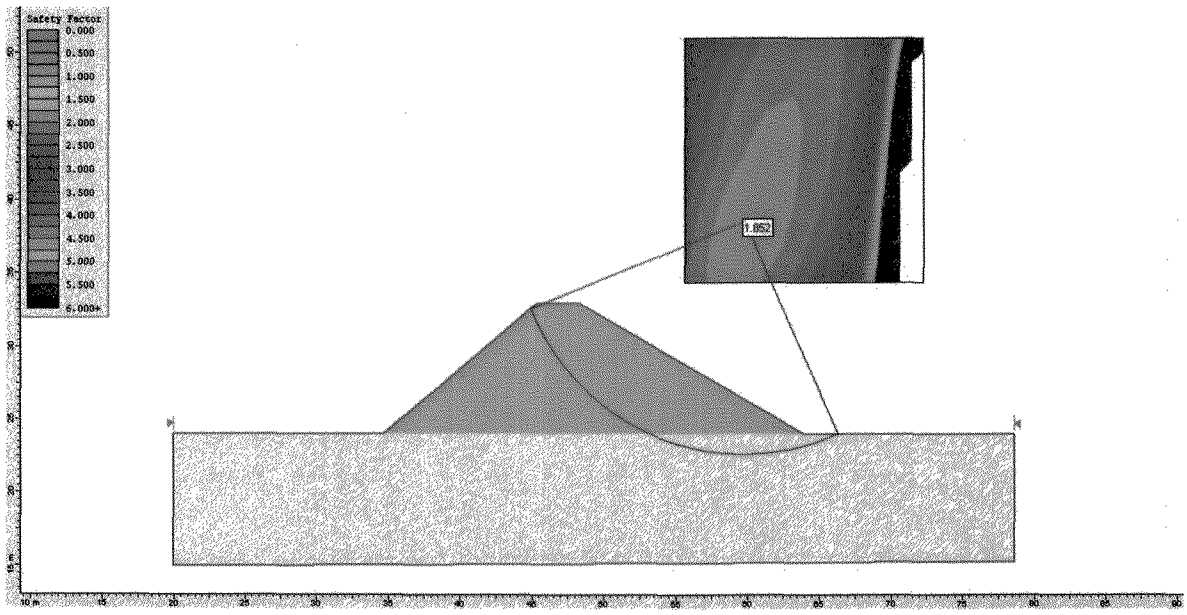


FIGURA 12.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

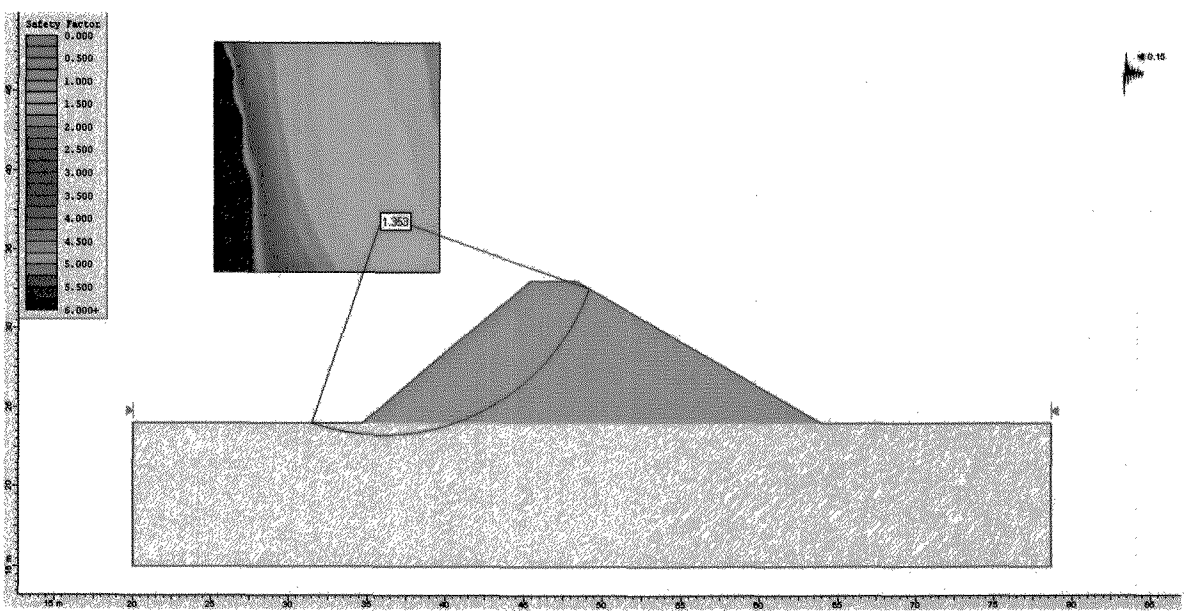
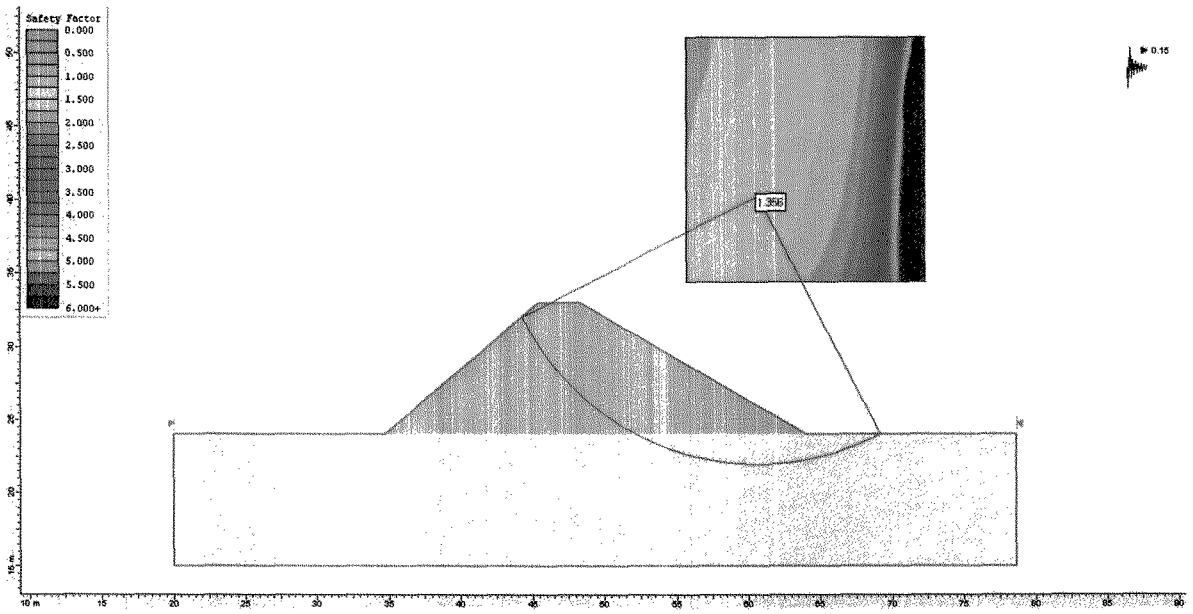


FIGURA 12.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 12.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
San Vicente	2,072	1,455	1,349	1,064

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
San Vicente	1,710	1,852	1,353	1,356

12.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***San Vicente***, se tiene:

Lh (m) =	29,3	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,8	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	7,9	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
SAN VICENTE	29,3	0	9,77	9,0	1,1	7,900	1,80	14,2	No

12.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse San Vicente.

SAN VICENTE
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	95	0,0590	0,0326
2	36	0,8090	0,6545	148	0,0920	0,0602
3	30	0,8660	0,7500	207	0,1286	0,0965
4	24	0,9135	0,8346	242	0,1504	0,1255
5	18	0,9511	0,9045	264	0,1640	0,1484
6	12	0,9781	0,9568	293	0,1821	0,1742
7	6	0,9945	0,9891	334	0,2075	0,2053
8	0	1,0000	1,0000	517	0,3212	0,3212
9	6	0,9945	0,9891	483	0,3001	0,2968
10	12	0,9781	0,9568	417	0,2591	0,2479
11	18	0,9511	0,9045	364	0,2262	0,2046
12	24	0,9135	0,8346	206	0,1280	0,1068
13	30	0,8660	0,7500	156	0,0969	0,0727
14	36	0,8090	0,6545	133	0,0826	0,0541
15	42	0,7431	0,5523	112	0,0696	0,0384
	Suma	**13,5109**			Suma	**2,1852**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,162 millas
F = 260,29 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,47	0,7526
Molitor	2,35	0,7161
Creager	0,98	0,2979
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **1,10 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

12.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

12.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

12.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**23,58**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,48	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**11,32**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	26,59	0,95	0,00	0
0,002	31,42	0,95	0,00	0
0,0010	35,07	0,95	0,00	0

12.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

12.7.4 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

12.7.5 Riesgo

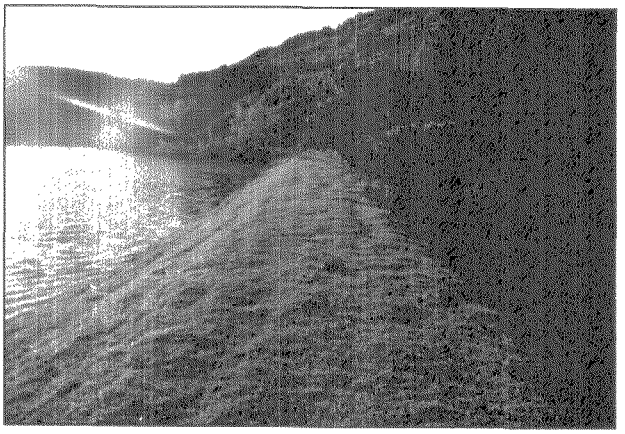
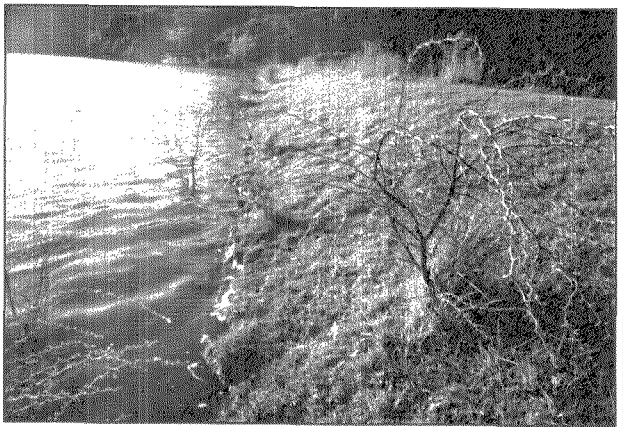
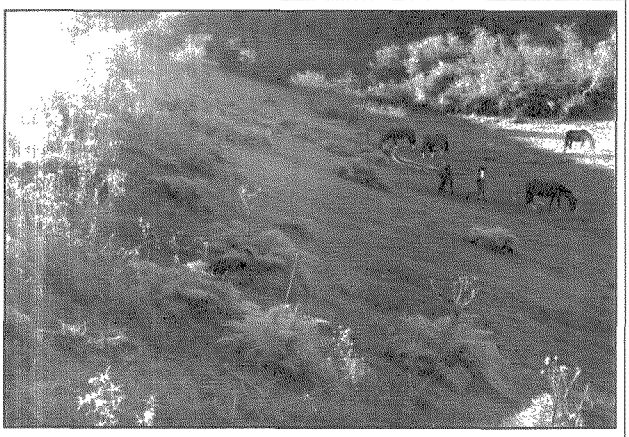
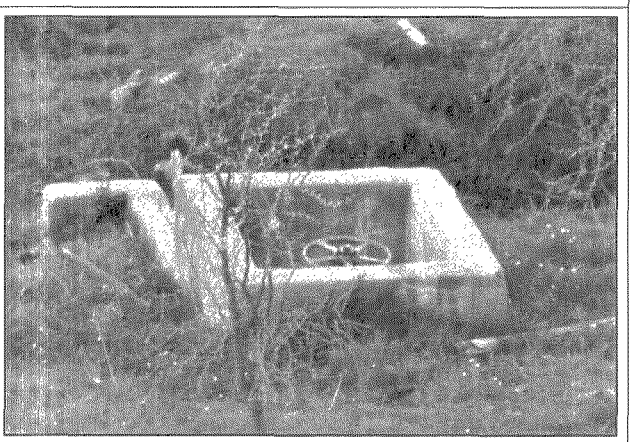
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	1,00

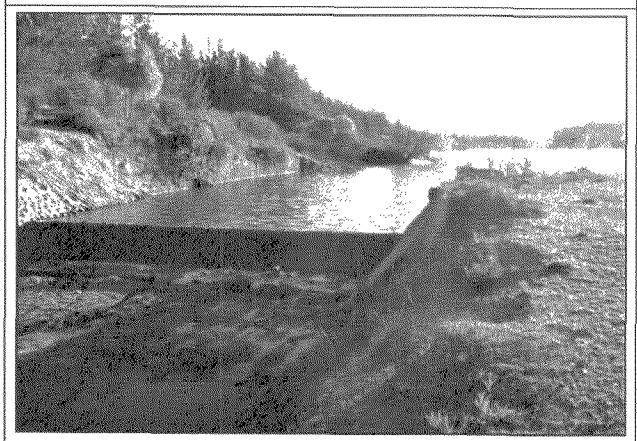
Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía.

12.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

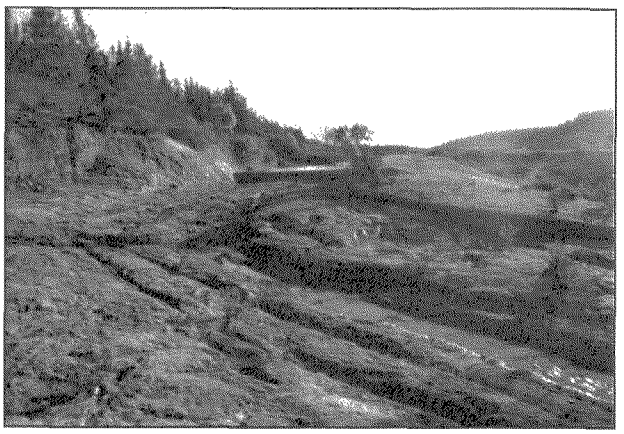
A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse San Vicente.

VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO	VISTA MURO
	
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA	VISTA TALUD AGUAS ABAJO
	
OBRA DE ENTREGA 1	OBRA DE ENTREGA 2
	

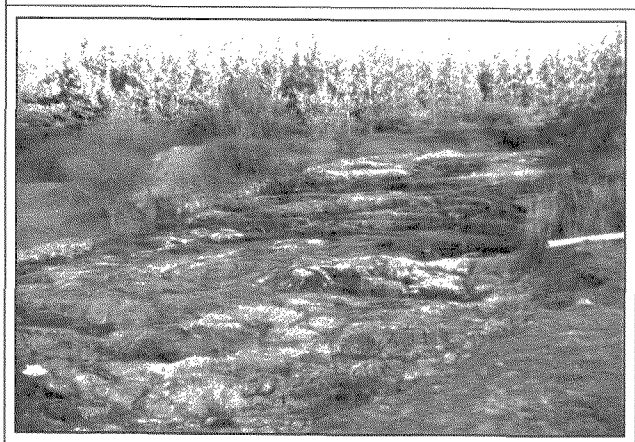
EVACUADOR DE CRECIDAS



QUEBRADA EVACUADOR DE CRECIDAS



VISTA QUEBRADA SALIDA EVACUADOR DE CRECIDAS



CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



SECTOR SATURADO



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	San Vicente
Propietario	Eduardo Doberti Quic
RUT Propietario	3.725.855-K
Año de construcción	1990
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	1999
Cuenca / Código DGA	Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Rapel
Fuente del recurso	Estero El Rosario

N° de ficha	12
Fecha (dd/mm/año)	07-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Litueche	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.224.125	E= 246.315
Coordenadas UTM Centro	N= 6.224.151	E= 246.263
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.224.190	E= 246.211
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 228 ; C = 229 ; EI = 229	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	104		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 3,0 ;	C = 3,0 ;	EI = 3,0
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	18,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1, 10		
Paramentos verticales	NO		
Con eclimetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 30° ;	C = 30° ;	EI = 30°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 39° ;	C = 40° ;	EI = 40°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	9,0
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	7,9
Área estimada o calculada de la poza (m2)	86.400
Ancho máximo de la poza (km)	0,18
Largo de la poza (km)	0,48
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,171

7. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.224.151 E= 246.263	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Areno Limosa

7. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometria actual	Regular
Compacidad del material estructural	Medio-Alto
Uniformidad de los taludes	Regular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se presentan 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	Se aprecia sector saturado (ver álbum fotográfico)
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se aprecian filtraciones en el talud de aguas abajo en el pie
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
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	Caída libre a quebrada (ver álbum fotográfico)
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	En buen estado, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Ancho: 12,0 mts; Alto: 2,5 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

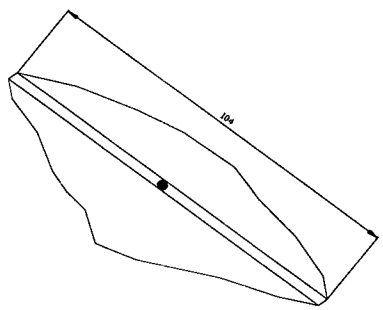
Tipo de estructura	2 cajones de hormigón. 1 ubicado entre el estribo derecho y el centro del tranque y el otro ubicado entre el centro del tranque y el estribo izquierdo, cada cajón con una válvula de entrega de volante con tuberías de 12,5 cms de diámetro. (ver álburn fotográfico)
Mediciones estructurales	Válvulas de entrega con tuberías de 12,5 cms de diámetro
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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, terreno de quebrada, pendiente media 1,1%, ancho medio cauce 3,0 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No hay centros poblados cercanos
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	No hay centros poblados cercanos
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	0,30 Km.
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,21 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	30 has.

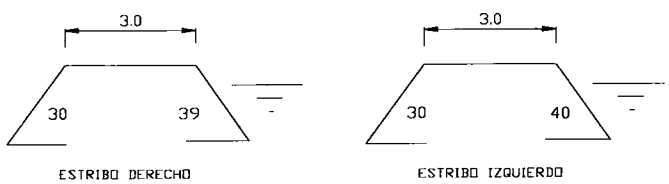
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

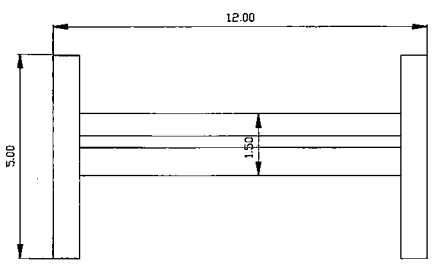


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

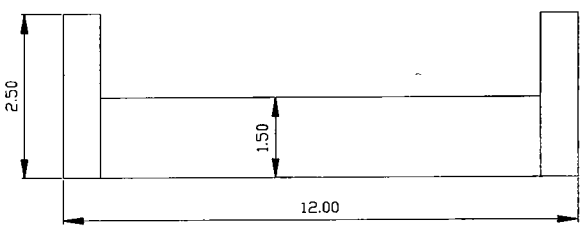
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



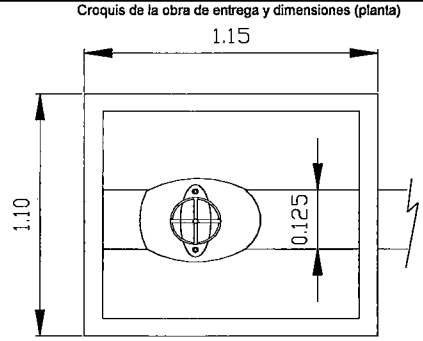
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



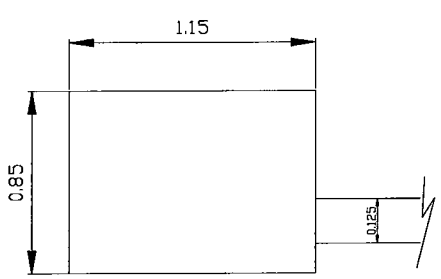
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

Trangue en muy buen estado

EMBALSE COCAUQUÉN O PAILIMO 1

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

13. EMBALSE COCAUQUEN O PAILIMO 1

13.1 Ubicación
13.2 Características Generales
13.3 Crecidas Afluentes al Embalse
- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

13.4 Análisis de Estabilidad
- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

13.5 Determinación de Filtraciones
13.6 Verificación del Oleaje
13.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
13.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

13. EMBALSE COCAUQUEN O PAILIMO 1

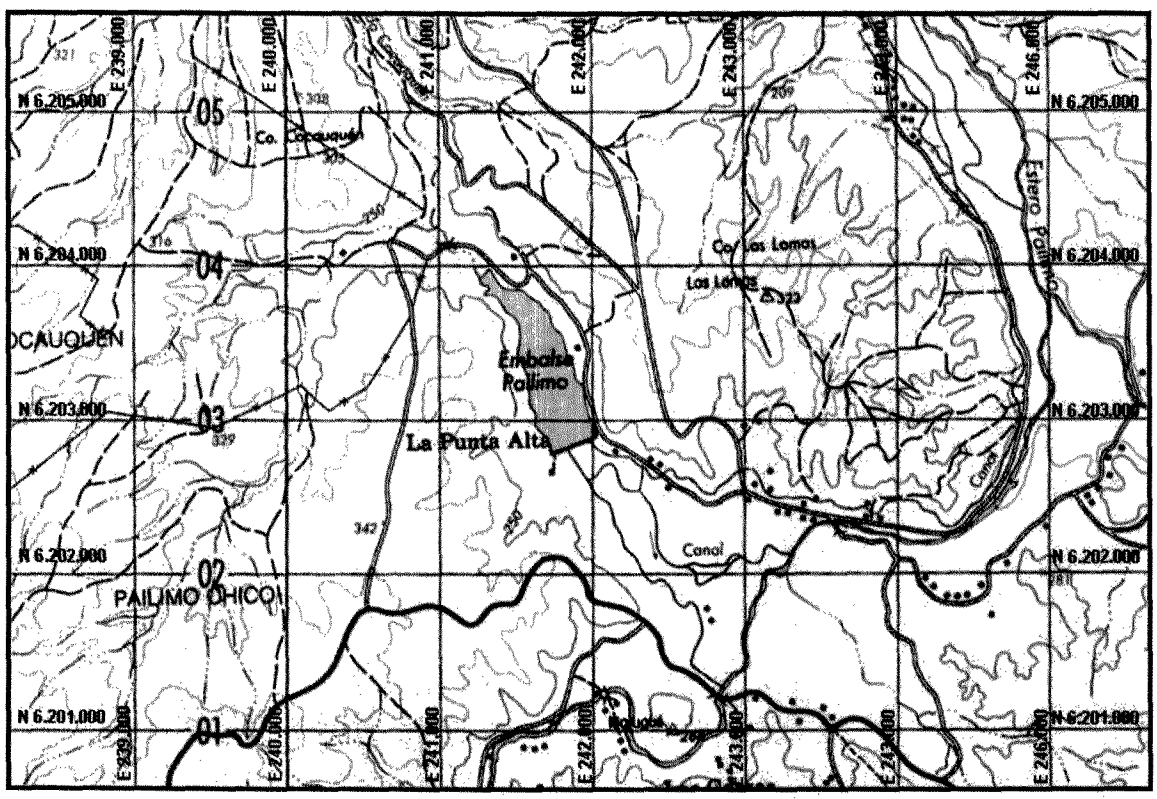
13.1 Ubicación

El embalse Cocauquén o Pailimo 1 se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.202.442 Norte y 241.686 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 225 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del estero quebrada Honda, subcuenca del estero Pailimo y la fuente corresponde al estero Cocauquén.

Se emplaza a 1,5 km del estero Las Garzas. Se puede acceder desde el cruce de la ruta I-50, que une San Fernando con Pichilemu, con la ruta I-170 al norte hasta poblado de Pailimo al poniente hasta cruce con ruta I-182 por 2 km hasta el embalse.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 13.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE COCAUQUÉN O PAILIMO 1



Fuente: Carta IGM

13.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a varios parceleros como bien común. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1890.

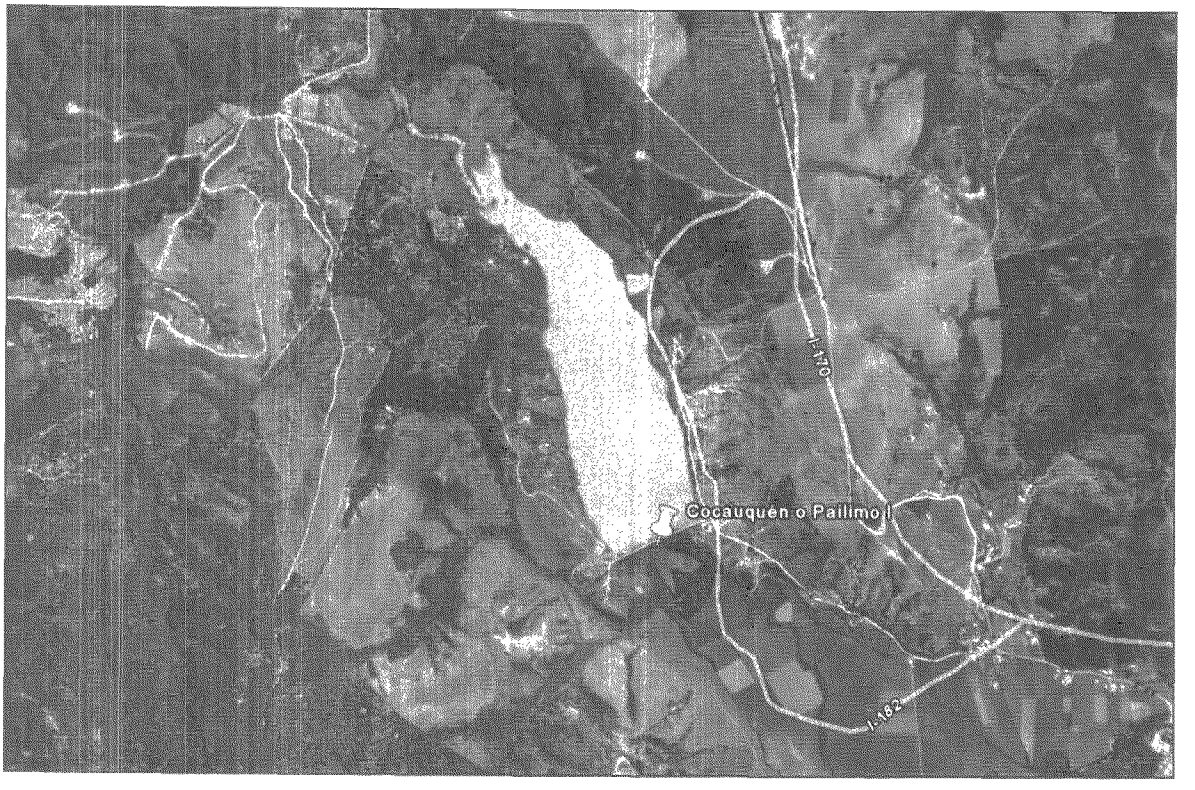
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 1,014 hm^3. La altura máxima del muro es de 10,5 m, con una longitud de coronamiento de 339 m y ancho promedio del coronamiento de 4,2 m y borde libre de 2,1 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=2,14:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,43:1.

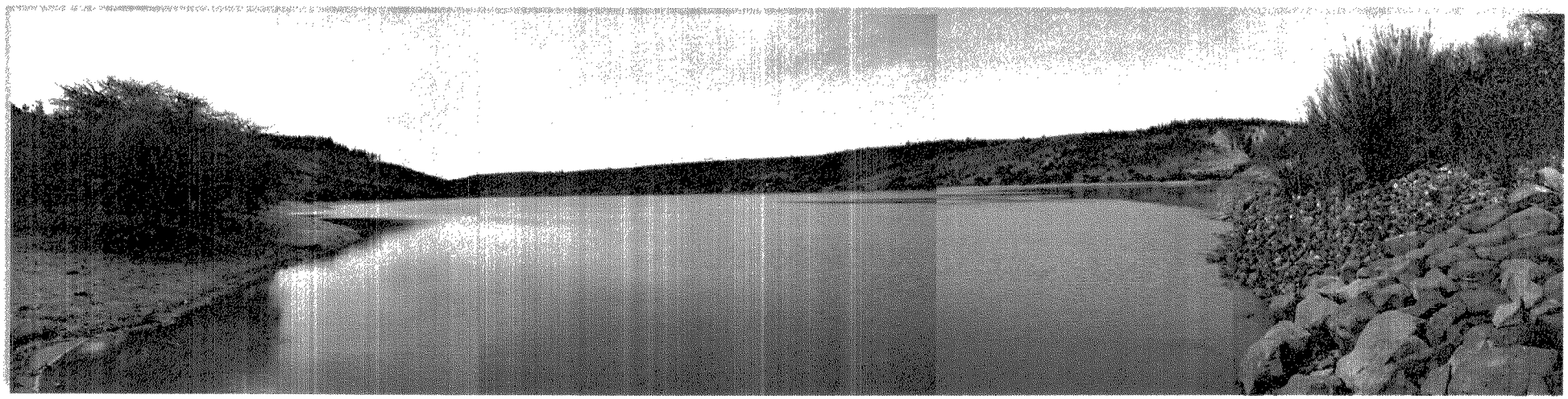
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal con una barrera de madera. El ancho es de 11,7 m y alto de 1,5 m. Estructura de hormigón con compuertas de madera. El agua sale a quebrada natural. En buen estado, operacional.

La ***obra de entrega*** corresponde a una tubería de acero de diámetro desconocido debido a que se encuentra bajo el agua, la que entrega el agua a cajón de hormigón con 2 compuertas, cada una de estas le entregan a canal en tierra de 1,5 m por 1,0 mts de profundidad. En la inspección realizada, no se pudo determinar si se encuentra operativo.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 13.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE COCAUQUÉN O PAILIMO 1





Vista panorámica Embalse Cocauquén (Pailimo 1)

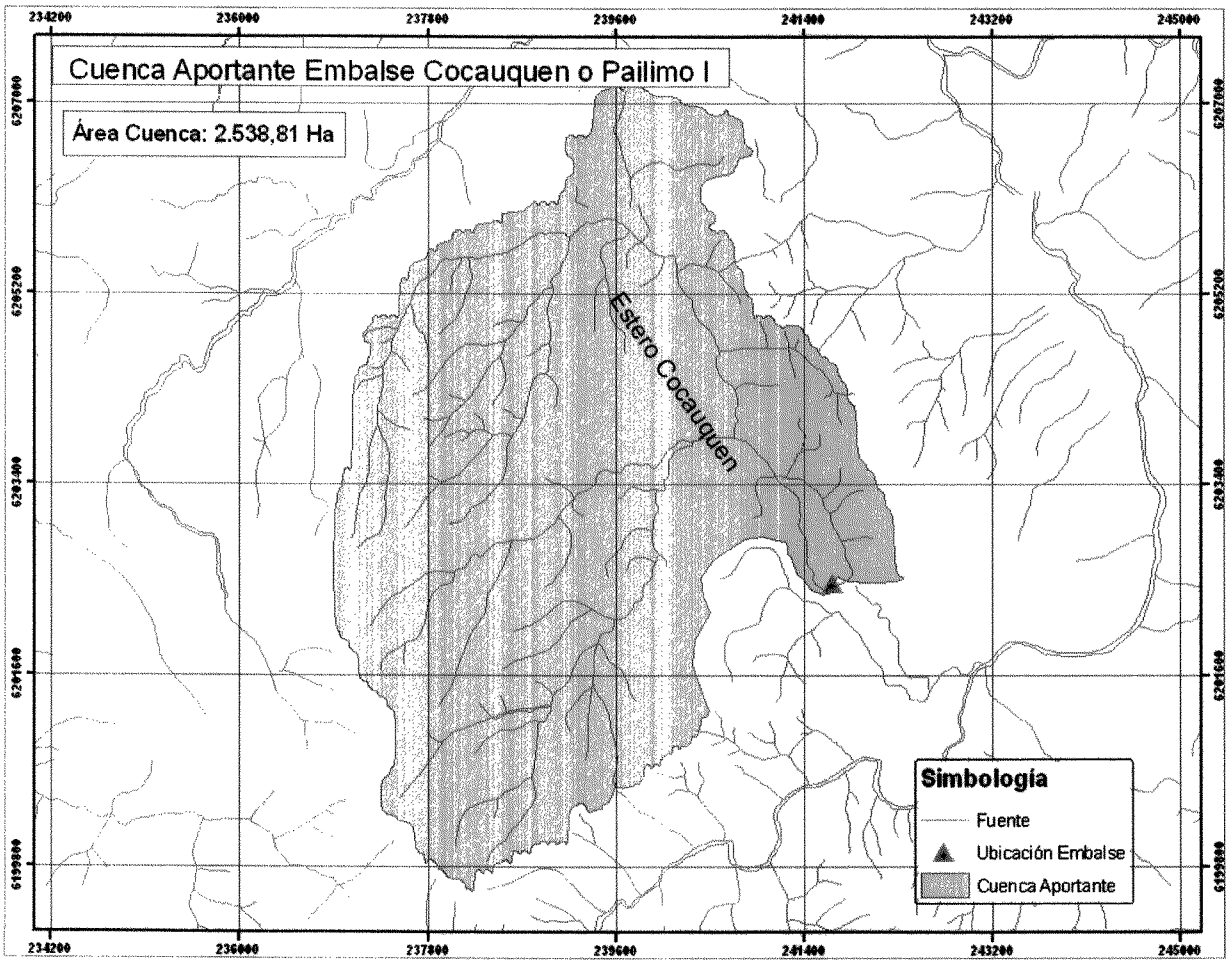
13.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Cocauquén (Pailimo 1) tiene como fuente al estero Cocauquén, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 25,39 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 13.3-1
CUENCA EMBALSE COCAUQUEN



CUADRO 13.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Cocauquén o Pailimo I
SUPERFICIE (ha)	Total	2.538,8
	Pluvial	2.538,8
PERÍMETRO (m)	Total	32.220,0
	Pluvial	32.220,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	513,5
	Mínima	227,3
	Diferencia	286,1
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	12,1
	Cauce	13,7
LONGITUD CAUCE (km)	Total	7,86
	Desde centro de gravedad	3,93
CENTROIDE CUENCA	UTM E	239.624
	UTM N	6.203.860
	Altura (msnm)	271,2
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	239.795
	UTM N	6.202.545
	Altura (msnm)	304
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Cocauquén	1,17	6,03	0,07	0,86	0,86

➢ **Precipitaciones Máximas**

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Cocauquén	Rapel	0,136	100	Nilahue

➢ **Caudales de Crecidas**

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Cocauquén	T=2	0,47	Nilahue	0,6	9,2	9,3	35,2
	T=5	0,60	Nilahue	0,8	12,6	13,8	62,0
	T=11	0,68	Nilahue	1,0	14,8	24,3	82,3
	T=15	0,73	Nilahue	1,1	16,1	29,1	96,7
	T=20	0,77	Nilahue	1,2	17,2	33,1	108,3
	T=25	0,80	Nilahue	1,2	17,8	35,9	116,4
	T=50	0,87	Nilahue	1,4	20,2	45,7	143,6
	T=100	1	Nilahue	1,5	22,6	60,3	184,6

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \cdot (Ap)^{0,915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1.19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Cocauquén	3,82	9,66	13,05	14,93	16,83	18,14	22,44	27,40

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Cocauquén	64,66	76,67	85,75

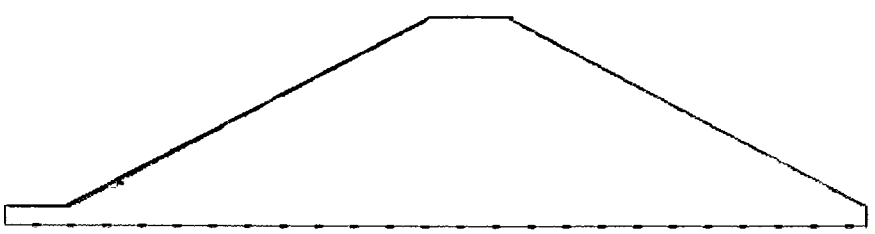
13.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arena arcillosa con algunas gravas, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	12,62 m
Ancho coronamiento	4,2 m
Borde libre	2,1 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 2,14 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,43 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 13.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 25°	2,2	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 13.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

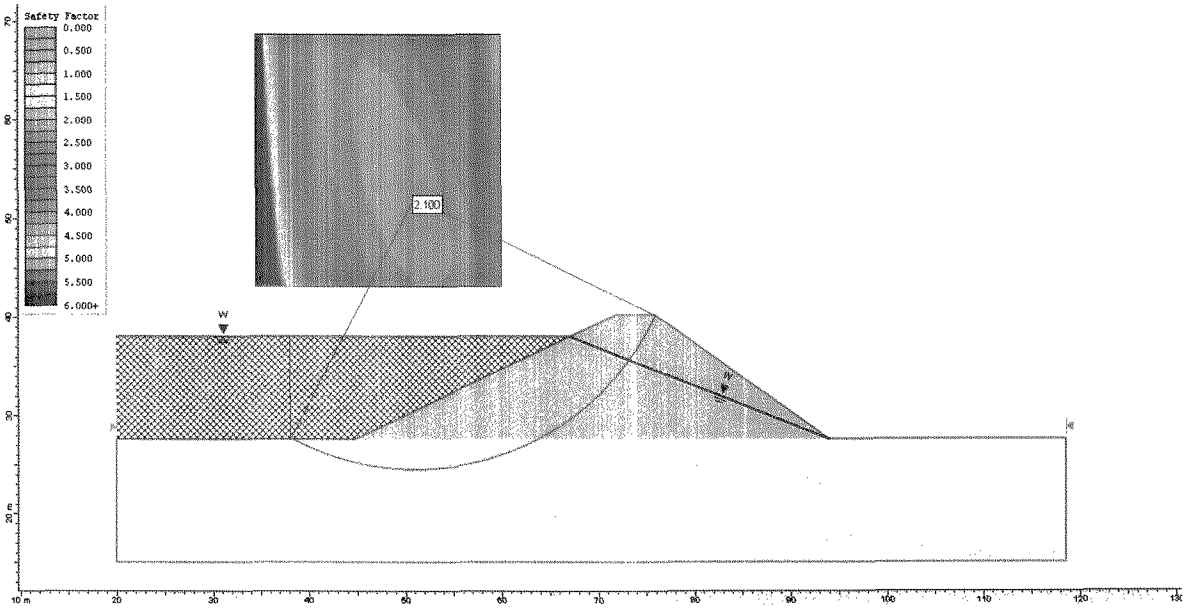


FIGURA 13.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

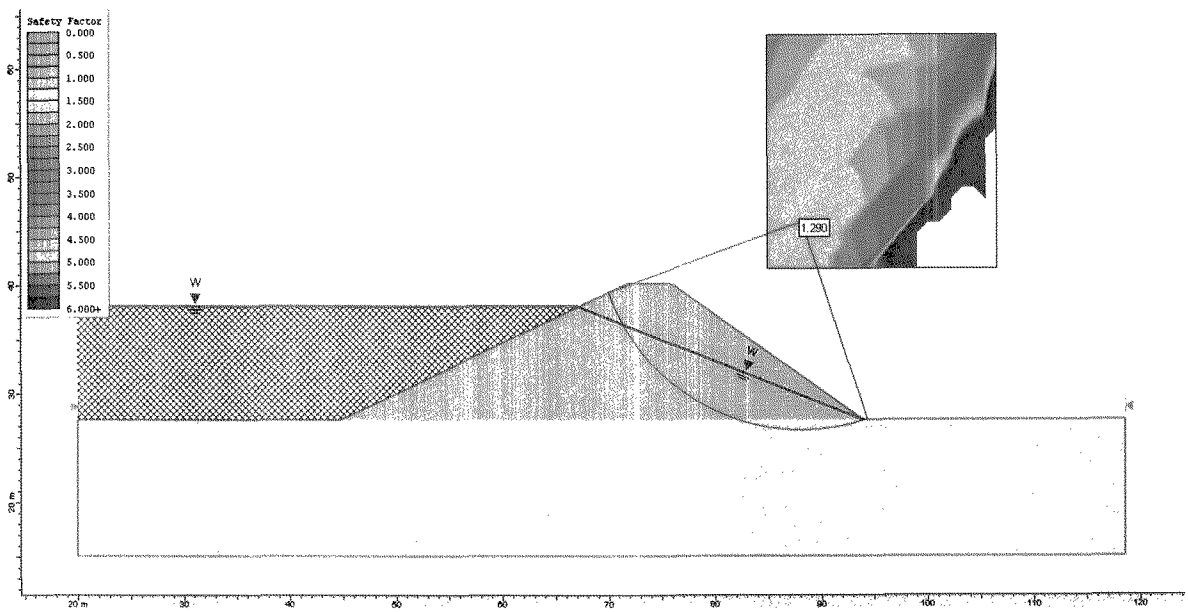


FIGURA 13.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

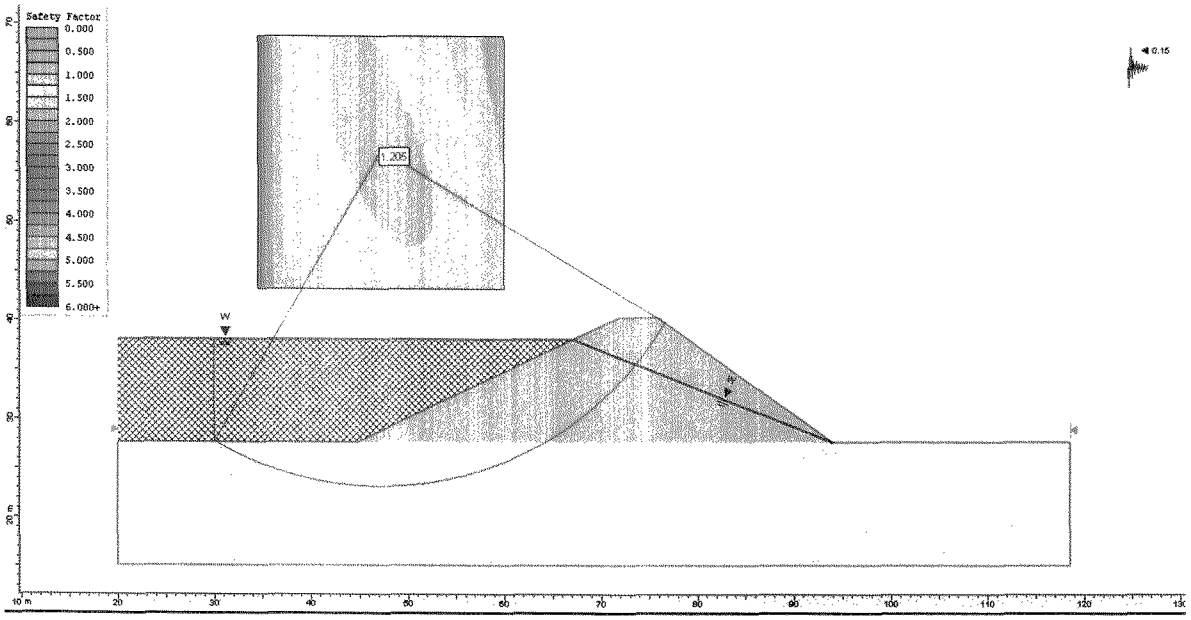


FIGURA 13.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

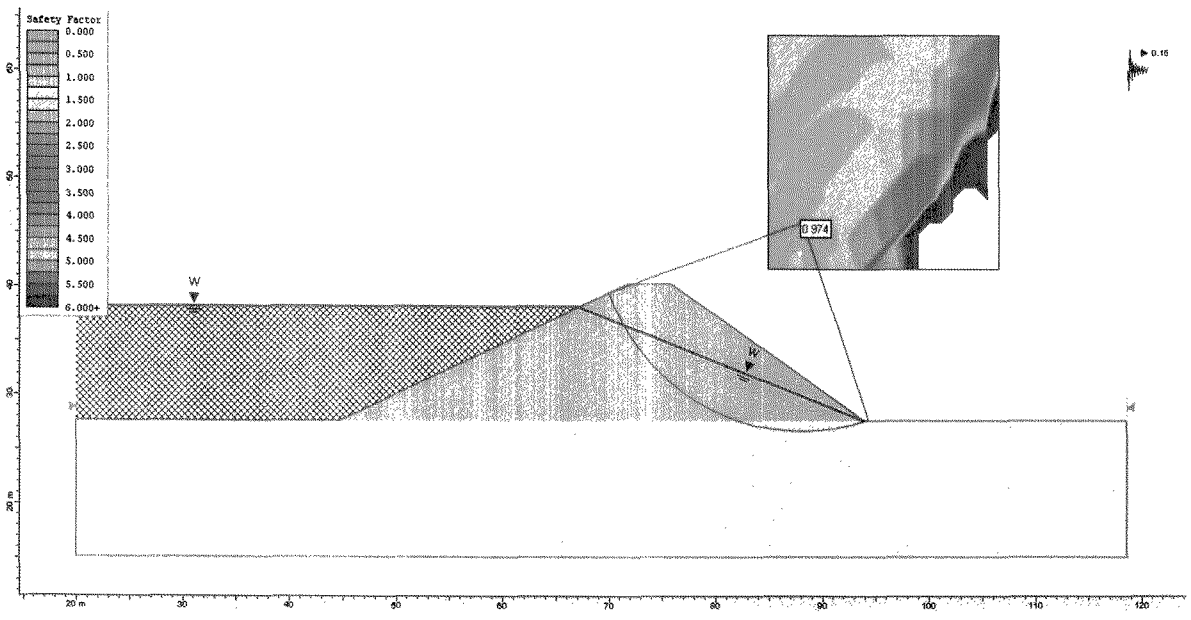


FIGURA 13.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

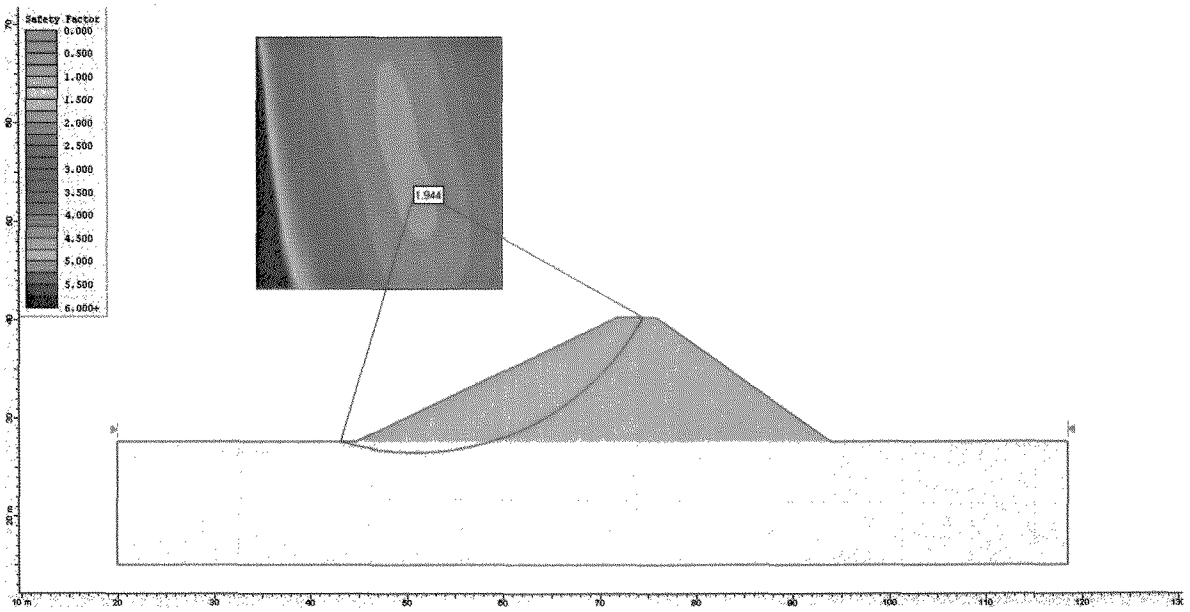


FIGURA 13.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

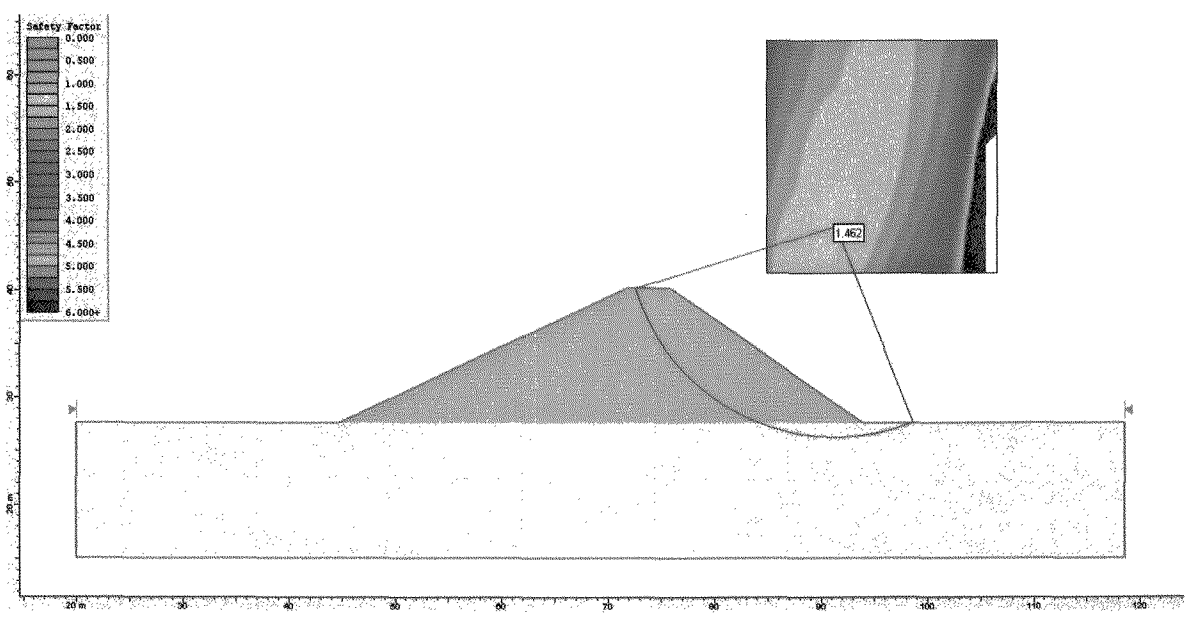


FIGURA 13.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

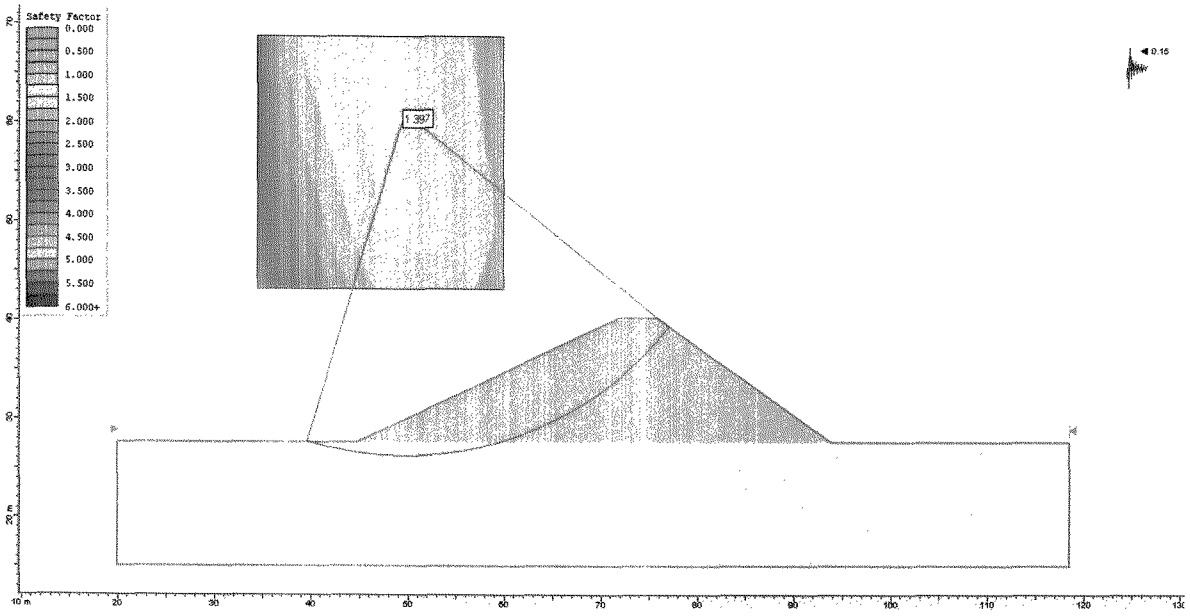
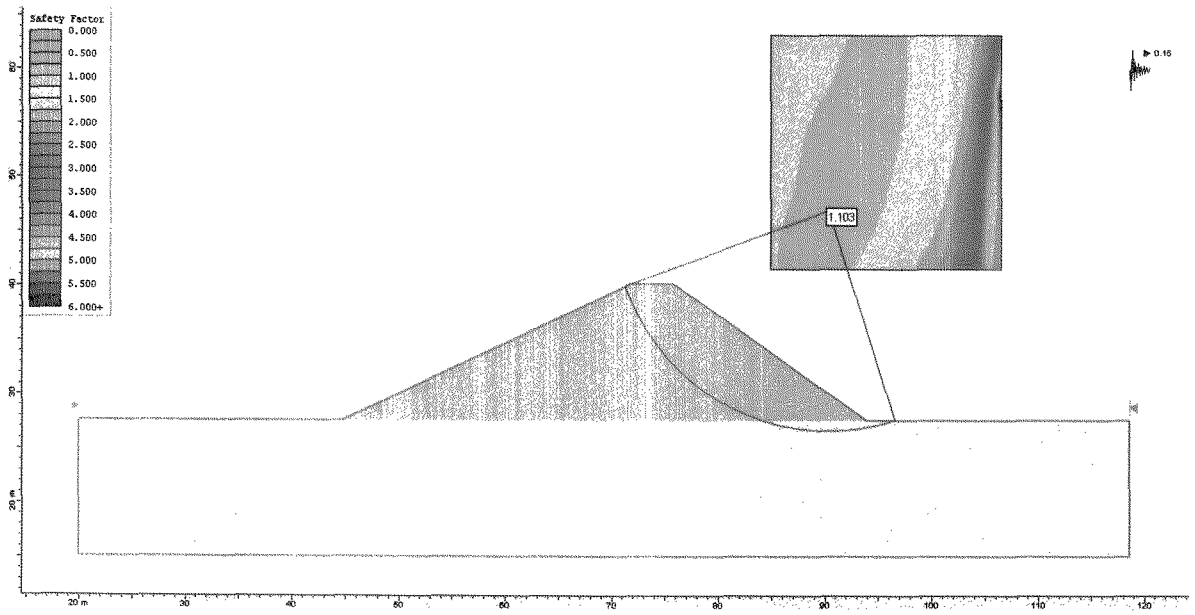


FIGURA 13.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 13.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Cocauquén	2,100	1,290	1,205	0,974

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Cocauquén	1,944	1,462	1,397	1,103

13.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Cocauquén o Pailimo I***, se tiene:

Lh (m) =	49,3	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,9	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	10,52	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
COCAUQUÉN	49,3	0	16,43	12,6	2,1	10,519	1,90	20,0	No

13.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Cocauquén (Pailimo I).

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **2,10 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

COCAUQUEN (PAILIMO 1)
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	266	0,1653	0,0913
2	36	0,8090	0,6545	335	0,2082	0,1362
3	30	0,8660	0,7500	378	0,2349	0,1762
4	24	0,9135	0,8346	522	0,3244	0,2707
5	18	0,9511	0,9045	726	0,4511	0,4080
6	12	0,9781	0,9568	942	0,5853	0,5600
7	6	0,9945	0,9891	1061	0,6593	0,6521
8	0	1,0000	1,0000	1367	0,8494	0,8494
9	6	0,9945	0,9891	760	0,4722	0,4671
10	12	0,9781	0,9568	560	0,3480	0,3329
11	18	0,9511	0,9045	450	0,2796	0,2529
12	24	0,9135	0,8346	406	0,2523	0,2105
13	30	0,8660	0,7500	346	0,2150	0,1612
14	36	0,8090	0,6545	314	0,1951	0,1277
15	42	0,7431	0,5523	284	0,1765	0,0975
	Suma	**13,5109**			Suma	**4,7938**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,355 millas
F = 571,01 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,62	0,7991
Molitor	2,44	0,7450
Creager	1,31	0,3983
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

13.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

13.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	0,3
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	

13.7.2 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 evacuación: **25,18** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,42 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **10,58** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	64,66	0,95	0,00	0
0,002	76,67	0,95	0,00	0
0,0010	85,75	0,95	0,00	0

13.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

13.7.4 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	0,5
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

13.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

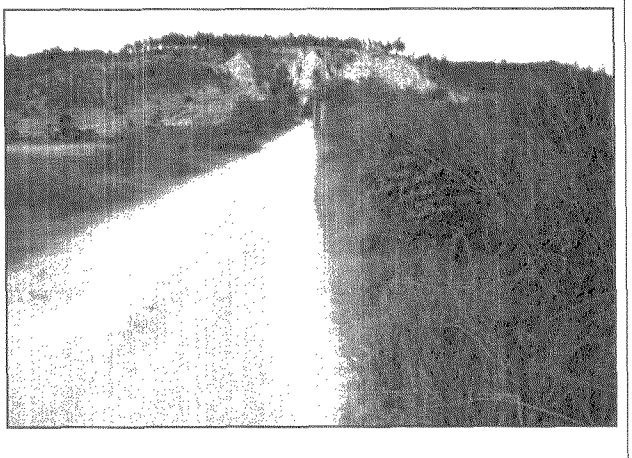
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	1,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

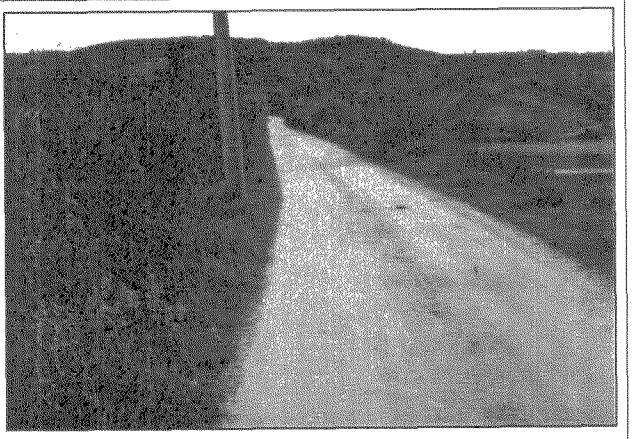
13.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Cocauquén o Pailimo I.

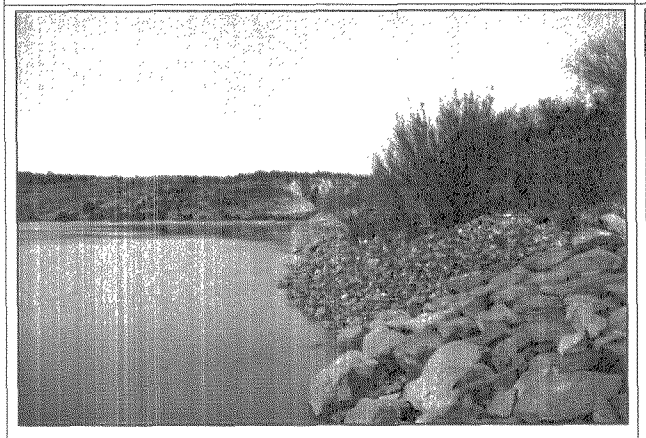
VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO



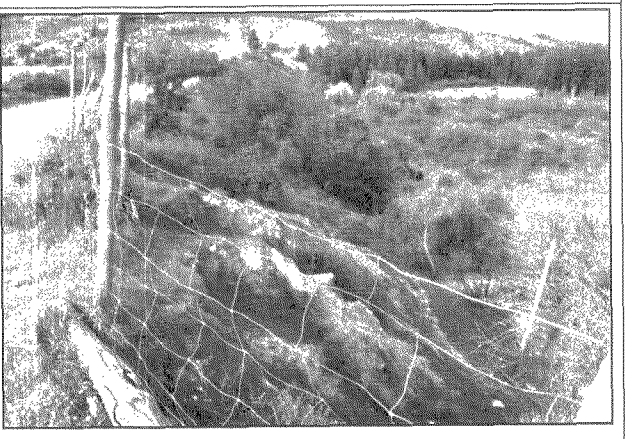
VISTA MURO DESDE ESTRIBO IZQUIERDO



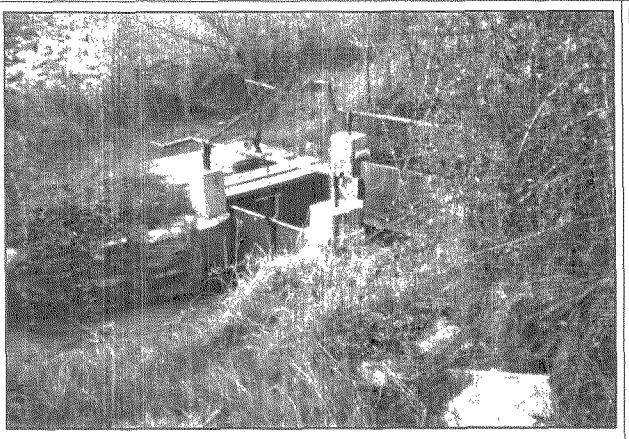
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA



VISTA TALUD AGUAS ABAJO, CÁRCAVAS EN EL ESTRIBO DERECHO



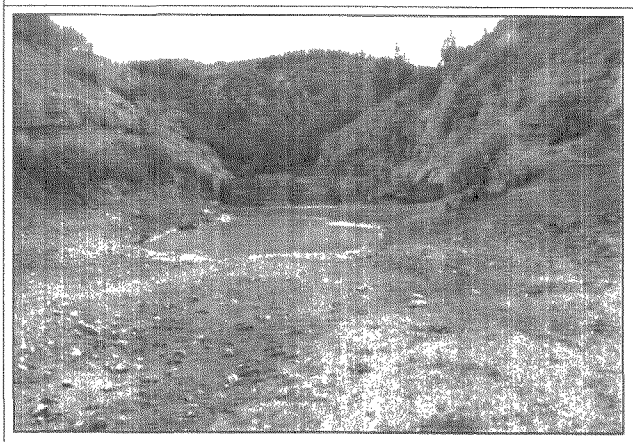
OBRA DE ENTREGA



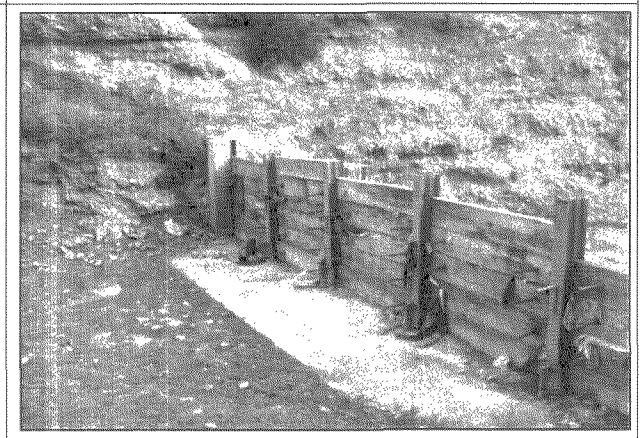
OBRA DE ENTREGA



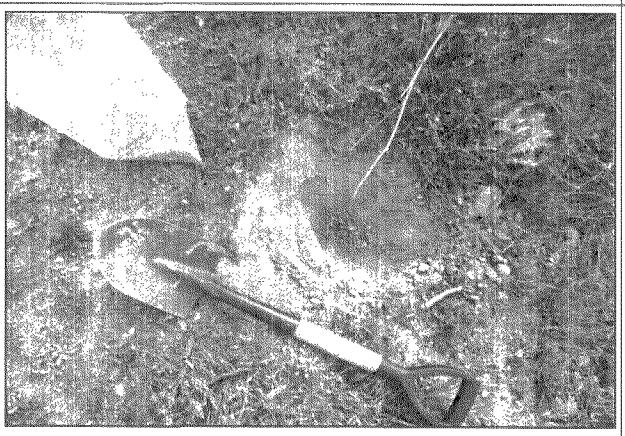
EVACUADOR DE CRECIDAS



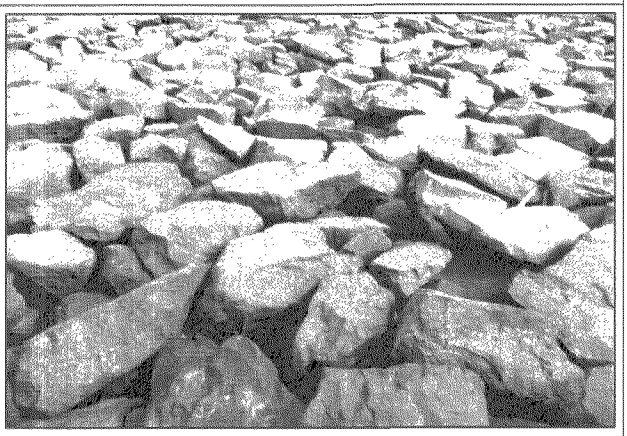
EVACUADOR DE CRECIDAS



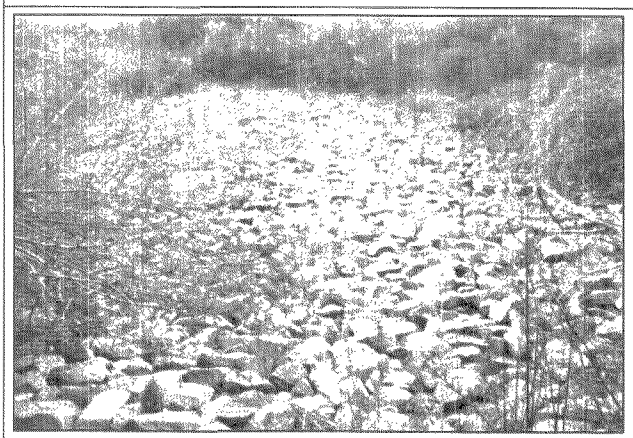
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



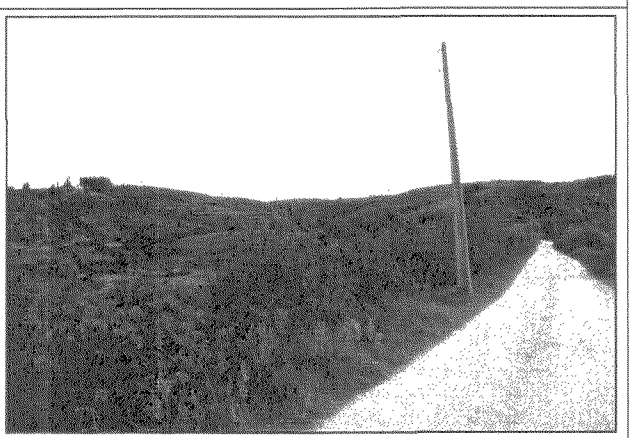
DETALLE ENROCADO



ENROCADO EN OBRA DE ENTREGA



VISTA DEL MURO QUE INDICA QUE ES EL CAMINO PRINCIPAL



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Embalse Cocauquén o Pailimo 1
Propietario	Bien Común
RUT Propietario	En Tramite
Año de construcción	1910 (ver observación)
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	1993
Cuenca / Código DGA	Estero Quebrada Honda
Subcuenca / Código DGA	Estero Pailimo
Fuente del recurso	Estero Cocauquen

N° de ficha	13
Fecha (dd/mm/año)	06-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.202.370	E= 241.552
Coordenadas UTM Centro	N= 6.202.442	E= 241.686
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.202.523	E= 241.682
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 225 ; C = 225 ; EI = 227	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	339		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 4,20 ;	C = 4,20;	EI = 4,20
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	22,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	2,1		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 35° ;	C = 35° ;	EI = 35°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 25° ;	C = 25° ;	EI = 25°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	12,6
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	10,5
Área estimada o calculada de la poza (m2)	386.400
Ancho máximo de la poza (km)	0,28
Largo de la poza (km)	1,38
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	1,014

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.202.442 E= 241.686	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arena Arcillosa con Algunas Gravas

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Medianamente regular
Compacidad del material estructural	Alto
Uniformidad de los taludes	Talud aguas arriba regular. Talud aguas abajo irregular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se aprecian depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles, solo cárcavas en el talud aguas abajo, desde el estribo derecho hasta el metro 18 (ver álbum fotográfico)
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	No se aprecian filtraciones
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada. El talud aguas arriba esta cubierto por enrocado de protección (ver álbum fotográfico)

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
Vertederos libres, sin control	
Vertederos controlados por compuertas	X

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	Vertedero de caída libre de estructura de hormigón con compuertas de madera. El agua sale a quebrada natural
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

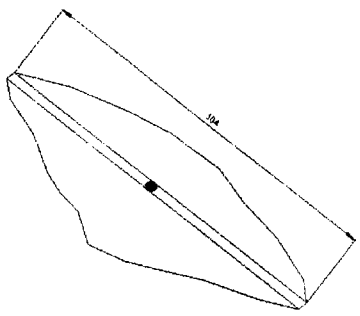
Tipo de estructura	Tubería de acero de diámetro desconocido debido a que se encuentra bajo el agua, la que entrega el agua a cajón de hormigón con 2 compuertas, cada una de estas le entregan a canal en tierra de 1,5 mts por 1,0 mts de profundidad
Mediciones estructurales	
Funcionamiento actual	

10. CARACTERIZACION 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, terrenos agrícolas, pendiente media 1,4%, ancho medio cauce 5 mts
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	2,14 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	1,70 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacentes
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,70 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	60 ha

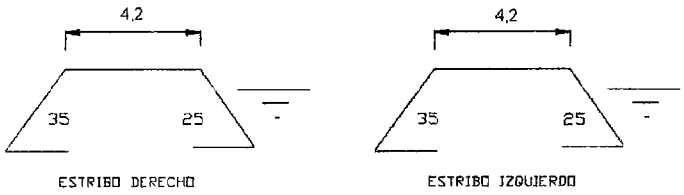
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

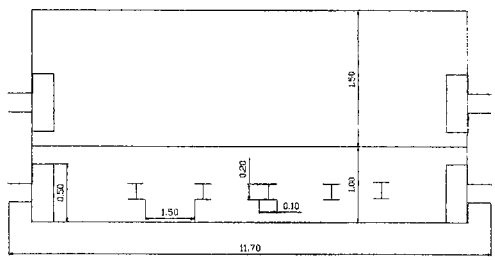


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

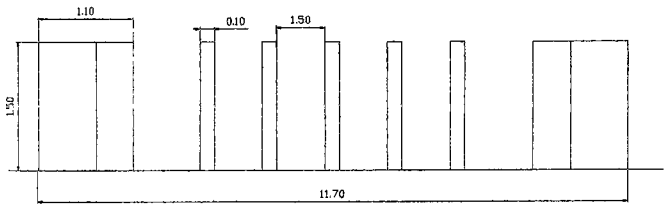
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El talud aguas arriba presenta bastante vegetación arbustiva y arbórea

El coronamiento del muro es el camino principal

EMBALSE PIEDRAS BLANCAS O PAILIMO 2

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

14. EMBALSE PIEDRAS BLANCAS O PAILIMO 2

14.1 Ubicación
14.2 Características Generales
14.3 Crecidas Afluentes al Embalse
- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

14.4 Análisis de Estabilidad
- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

14.5 Determinación de Filtraciones
14.6 Verificación del Oleaje
14.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
14.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

14. EMBALSE PIEDRAS BLANCAS O PAILIMO 2

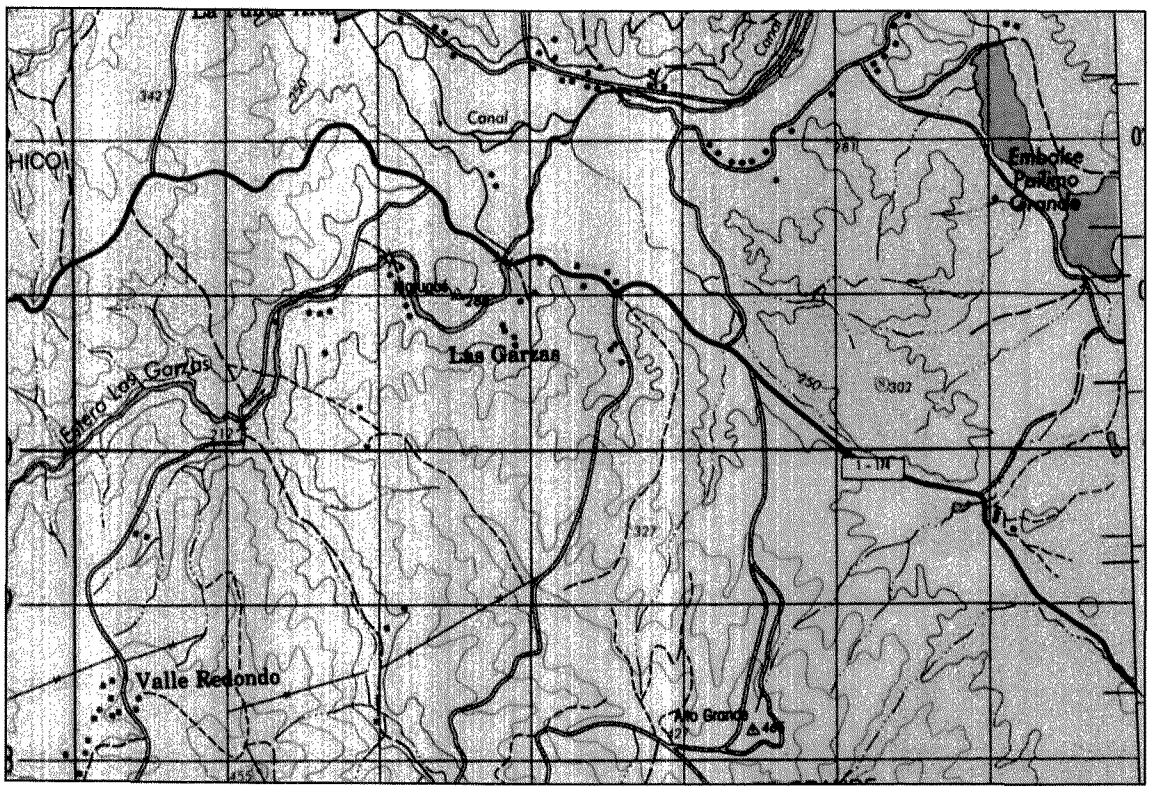
14.1 Ubicación

El embalse Piedras Blancas o Pailimo 2 se ubica en el límite de las comunas de Marchigue y la Estrella, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.202.292 Norte y 245.859 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 202 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del estero quebrada Honda, subcuenca del estero Pailimo y la fuente corresponde al estero Piedras Blancas.

Se puede acceder al sitio de emplazamiento desde el cruce de la ruta I-50, que une San Fernando con Pichilemu, con la ruta I-170 al norte hasta cruce con ruta I-172 hasta el embalse.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 14.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE PIEDRAS BLANCAS O PAILIMO 2



Fuente: Carta IGM

14.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a varios parceleros como bien común. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1890.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 0,796 hm^3. La altura máxima del muro es de 7,4 m, con una longitud de coronamiento de 172 m (muro principal, muro 2) y ancho promedio del coronamiento de 3,4 m y borde libre de 1,7 m. Los taludes de los muros son:

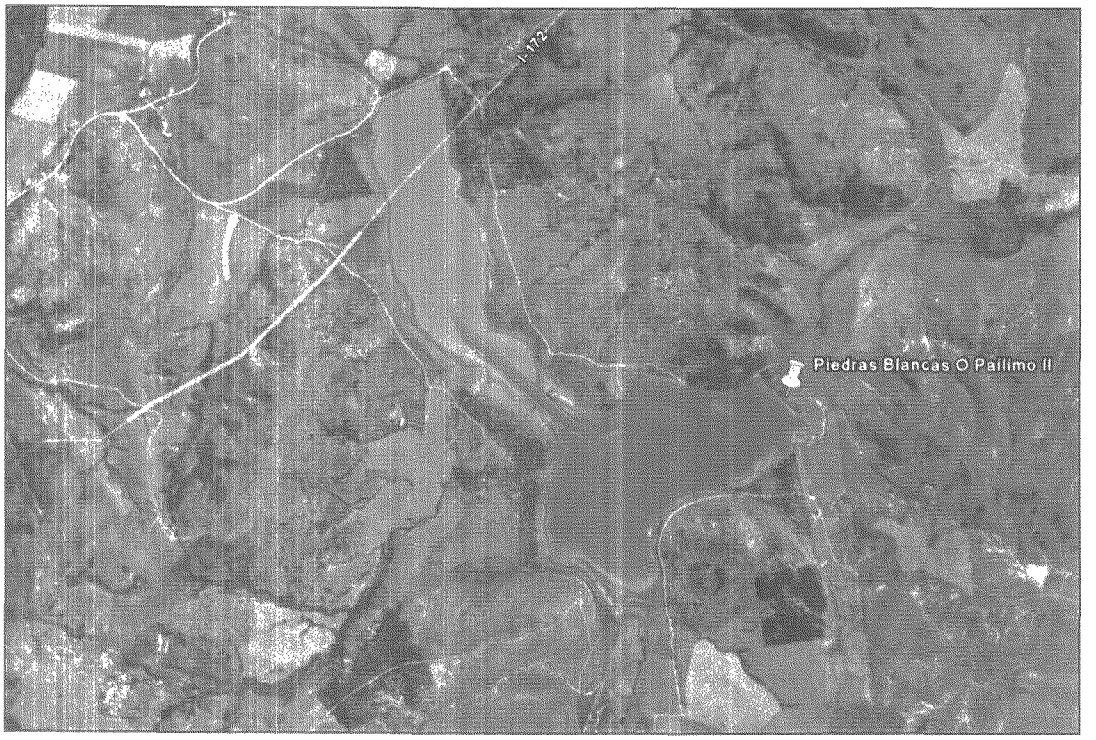
	MURO 1	MURO 2
Talud Aguas Arriba H:V	1,33:1	1,00:1
Talud Aguas Abajo H:V	1,38:1	1,11:1

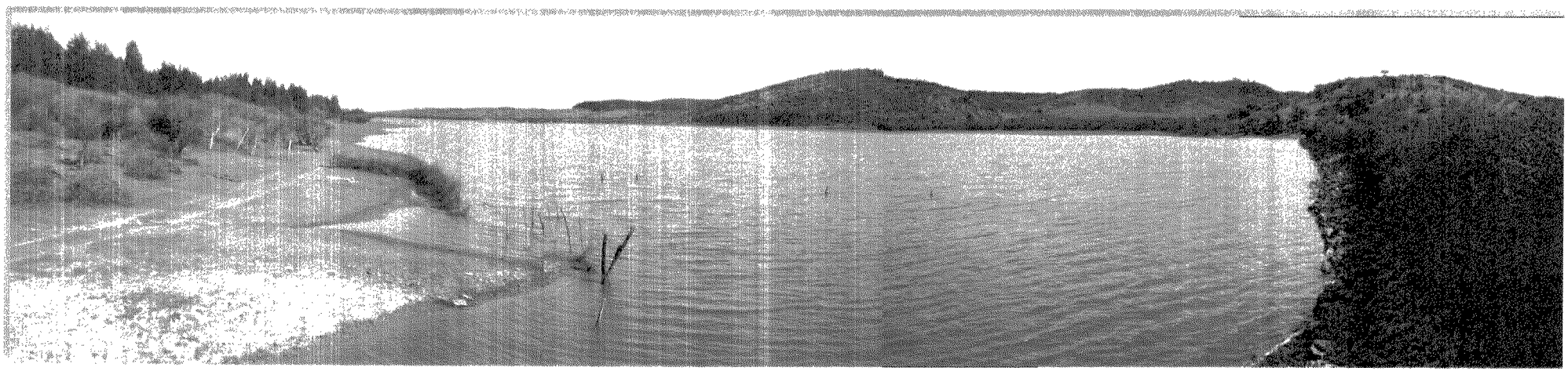
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal de caída libre, con compuertas de madera de 3,9 m de ancho. En buen estado de conservación, operativo.

La ***obra de entrega*** corresponde a una torre de hormigón controlada por compuerta que mediante una válvula de volante entrega a quebrada. Ancho 1,5 m y Alto: 15,0 m. Se encuentra operativa.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 14.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE PIEDRAS BLANCAS O PAILIMO 2





Vista panorámica Embalse Piedras Blancas (Pailimo 2)

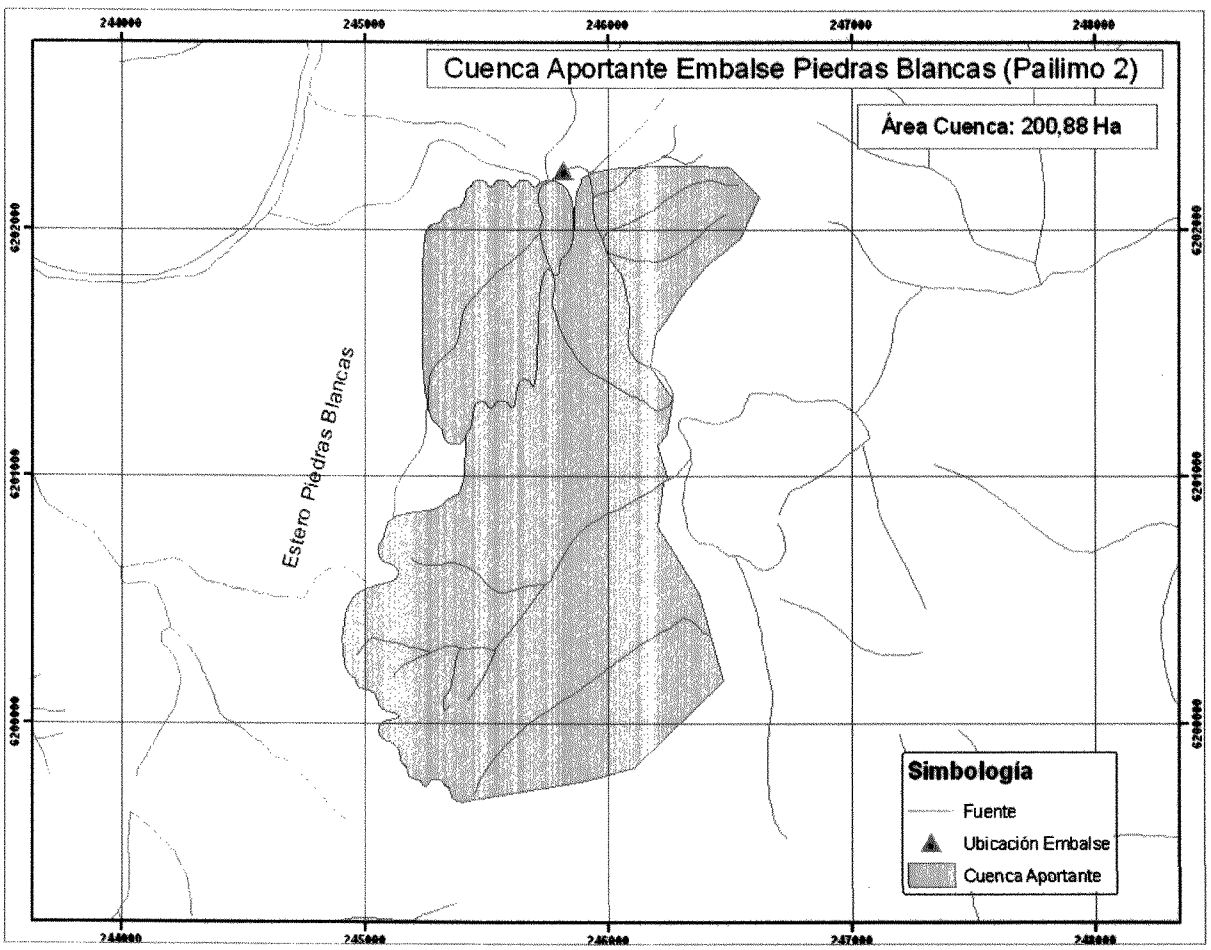
14.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Piedras Blancas (Pailimo 2) tiene como fuente al estero Piedras Blancas, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 2,01 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 14.3-1
CUENCA EMBALSE PIEDRAS BLANCAS



CUADRO 14.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Piedras Blancas o Pailimo 2
SUPERFICIE (ha)	Total	200,9
	Pluvial	200,9
PERÍMETRO (m)	Total	10.380,0
	Pluvial	10.380,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	311,4
	Mínima	211,0
	Diferencia	100,4
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	12,7
	Cauce	10,6
LONGITUD CAUCE (km)	Total	1,86
	Desde centro de gravedad	0,93
CENTROIDE CUENCA	UTM E	245.834
	UTM N	6.201.310
	Altura (msnm)	226,5
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	245.850
	UTM N	6.200.977
	Altura (msnm)	221
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Piedras Blancas o Palimo 2	0,33	2,69	0,02	0,31	0,31

➢ **Precipitaciones Máximas**

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Piedras Blancas o Paliimo 2	Rapel	0,072	100	Nilahue

➢ **Caudales de Crecidas**

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/hr)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Piedras Blancas o Palimo 2	T=2	0,47	Nilahue	0,6	4,8	1,0	4,1
	T=5	0,60	Nilahue	0,8	6,7	1,5	7,3
	T=11	0,68	Nilahue	1,0	7,8	2,6	9,6
	T=15	0,73	Nilahue	1,1	8,5	3,1	11,3
	T=20	0,77	Nilahue	1,2	9,1	3,6	12,7
	T=25	0,80	Nilahue	1,2	9,4	3,9	13,6
	T=50	0,87	Nilahue	1,4	10,6	4,9	16,8
	T=100	1	Nilahue	1,5	11,9	6,5	21,6

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \cdot (Ap)^{0,915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Piedras Blancas o Palimo 2	0,37	1,35	1,82	2,09	2,35	2,53	3,13	3,83

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Piedras Blancas o Pailimo 2	6,94	8,23	9,20

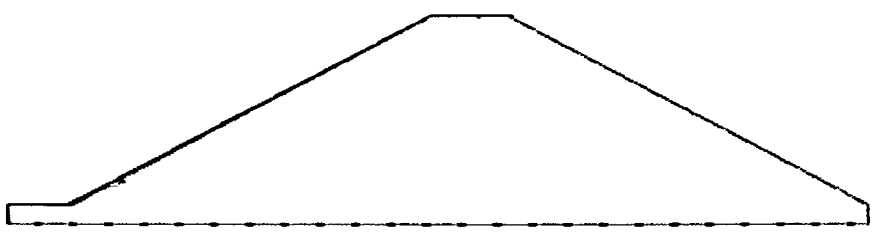
14.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

MURO 1

Altura:	3,5 m
Ancho coronamiento	4,8 m
Borde libre	0,6 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,33 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,38 : 1

MURO 2

Altura:	7,4 m
Ancho coronamiento	3,4 m
Borde libre	1,7 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,00 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,11 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 14.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 22°	2,2	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 14.4-1
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

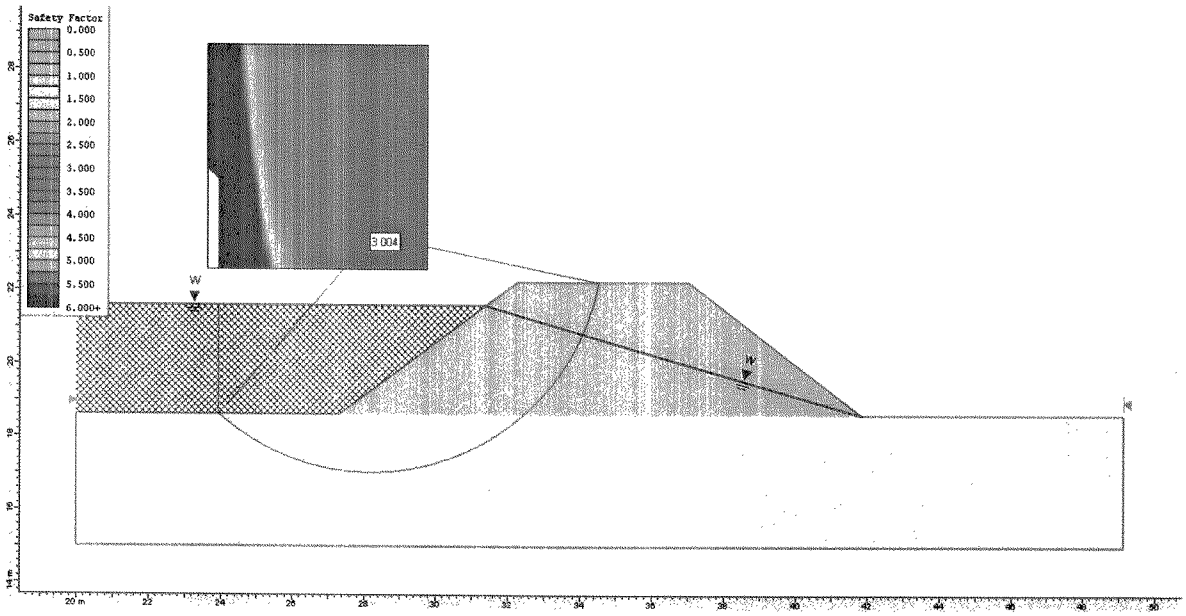


FIGURA 14.4-2
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

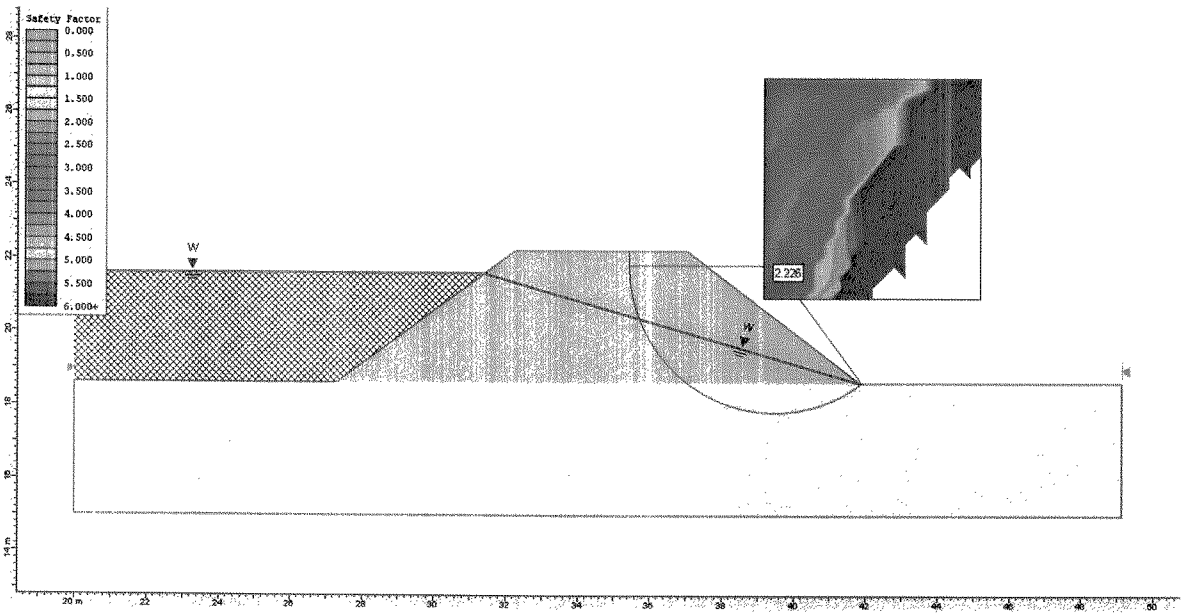


FIGURA 14.4-3
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

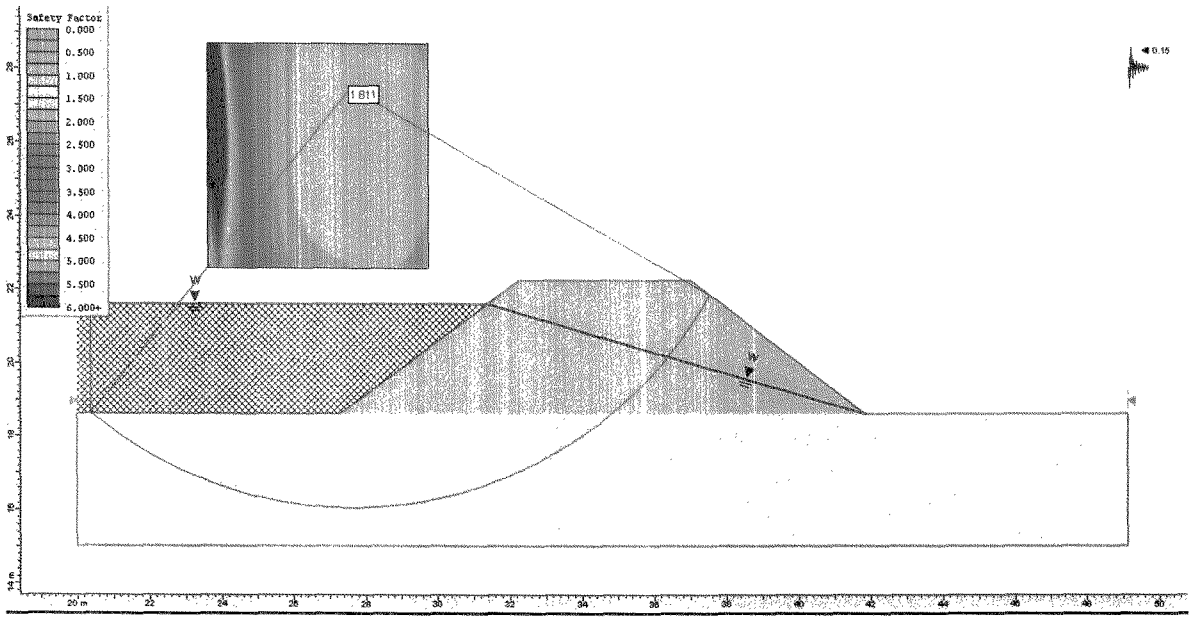


FIGURA 14.4-4
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

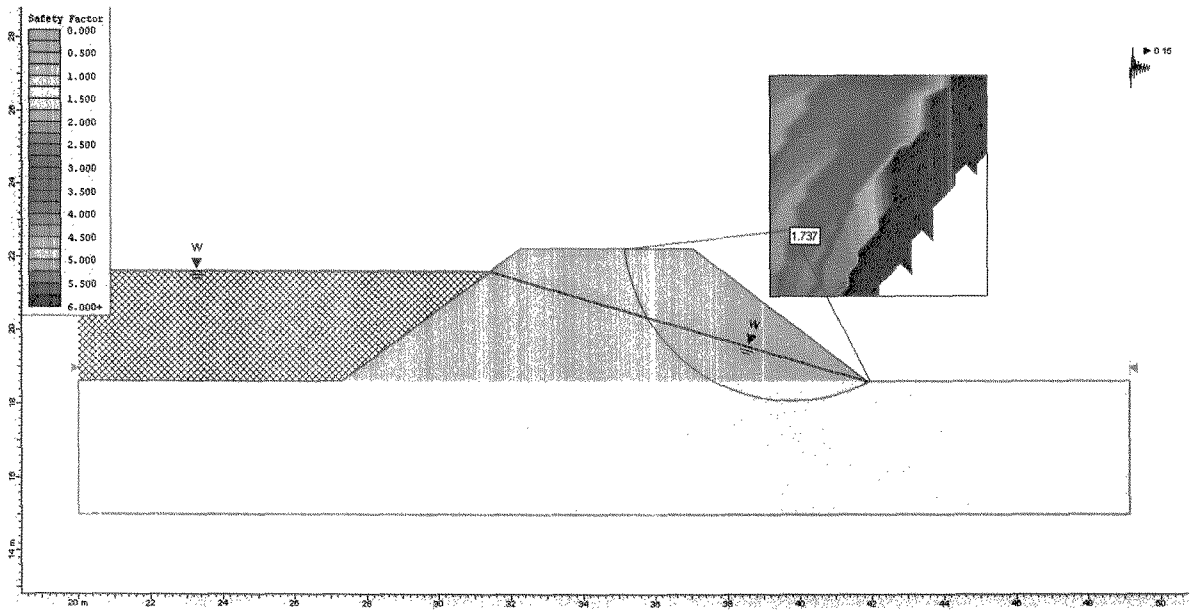


FIGURA 14.4-5
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

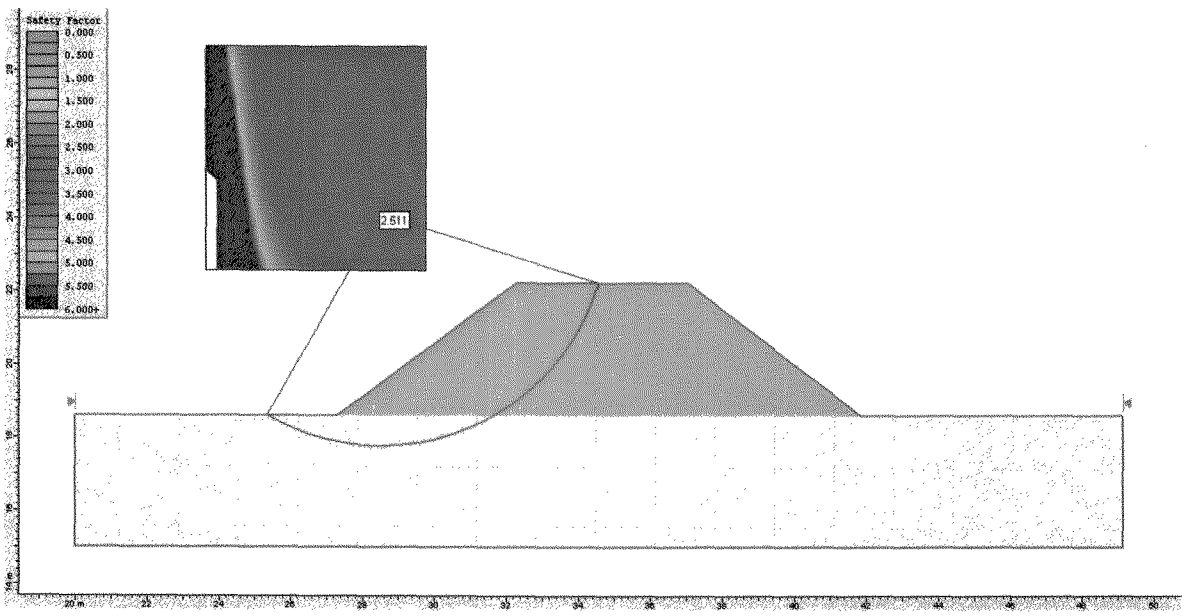


FIGURA 14.4-6
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

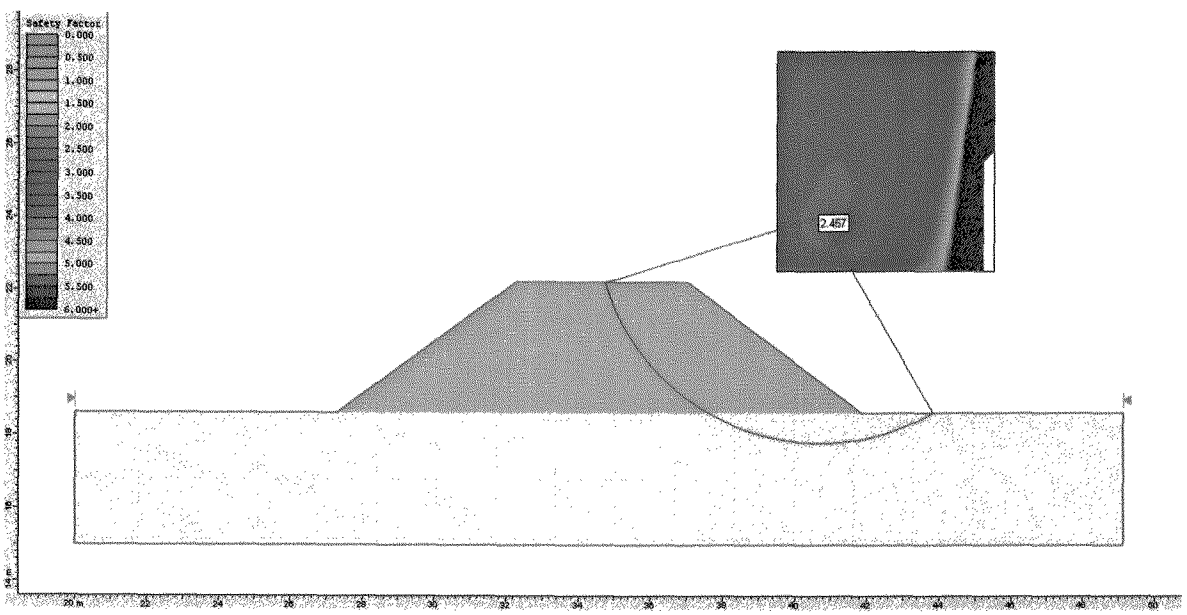


FIGURA 14.4-7
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

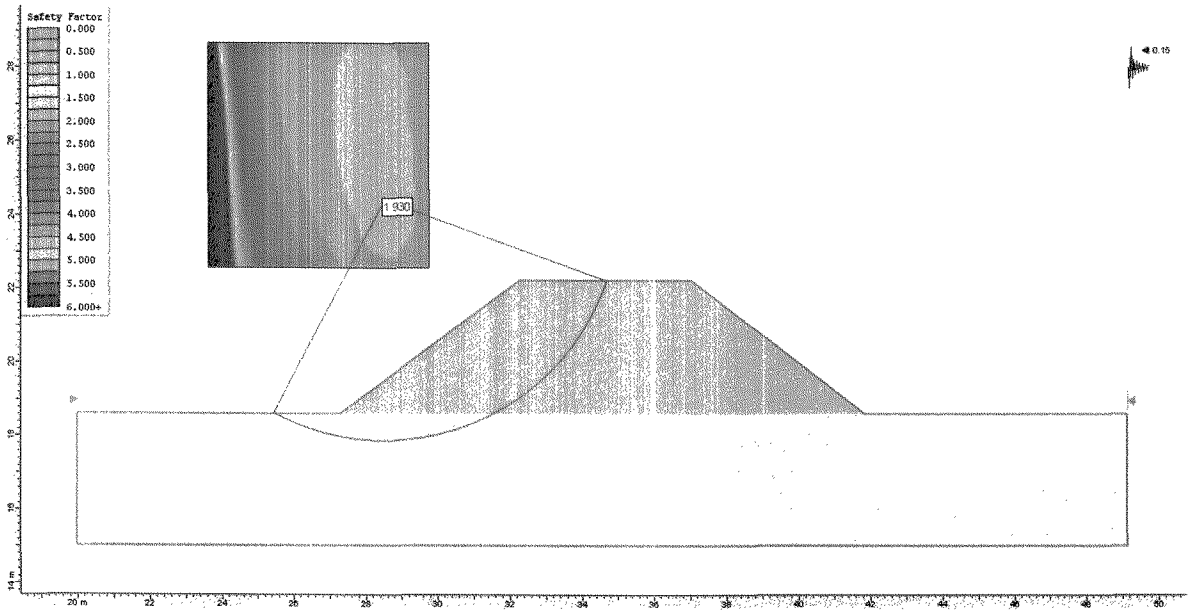


FIGURA 14.4-8
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA

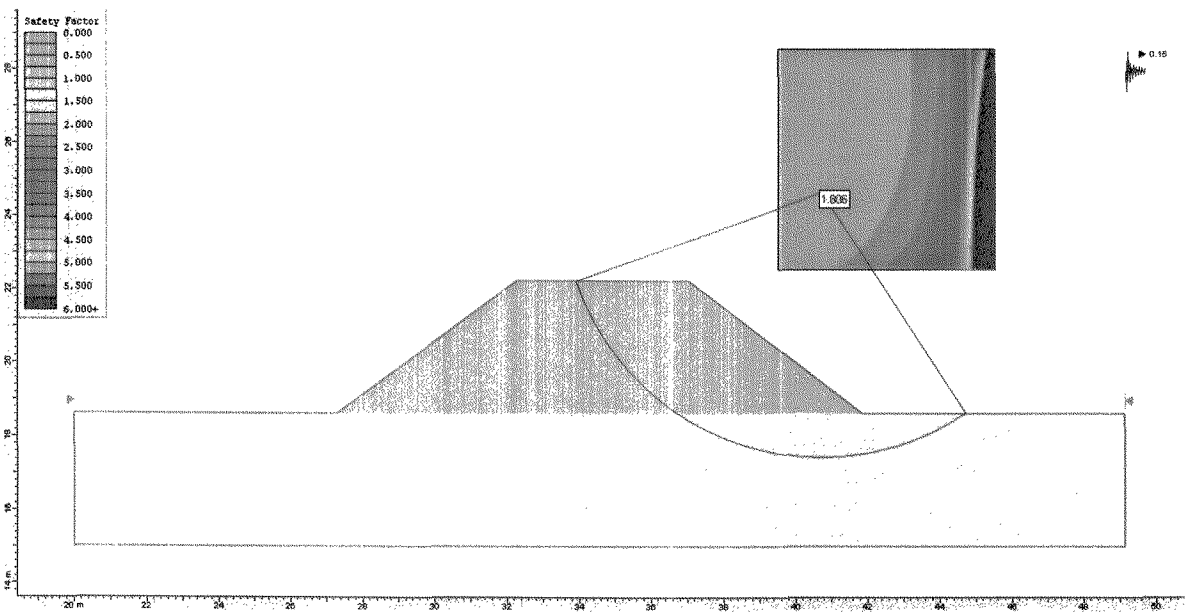


FIGURA 14.4-9
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

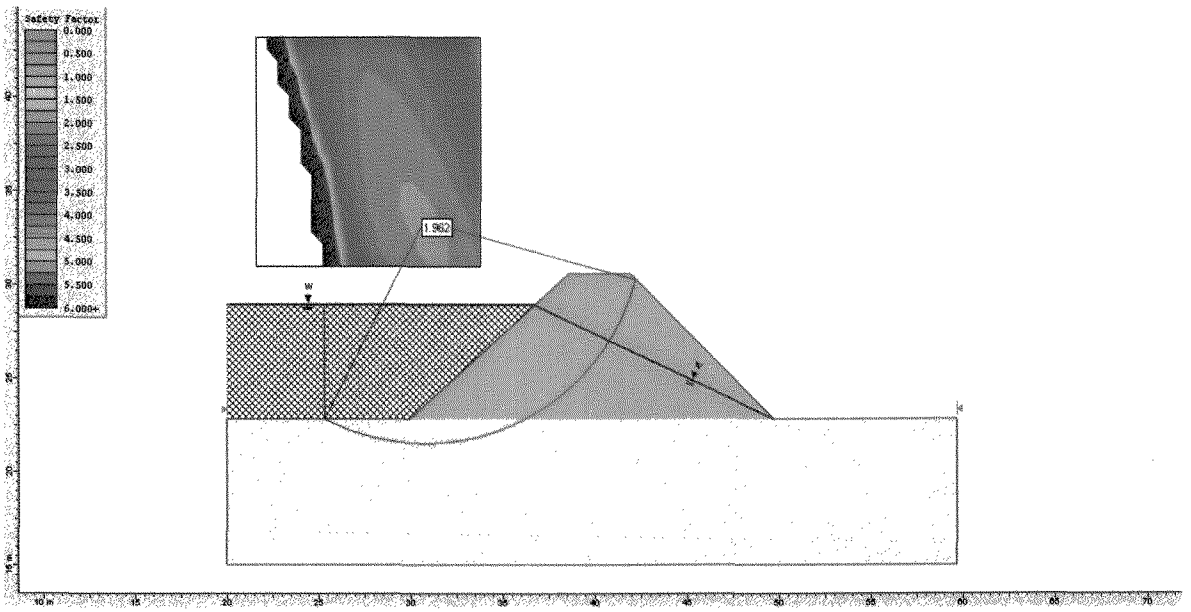


FIGURA 14.4-10
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

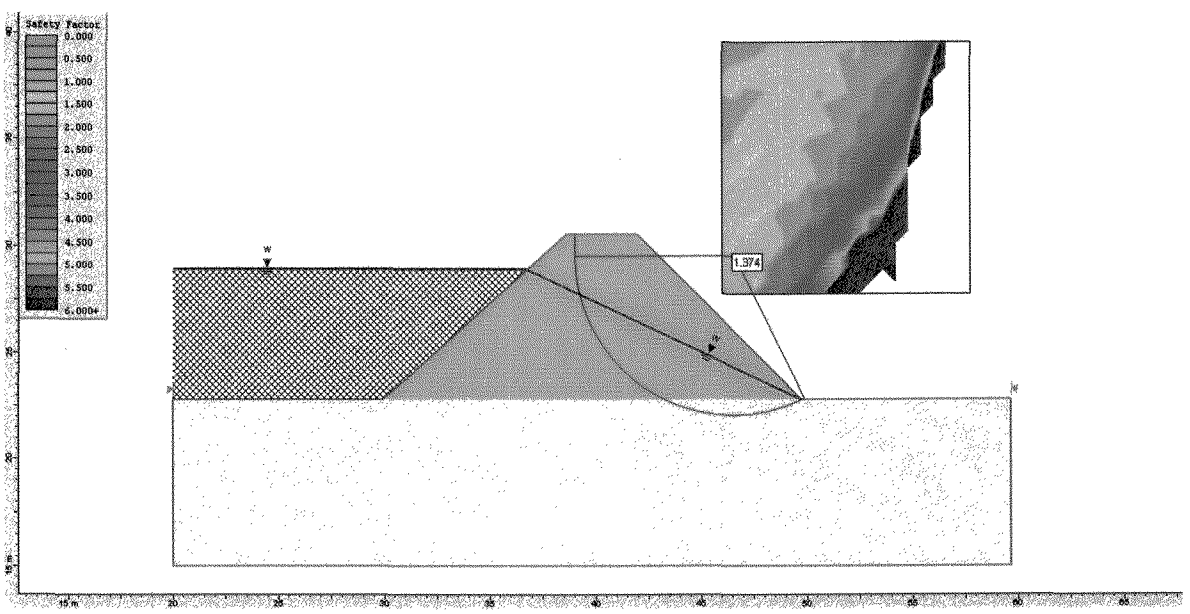


FIGURA 14.4-11
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

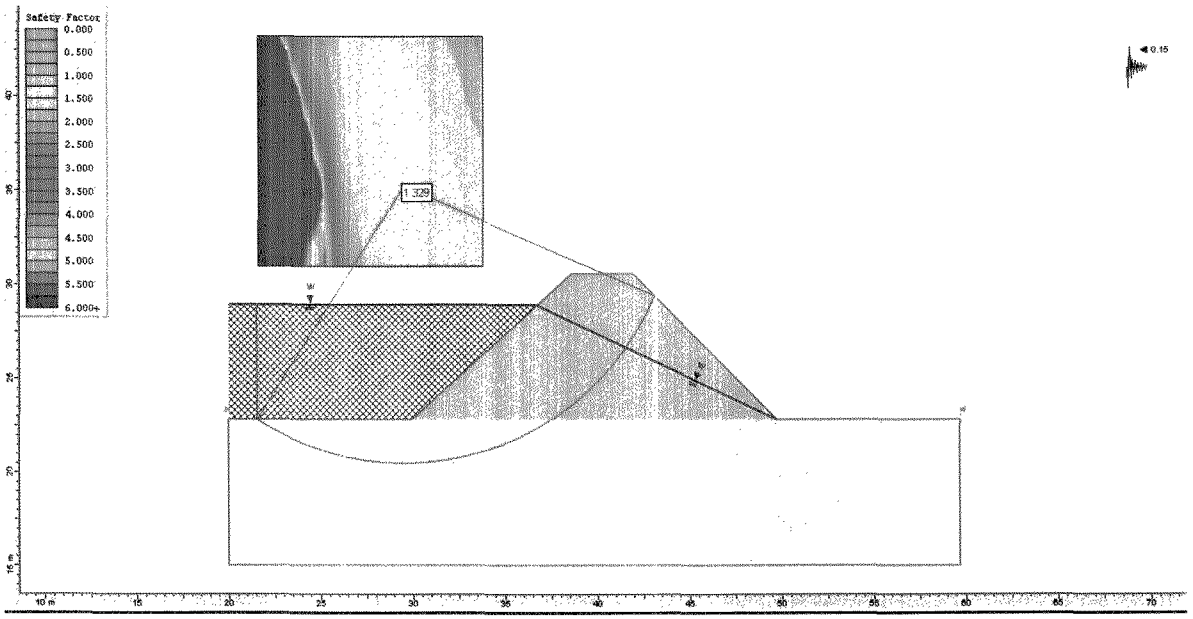


FIGURA 14.4-12
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

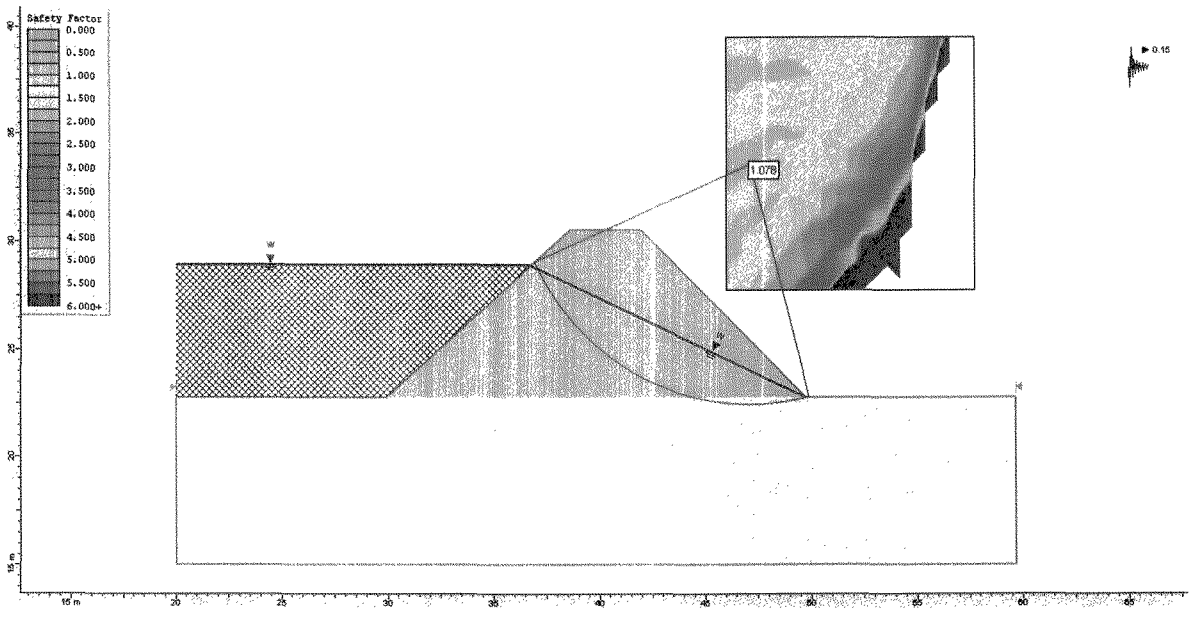


FIGURA 14.4-13
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

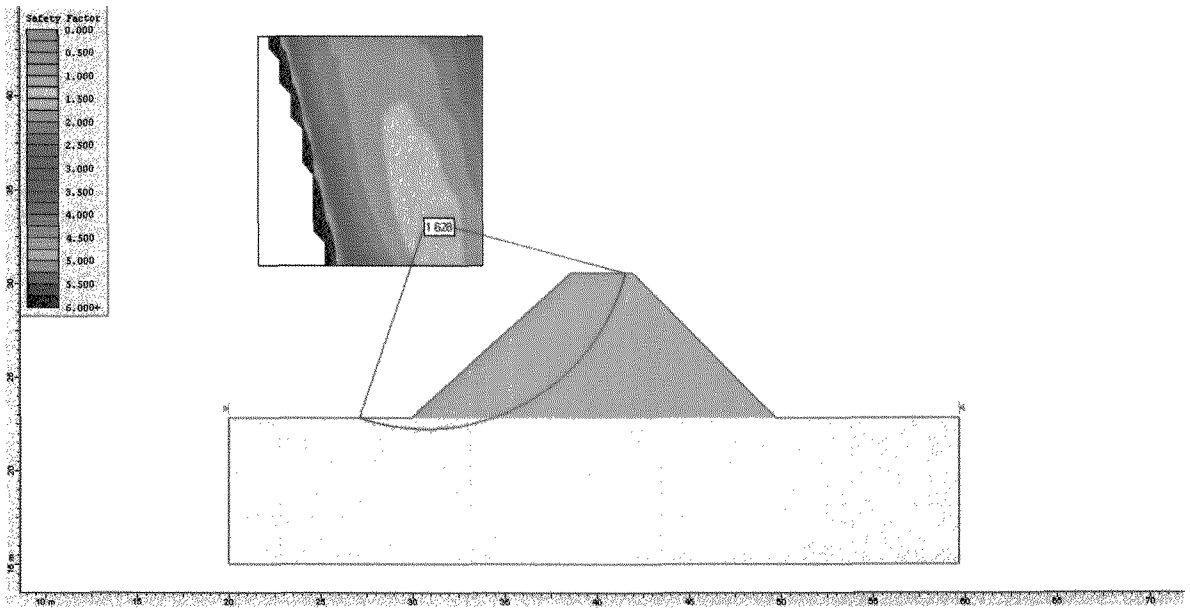


FIGURA 14.4-14
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

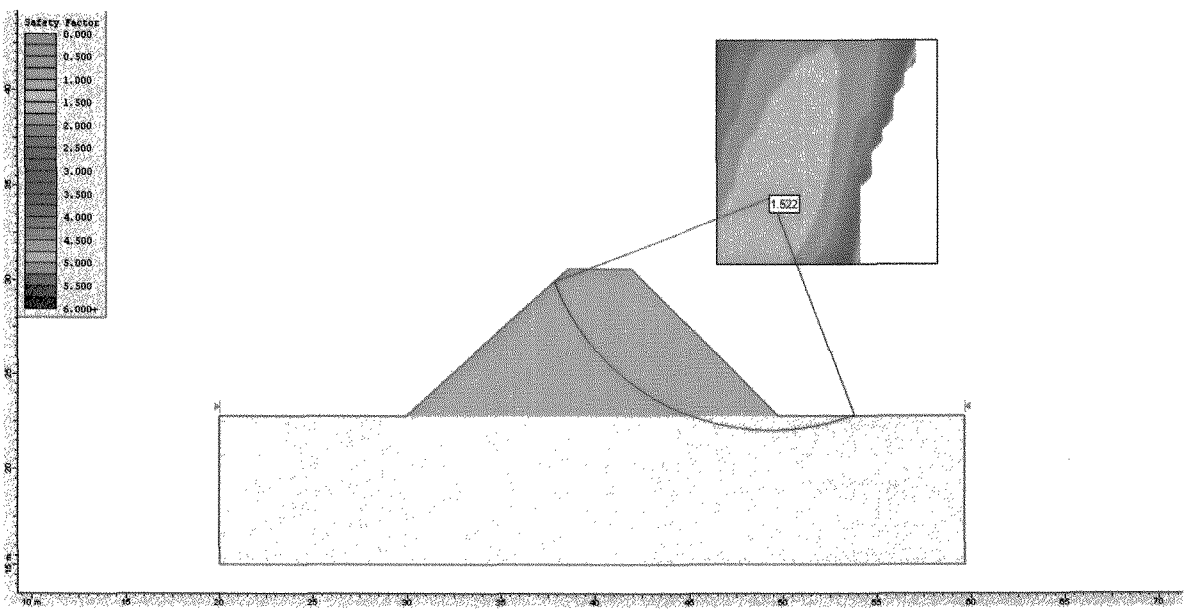


FIGURA 14.4-15
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

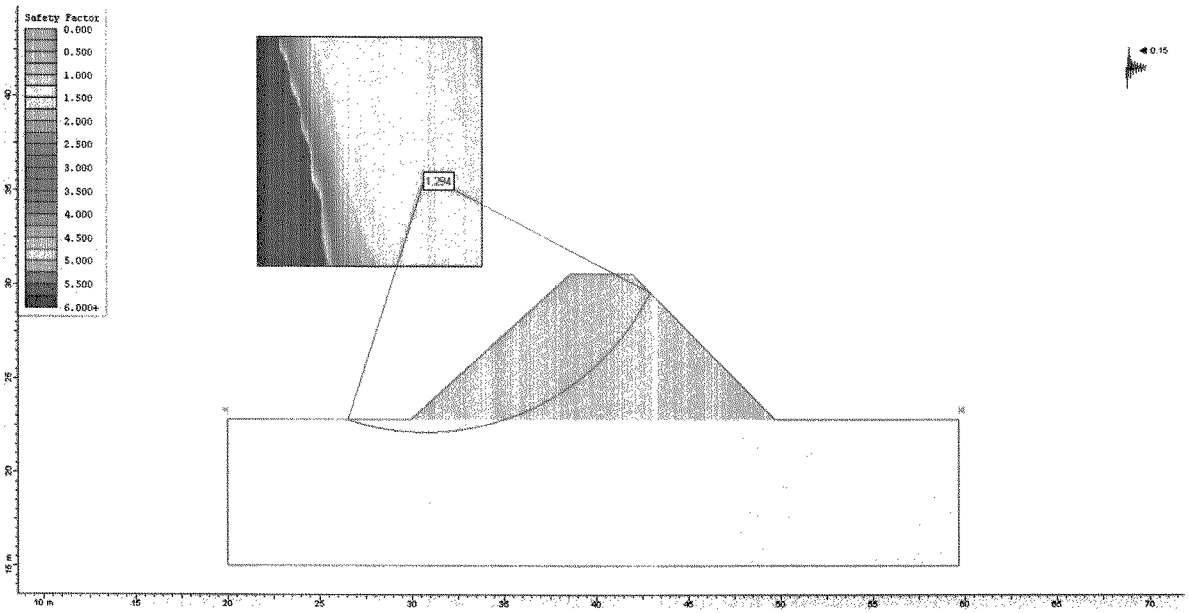
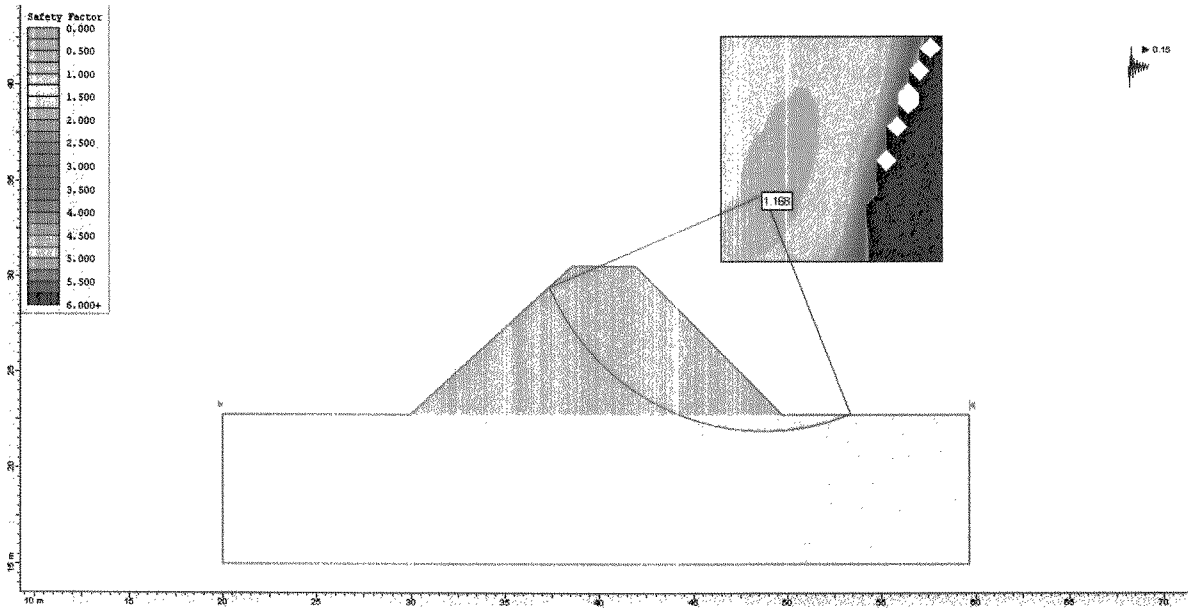


FIGURA 14.4-16
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 14.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES
PIEDRAS BLANCAS O PAILIMO 2

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
Piedras Blancas o Pailimo 2	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Muro 1	3,004	2,226	1,811	1,737
Muro 2	1,962	1,374	1,329	1,078

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
Piedras Blancas o Pailimo 2	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Muro 1	2,511	2,457	1,930	1,806
Muro 2	1,628	1,522	1,294	1,168

14.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Piedras Blancas o Pailimo 2*** se tiene:

	MURO 1	MURO 2	
Lh (m) =	14,3	18,9	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,7	1,7	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	2,93	5,66	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
PIEDRAS BLANCAS M1	14,3	0	4,78	3,5	0,6	2,927	1,70	5,0	No

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
PIEDRAS BLANCAS M2	18,9	0	6,31	7,4	1,7	5,660	1,70	9,6	No

14.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Piedras Blancas (Pailimo 2).

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **1,70 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha en el muro principal M2.

PIEDRAS BLANCAS (PAILIMO 2)
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	236	0,1466	0,0810
2	36	0,8090	0,6545	267	0,1659	0,1086
3	30	0,8660	0,7500	329	0,2044	0,1533
4	24	0,9135	0,8346	632	0,3927	0,3277
5	18	0,9511	0,9045	736	0,4573	0,4137
6	12	0,9781	0,9568	841	0,5226	0,5000
7	6	0,9945	0,9891	950	0,5903	0,5839
8	0	1,0000	1,0000	1036	0,6437	0,6437
9	6	0,9945	0,9891	621	0,3859	0,3817
10	12	0,9781	0,9568	356	0,2212	0,2116
11	18	0,9511	0,9045	246	0,1529	0,1383
12	24	0,9135	0,8346	214	0,1330	0,1110
13	30	0,8660	0,7500	177	0,1100	0,0825
14	36	0,8090	0,6545	156	0,0969	0,0634
15	42	0,7431	0,5523	144	0,0895	0,0494
	Suma	**13,5109**			Suma	**3,8497**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,285 millas
F = 458,56 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,57	0,7834
Molitor	2,41	0,7349
Creager	1,21	0,3673
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

14.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p V E

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

14.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	
		Muro 1	Muro 2
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		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		

14.7.2 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 evacuación: **33,72** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,42 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **14,16** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	6,94	0,05	0,00	0
0,002	8,23	0,05	0,00	0
0,0010	9,20	0,05	0,00	0

14.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor Adoptado	
		Muro 1	Muro 2
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	0,2	0,2
Si existe sistema de drenaje	0		
Si el material es cohesivo	0,05		

14.7.4 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

14.7.5 Riesgo

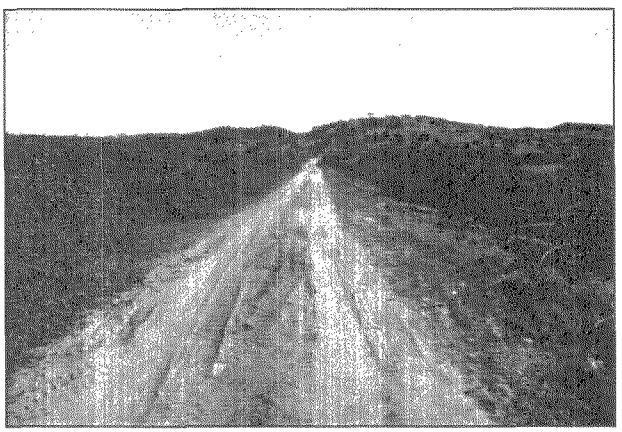
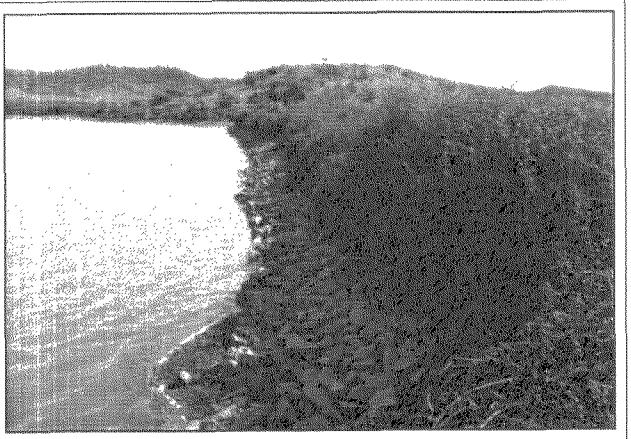
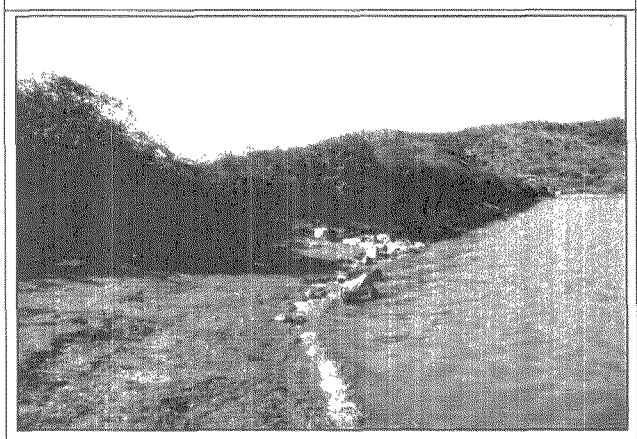
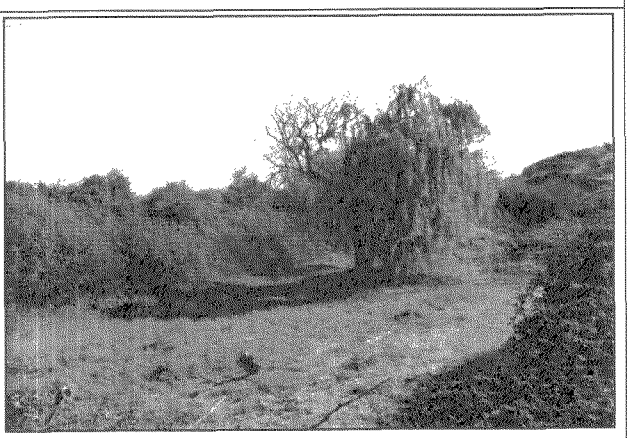
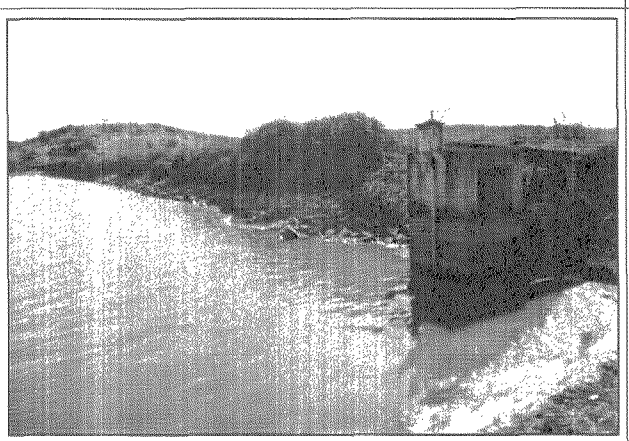
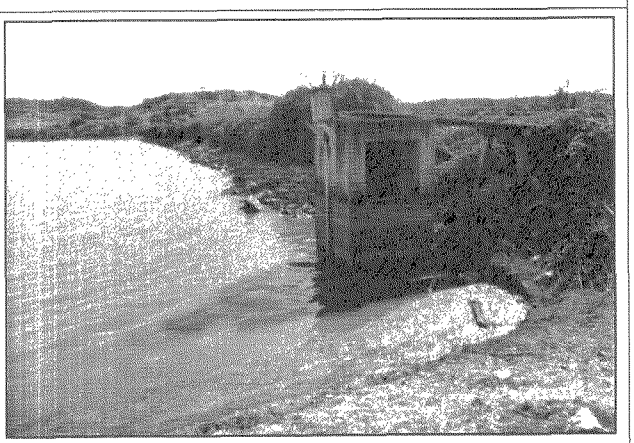
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

Riesgo	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Muro 1	0,20	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	2,00
Muro 2	0,80	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	1,00

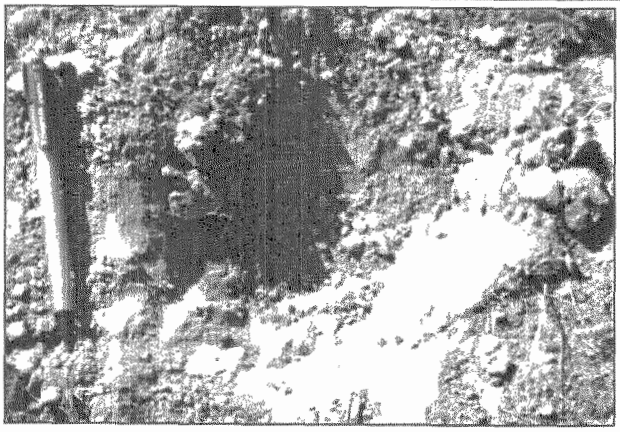
Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico para los muros 1 y 2.

14.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

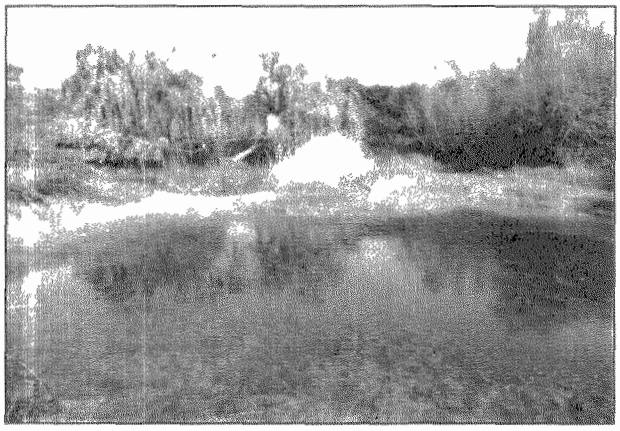
A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Piedras Blancas o Pailimo 2.

VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO	VISTA MURO DESDE ESTRIBO IZQUIERDO
	
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA	VISTA TALUD AGUAS ABAJO
	
OBRA DE ENTREGA M1	OBRA DE ENTREGA M1
	

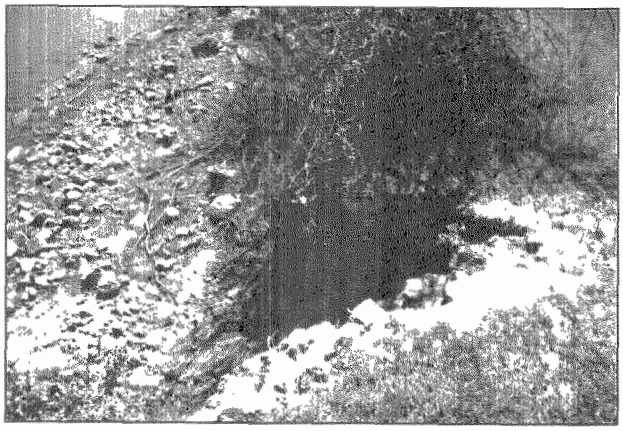
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



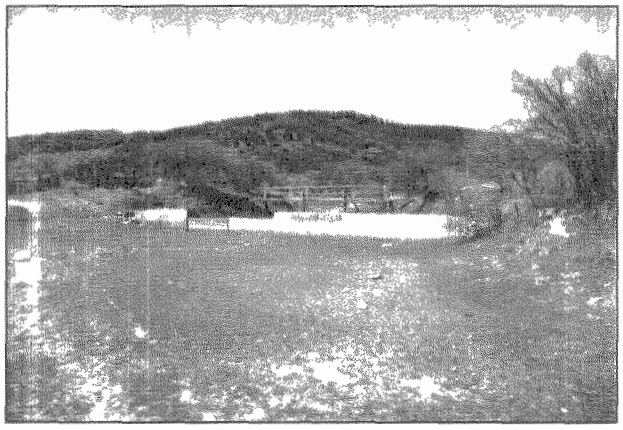
ZONA DE FILTRACIÓN M1



ZONA DE DEPRESIÓN EN TALUD AGUAS ARRIBA M2



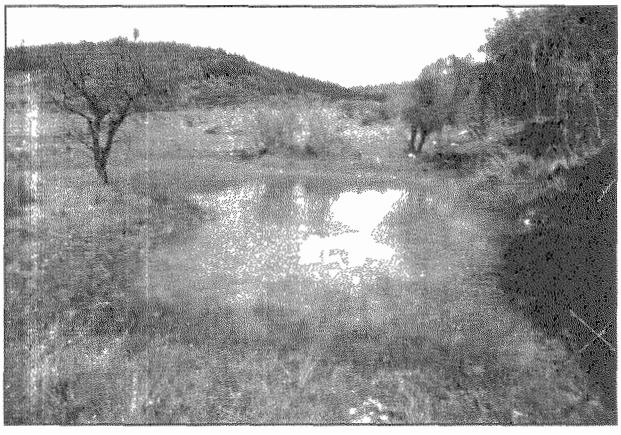
EVACUADOR DE CRECIDAS M2



ZONA DE FILTRACIÓN M2



ZONA DE FILTRACIÓN M2



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Piedras Blancas o Pailimo 2 (M1)
Propietario	Bien común
RUT Propietario	En tramite
Año de construcción	1910 (ver observación)
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	1993
Cuenca / Código DGA	Estero Quebrada Honda
Subcuenca / Código DGA	Estero Pailimo
Fuente del recurso	Estero Piedras Blancas

N° de ficha	14.1
Fecha (dd/mm/año)	06-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.202.290	E= 245.955
Coordenadas UTM Centro	N= 6.202.292	E= 245.859
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.202.197	E= 245.760
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 205 ; C = 202 ; EI = 203	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	216		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 5,6 ;	C = 4,1 ;	EI = 4,8
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	6,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,6		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 38° ;	C = 35° ;	EI = 37°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 35° ;	C = 39° ;	EI = 38°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alto
Uniformidad de los taludes	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 aprecia una filtración visible 10 mts antes y 10 mts después de la coordenada centro del tranque
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada con enrocado de protección en el talud aguas arriba

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

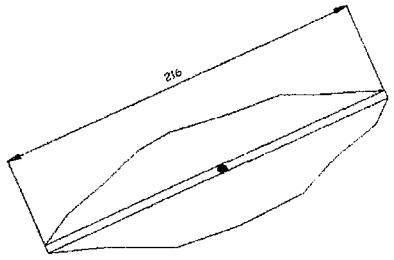
Tipo de estructura	Torre de hormigón controlada por compuerta que mediante una válvula de volante entrega a quebrada
Mediciones estructurales	Ancho 1,5 mts; Alto: 15,0 mts (ver monografías)
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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, terrenos agrícolas, pendiente media 0,8%, ancho medio 2,50 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,66 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,66 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacentes
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,66 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	30 ha

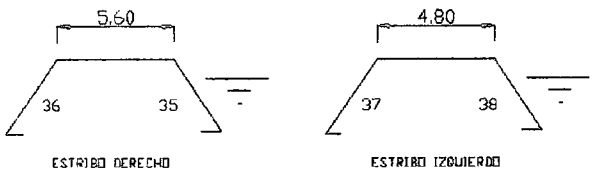
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

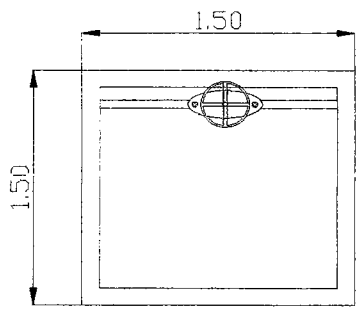


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

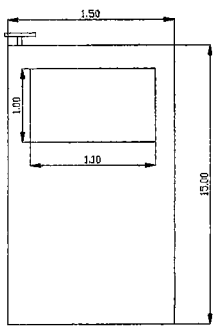
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes respecto a la horizontal.



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Piedras Blancas o Paillmo 2 (M2)
Propietario	Bien común
RUT Propietario	En tramite
Año de construcción	1910 (ver observación)
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	1993
Cuenca / Código DGA	Estero Quebrada Honda
Subcuenca / Código DGA	Estero Paillmo
Fuente del recurso	Estero Piedras Blancas

Nº de ficha	14.2
Fecha (dd/mm/año)	07-10-2009

Cumplimiento Art. 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.202.210	E= 247.169
Coordenadas UTM Centro	N= 6.202.283	E= 247.090
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.201.370	E= 246.997
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 208 ; C = 207 ; EI = 210	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	172		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 3,50 ;	C = 2,70 ;	EI = 4,00
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	11,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,7		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 37° ;	C = 45° ;	EI = 44°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 45° ;	C = 44° ;	EI = 45°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	7,4
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	6,8
Área estimada o calculada de la poza (m2)	468.000
Ancho máximo de la poza (km)	0,3
Largo de la poza (km)	1,56
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,796

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.202.292 E= 245.859	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Arenosa

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Medianamente regular
Compacidad del material estructural	La compacidad del material estructural fue medida en el muro 1
Uniformidad de los taludes	Talud aguas arriba medianamente regular. Talud aguas abajo irregular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Se aprecian depresiones a lo largo de todo el talud aguas abajo (ver álbum fotográfico)
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 aprecia una filtración bastante grande en el sector entre la coordenada centro hasta el estribo izquierdo del tranque en el talud aguas abajo en el pie, con una altura de agua que va de los 0 cms a los 30 cms app. (ver álbum fotográfico)
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:	
Vertederos frontales	X
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:	
Vertederos libres, sin control	
Vertederos controlados por compuertas	X

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	

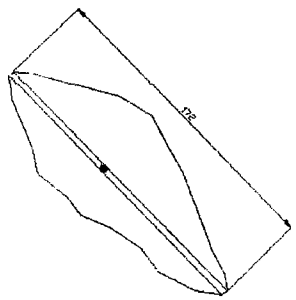
Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	vertedero de caída libre con compuertas de madera
Material constructivo	hormigón
Estado de conservación y operatividad	Buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Largo: 15, 0 mts; Alto: 1,0 mts; Ancho Compuertas: 3,9 mts

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	Canal en tierral, terrenos agrícolas, pendiente media 0,6%, ancho medio 2,0 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	No
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacentes
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,93 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	S/I

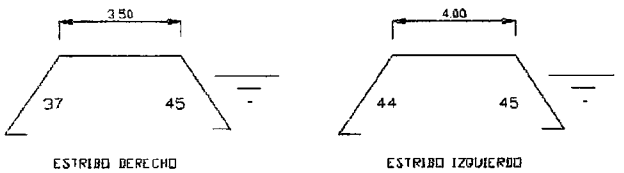
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)

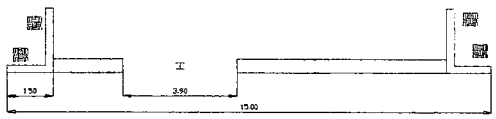


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

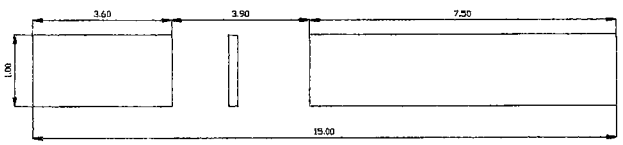
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

EMBALSE LA ROSA

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

15. EMBALSE LA ROSA
15.1 Ubicación
15.2 Características Generales
15.3 Crecidas Afluentes al Embalse
- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

15.4 Análisis de Estabilidad
- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

15.5 Determinación de Filtraciones
15.6 Verificación del Oleaje
15.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
15.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

15. EMBALSE LA ROSA

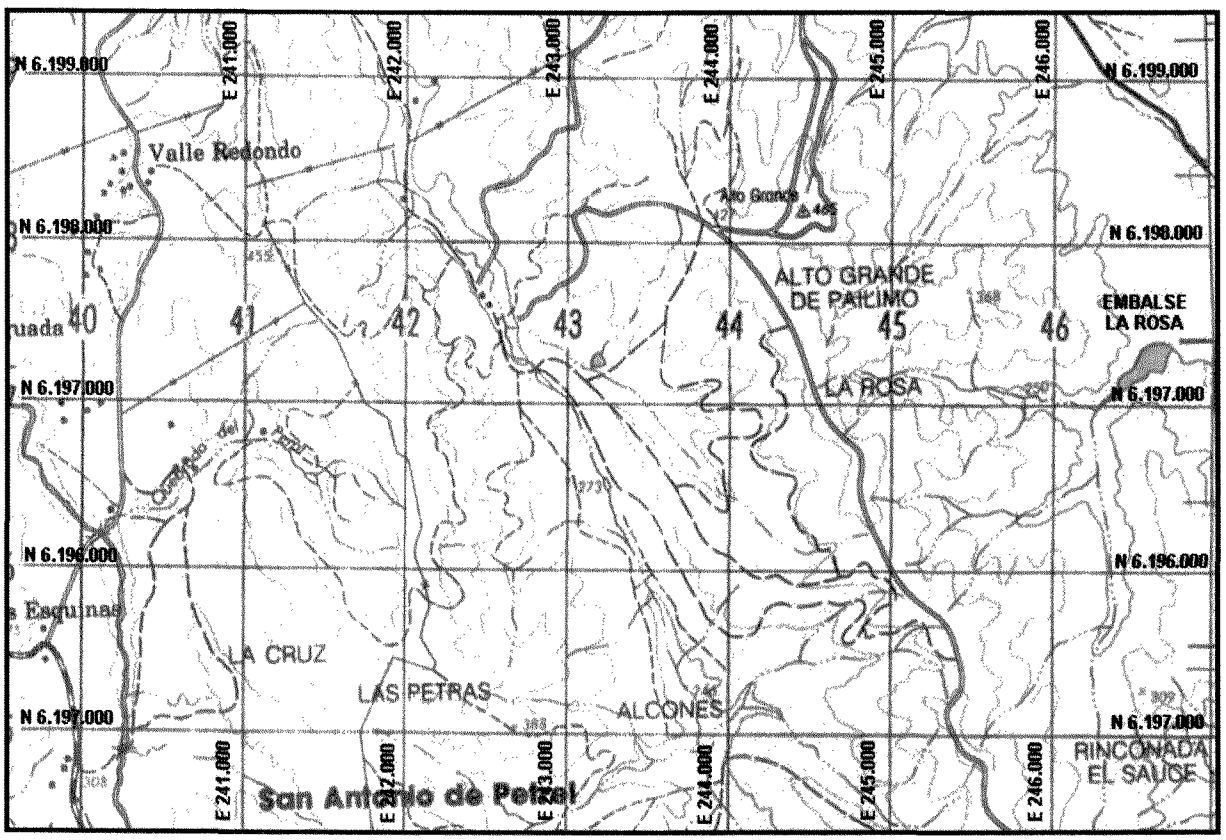
15.1 Ubicación

El embalse La Rosa se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Colchagua, en las coordenadas UTM 6.196.899 Norte y 246.563 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 211 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Tinguiririca, subcuenca del estero Las Cadenas y la fuente corresponde a la quebrada La Rosa.

Este sitio de embalse se localiza al noroeste de la comuna y se accede desde la localidad de Rinconada por la ruta I-50 al norte aproximadamente 3 km hasta la entrada de un camino particular, que corresponde al acceso del tranque.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 15.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE LA ROSA



Fuente: Carta IGM

15.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Soc. Minera y Forestal San Enrique Ltda. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido el año 1970.

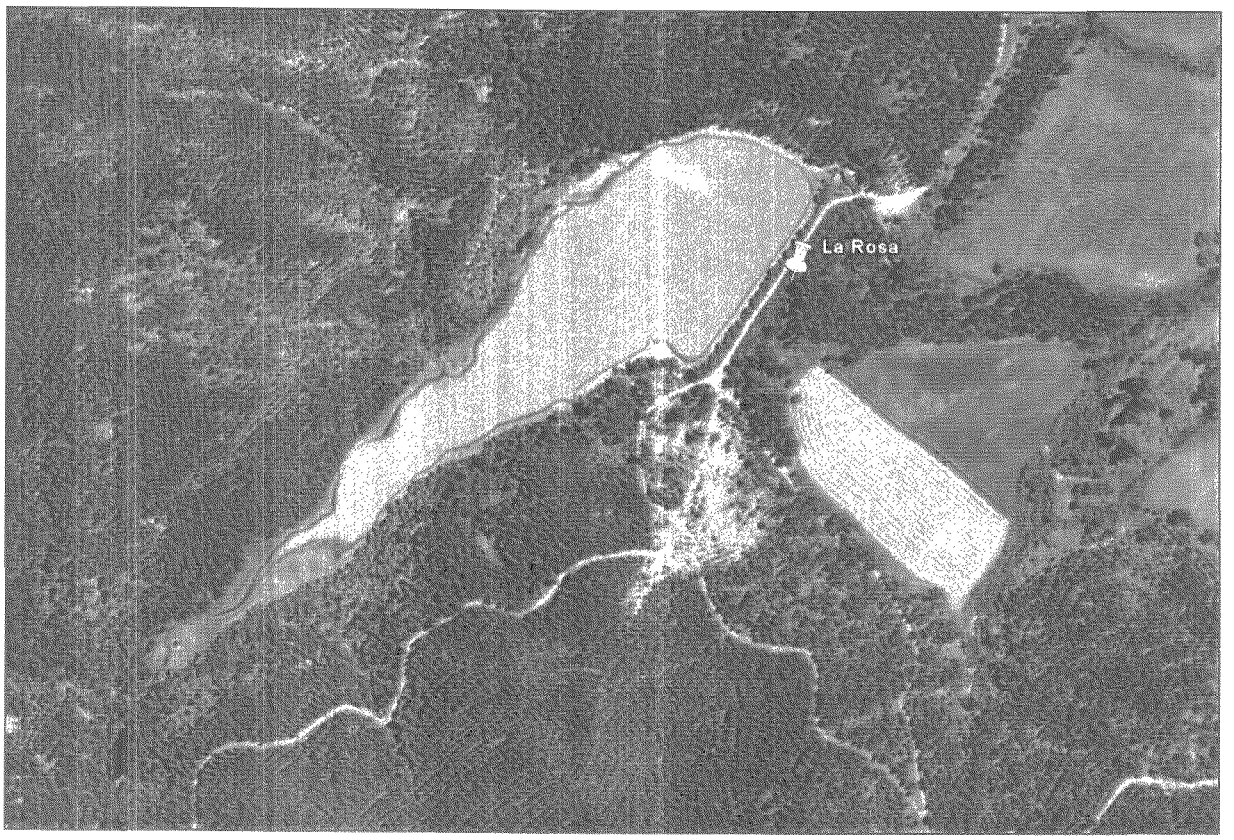
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 0,634 hm^3. La altura máxima del muro es de 14,8 m, con una longitud de coronamiento de 170 m y ancho promedio del coronamiento de 4,3 m y borde libre de 1,7 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,20:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,01:1.

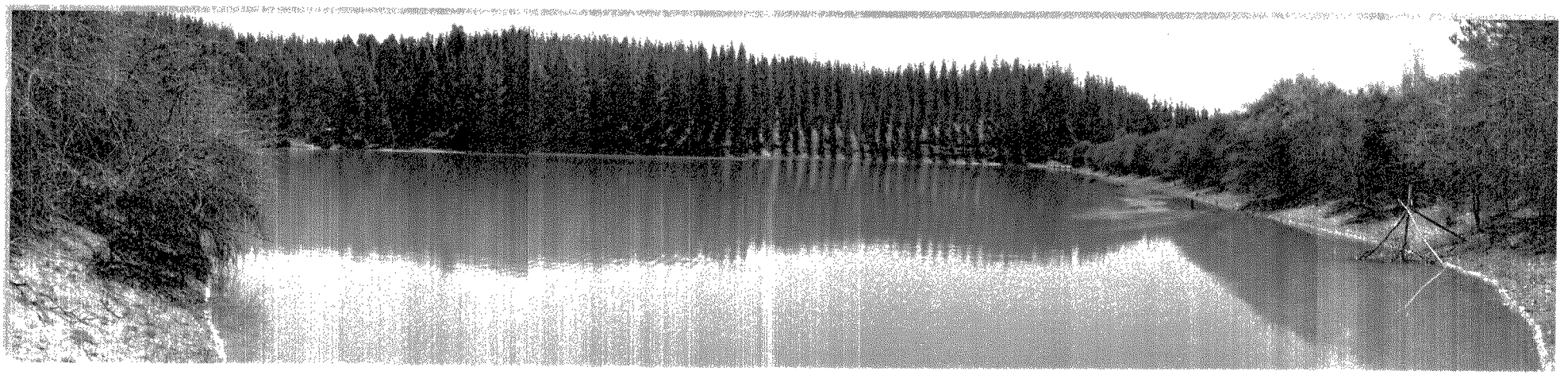
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal. Está controlado por compuerta con salida a canal revestido de 2,7 m de ancho por 2,0 m de alto. En regular estado, operacional.

La ***obra de entrega*** corresponde a una tubería de 200 mm de diámetro. También existen unas balsas donde se instalan bombas para la extracción del agua. (El encargado dice que no se usan). Se encuentra operativo.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 15.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE LA ROSA





Vista panorámica Embalse La Rosa

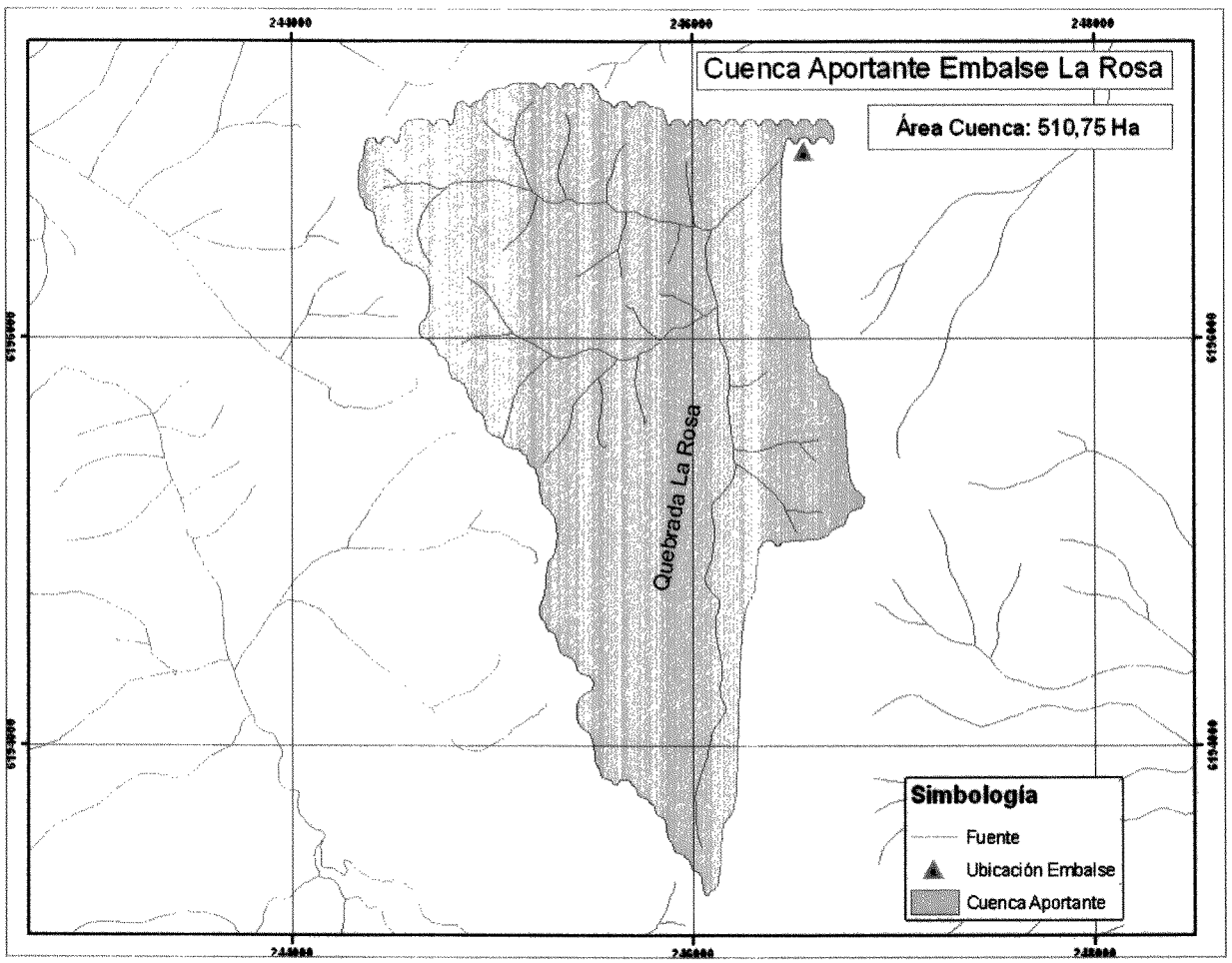
15.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse La Rosa tiene como fuente a la quebrada La Rosa, la cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 5,11 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 15.3-1
CUENCA EMBALSE LA ROSA



CUADRO 15.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		La Rosa
SUPERFICIE (ha)	Total	510,8
	Pluvial	510,8
PERÍMETRO (m)	Total	15.840,0
	Pluvial	15.840,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	437,7
	Mínima	221,0
	Diferencia	216,7
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	18,8
	Cauce	13,0
LONGITUD CAUCE (km)	Total	3,93
	Desde centro de gravedad	1,96
CENTROIDE CUENCA	UTM E	245.594
	UTM N	6.195.470
	Altura (msnm)	335,8
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	246.238
	UTM N	6.195.680
	Altura (msnm)	254
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
La Rosa	0,58	1,74	0,03	0,52	0,52

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
La Rosa	Rapel	0,099	80	Nilahue

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
La Rosa	T=2	0,47	Nilahue	0,6	5,3	1,7	6,9
	T=5	0,60	Nilahue	0,8	7,4	2,6	12,1
	T=11	0,68	Nilahue	1,0	8,6	4,5	16,1
	T=15	0,73	Nilahue	1,1	9,4	5,4	18,9
	T=20	0,77	Nilahue	1,2	10,0	6,1	21,2
	T=25	0,80	Nilahue	1,2	10,4	6,6	22,8
	T=50	0,87	Nilahue	1,4	11,8	8,4	28,1
	T=100	1	Nilahue	1,5	13,2	11,2	36,1

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \cdot (Ap)^{0,915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
La Rosa	0,41	1,39	1,88	2,15	2,42	2,61	3,23	3,95

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
La Rosa	11,96	14,18	15,86

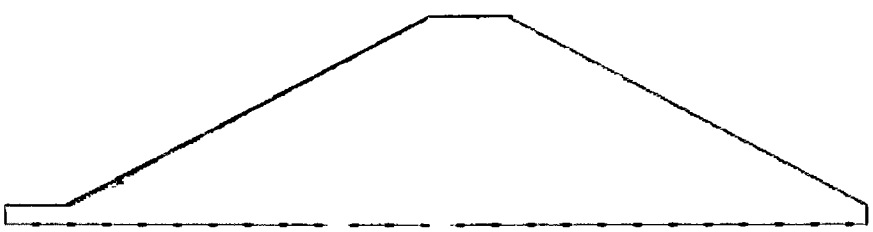
15.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	8,8 m
Ancho coronamiento	4,1 m
Borde libre	2,1 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,20 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,01 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 15.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 22°	2,2	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 15.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

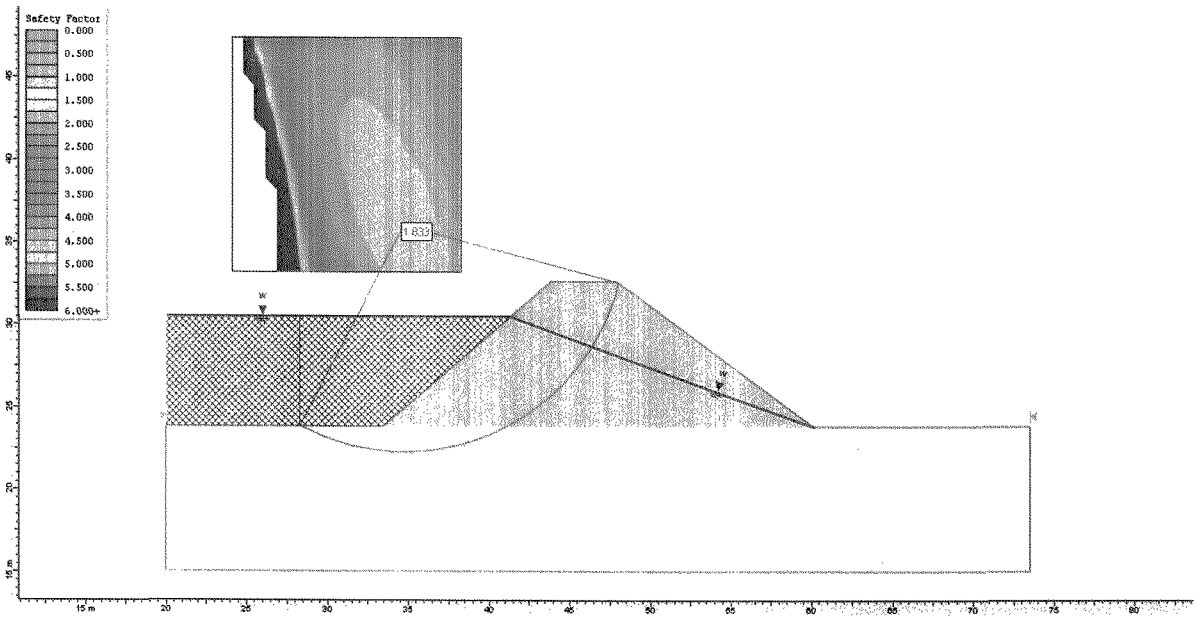


FIGURA 15.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

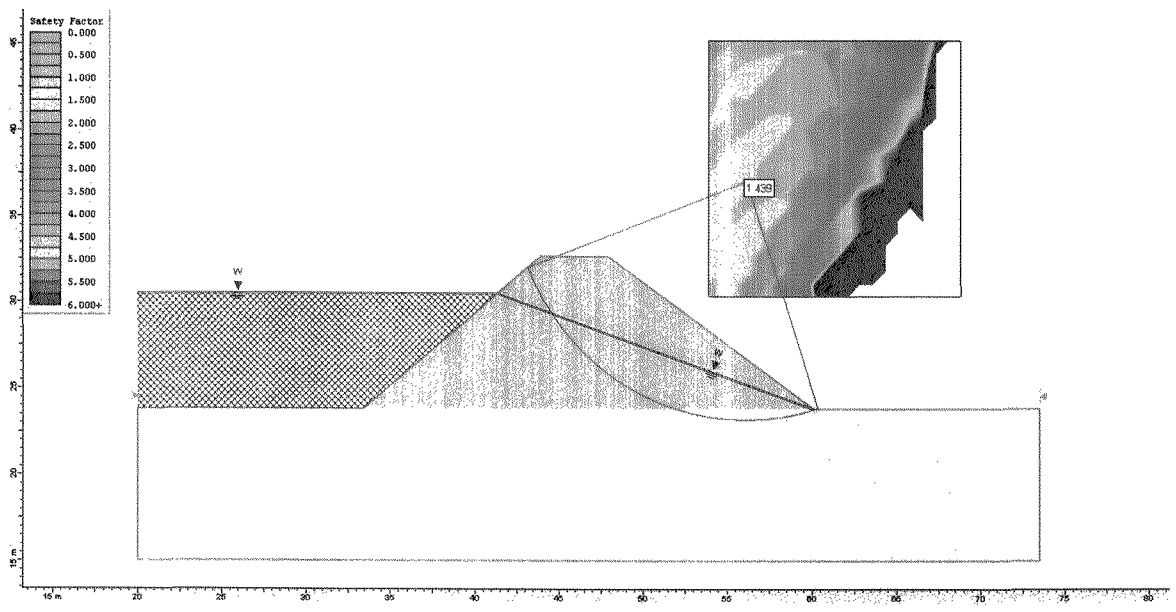


FIGURA 15.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

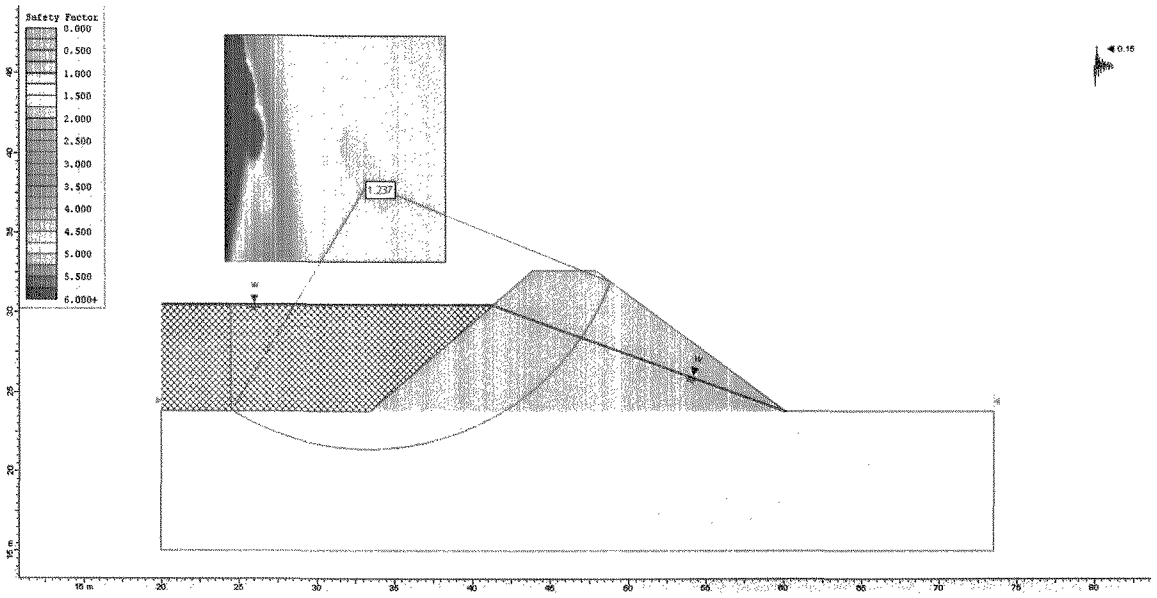


FIGURA 15.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

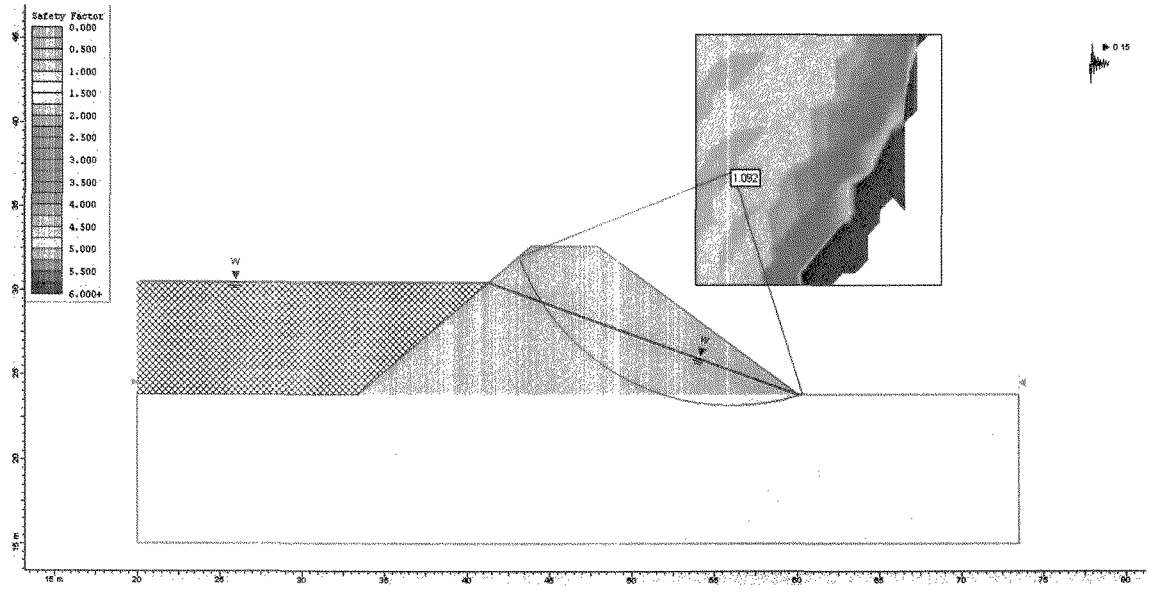


FIGURA 15.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

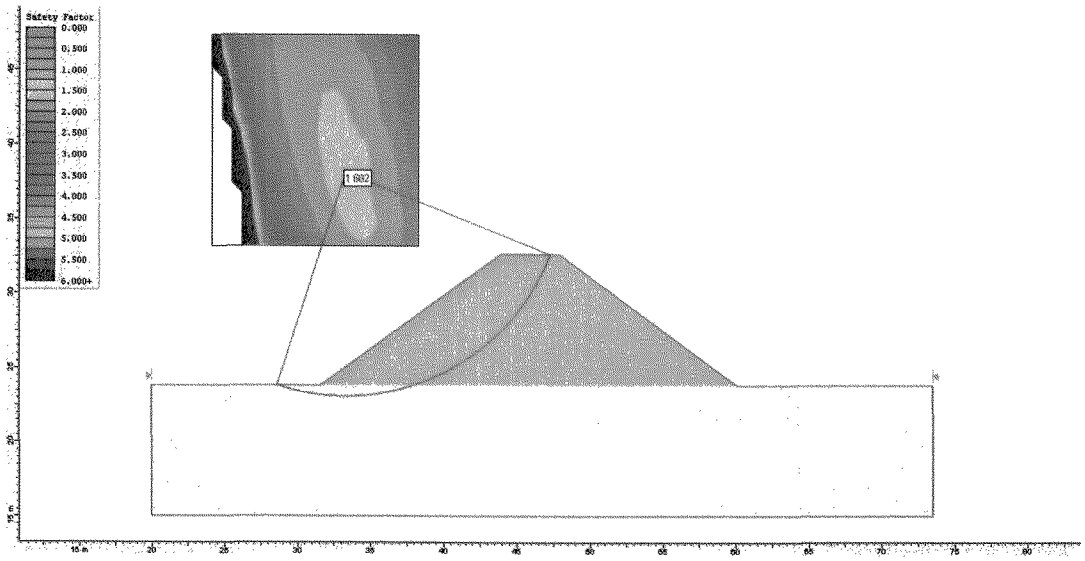


FIGURA 15.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

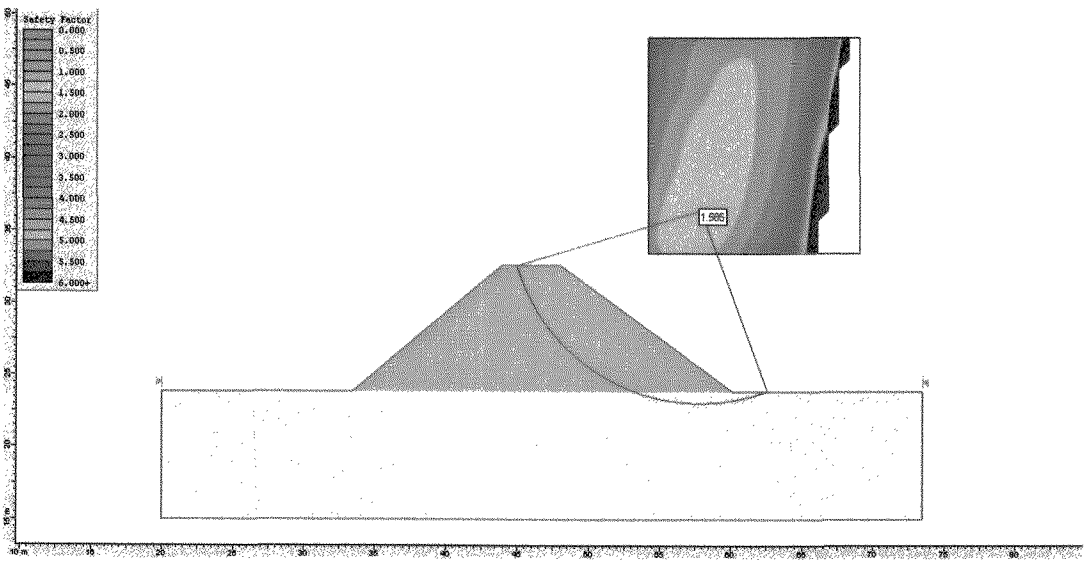


FIGURA 15.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

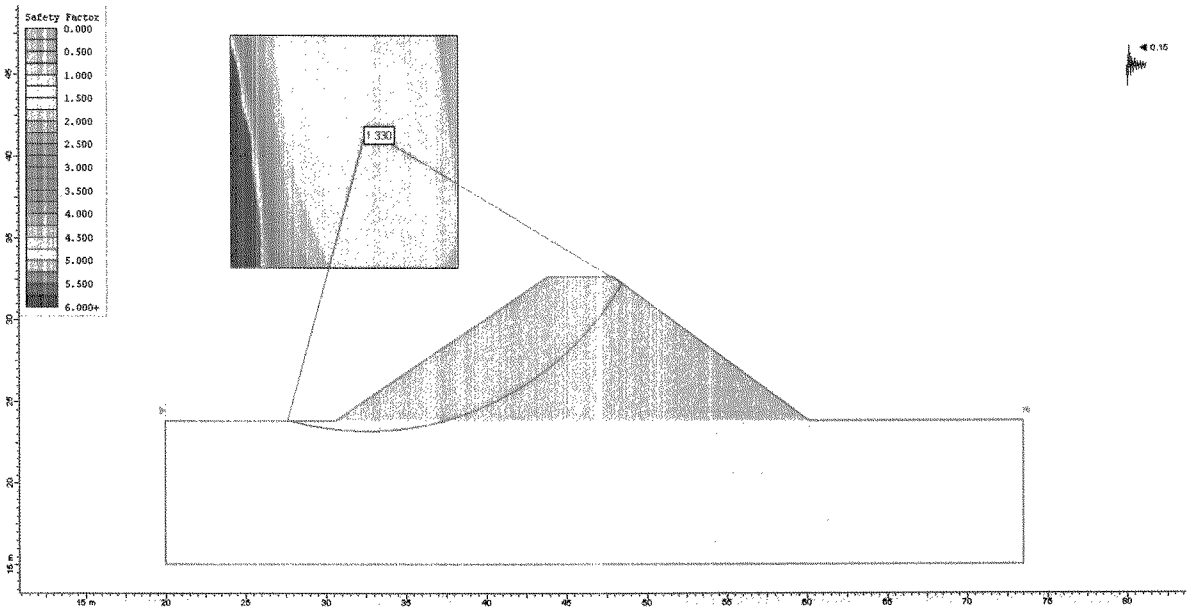
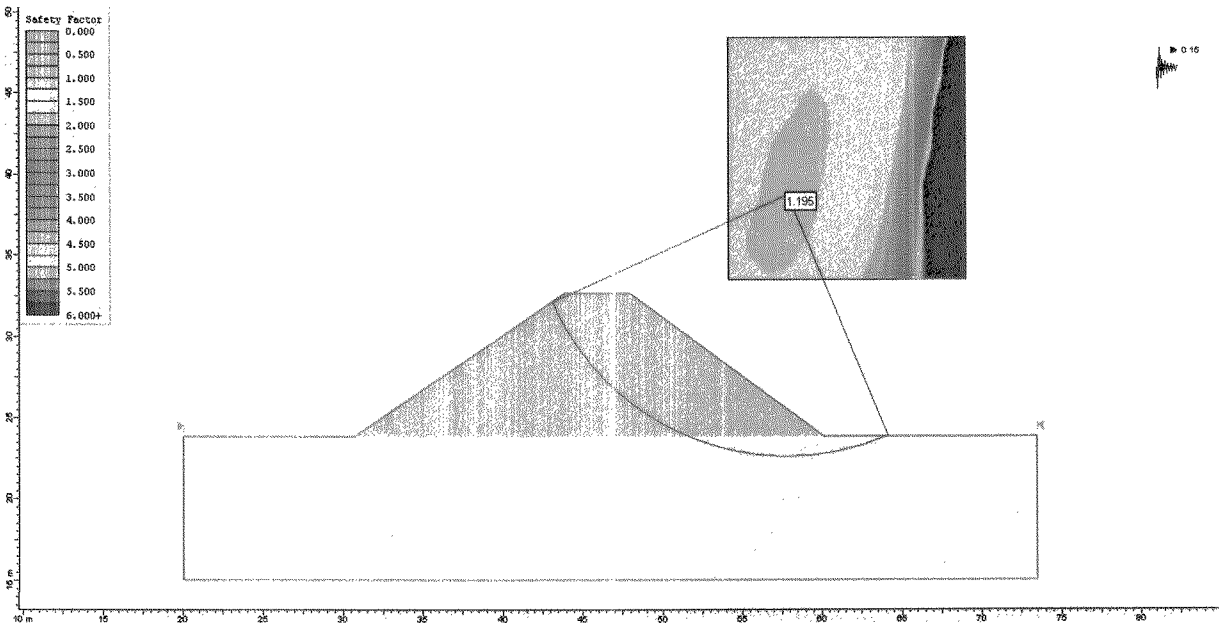


FIGURA 15.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 15.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
La Rosa	1,833	1,439	1,237	1,092

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
La Rosa	1,575	1,585	1,249	1,193

15.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***La Rosa***, se tiene:

Lh (m) =	37,0	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,8	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	13,07	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **Sí** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bi	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
LA ROSA	37,0	0	12,34	14,8	1,7	13,071	1,80	23,5	No

15.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse La Rosa.

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **1,70 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

LA ROSA
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	134	0,0833	0,0460
2	36	0,8090	0,6545	144	0,0895	0,0586
3	30	0,8660	0,7500	150	0,0932	0,0699
4	24	0,9135	0,8346	161	0,1000	0,0835
5	18	0,9511	0,9045	163	0,1013	0,0916
6	12	0,9781	0,9568	173	0,1075	0,1029
7	6	0,9945	0,9891	169	0,1050	0,1039
8	0	1,0000	1,0000	179	0,1112	0,1112
9	6	0,9945	0,9891	200	0,1243	0,1229
10	12	0,9781	0,9568	233	0,1448	0,1385
11	18	0,9511	0,9045	278	0,1727	0,1562
12	24	0,9135	0,8346	338	0,2100	0,1753
13	30	0,8660	0,7500	445	0,2765	0,2074
14	36	0,8090	0,6545	85	0,0528	0,0346
15	42	0,7431	0,5523	85	0,0528	0,0292
	Suma	**13,5109**			Suma	**1,5316**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,113 millas
F = 182,43 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,42	0,7391
Molitor	2,32	0,7085
Creager	0,86	0,2612
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

15.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

15.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	0,1
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	

15.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación: **18,00** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,36 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **6,48** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	11,96	0,95	0,00	0
0,002	14,18	0,95	0,00	0
0,0010	15,86	0,95	0,00	0

15.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

15.7.4 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

15.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

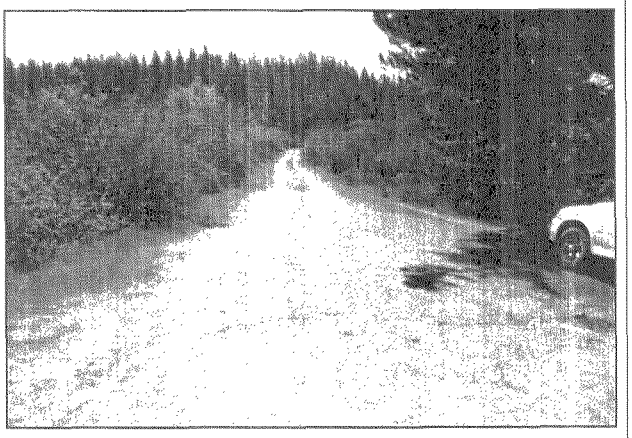
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,40	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía.

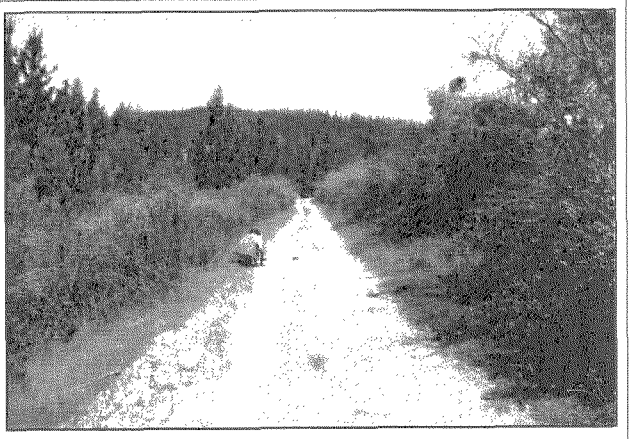
15.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse La Rosa.

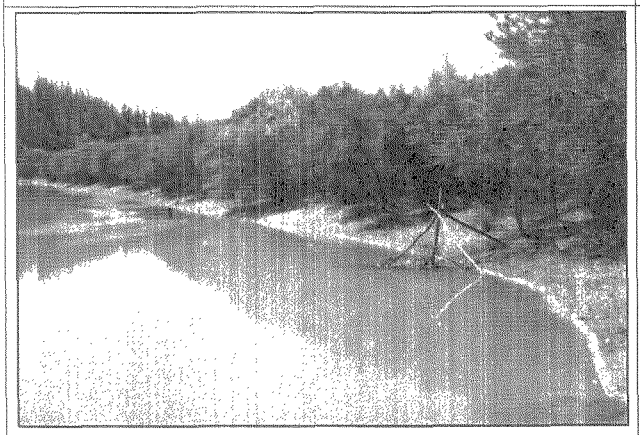
VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO



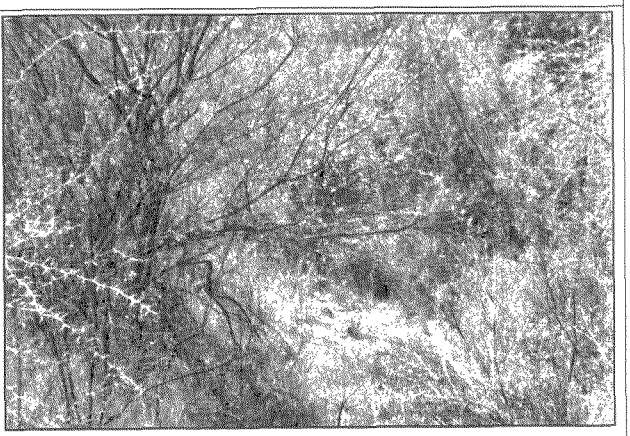
VISTA MURO DESDE ESTRIBO IZQUIERDO



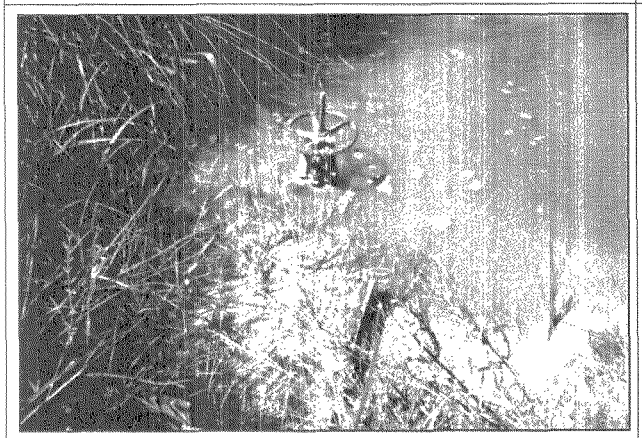
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA



VISTA TALUD AGUAS ABAJO



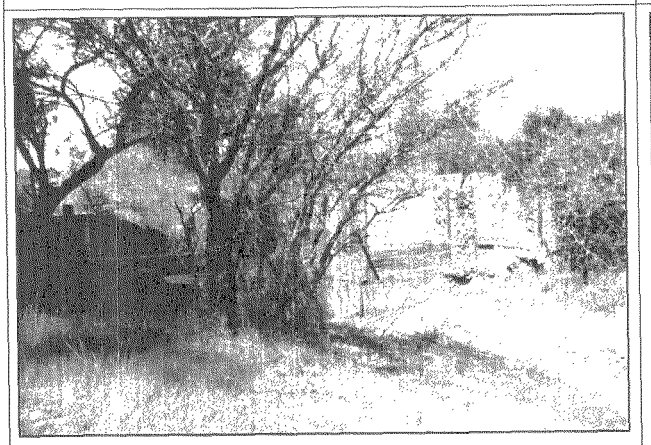
OBRA DE ENTREGA



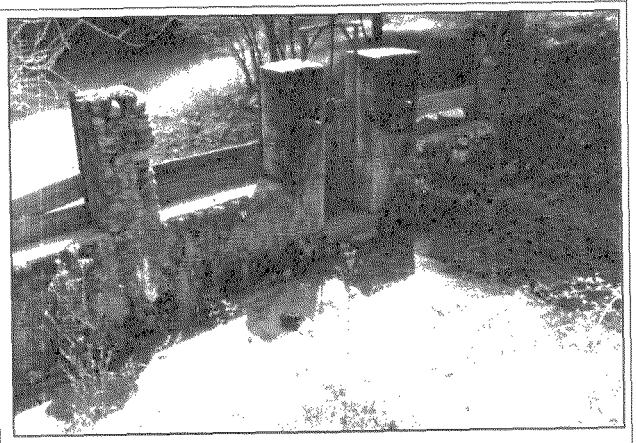
OBRA DE ENTREGA



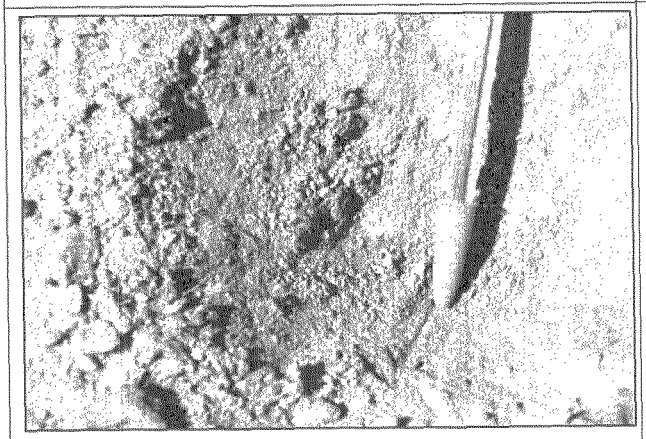
EVACUADOR DE CRECIDAS



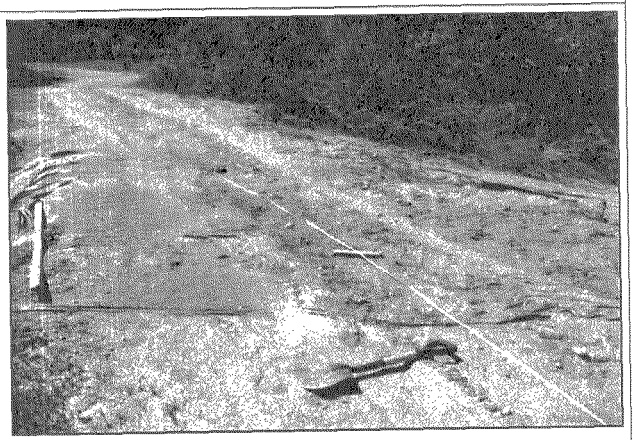
EVACUADOR DE CRECIDAS



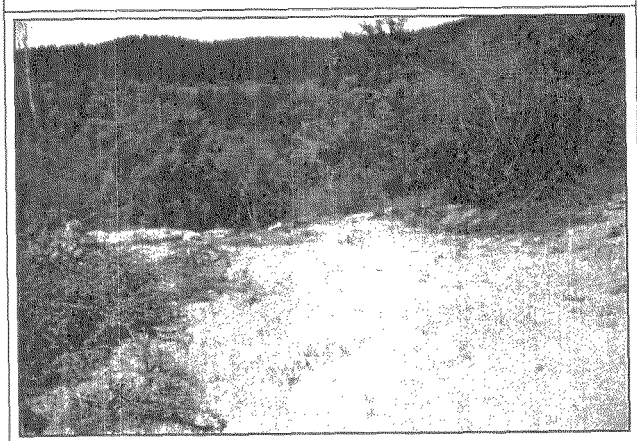
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



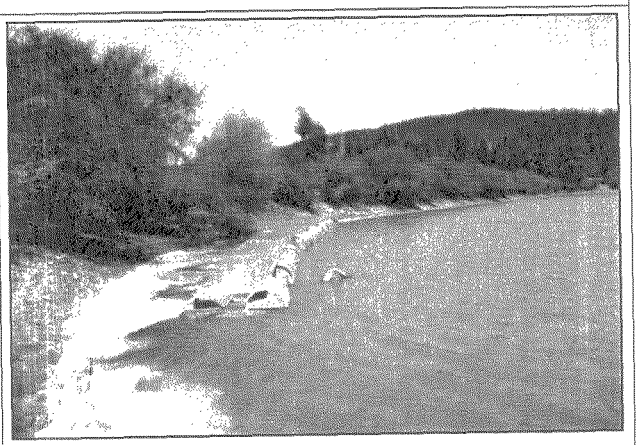
DETALLE CORONAMIENTO



DEPRESIÓN E INDICIO DE DESLIZAMIENTO EN TALUD AGUAS ABAJO



BALSAS EN LA POZA



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	La Rosa
Propietario	Soc. Minera y Forestal San Enrique Ltda.
RUT Propietario	79.548.210-5
Año de construcción	1970
Reparación (Si) (NO)	Si
Año de reparación	2008
Cuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Subcuenca / Código DGA	Estero Las Cadenas
Fuente del recurso	Quebrada La Rosa

Nº de ficha	15
Fecha (dd/mm/año)	08-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.198.827	E= 246.519
Coordenadas UTM Centro	N= 6.198.899	E= 246.563
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.198.973	E= 246.603
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 213 ; C = 211 ;	EI = 217

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	170		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 4,70 ;	C = 4,80 ;	EI = 3,30
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	21,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,70		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 44° ;	C = 45° ;	EI = 45°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 37° ;	C = 37° ;	EI = 45°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	14,8
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	13,1
Área estimada o calculada de la poza (m2)	193.700
Ancho máximo de la poza (km)	0,13
Largo de la poza (km)	1,49
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,634

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.198.899 E= 246.563	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Arenosa

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alto
Uniformidad de los taludes	Uniforme aguas arriba y medianamente uniforme aguas abajo
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Depresión existente en el metro 140 a partir del estribo derecho (ver álbum fotográfico)
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	Indicios de deslizamiento en el metro 140, al igual que la depresión (ver álbum fotográfico)
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 en el talud de aguas abajo en el pie
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
Vertederos libres, sin control	
Vertederos controlados por compuertas	X

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	
Trapezoidales	X
Triangulares	
Circulares	

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero controlado por compuerta con salida a canal revestido de 2,7 mts de ancho por 2,0 mts de alto
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	Regular, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Carga Máxima 13,5 m^3/s; Ancho:12 mts, Alto 2,2 mts (ver monografías)

9. CARACTERISTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

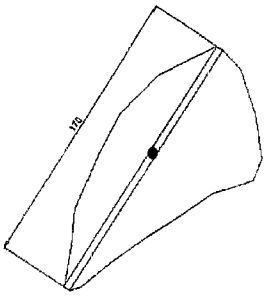
Tipo de estructura	Tubería de 0,20 m de diámetro. También existen unas balsas donde se instalan bombas para la extracción del agua. (El encargado dice que no se usan)
Mediciones estructurales	Tubería de 0,20 m de diámetro
Funcionamiento actual	Operativo

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	canal en tierra, terrenos agricolas, pendiente media 1,4%, ancho medio cauce 29 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	2,26 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	1,74 Km
Densidad de población en las cercanias del tranque	Media - Alta
Distancia hacia zonas agricolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,08 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	30 ha

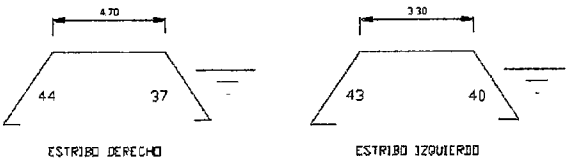
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

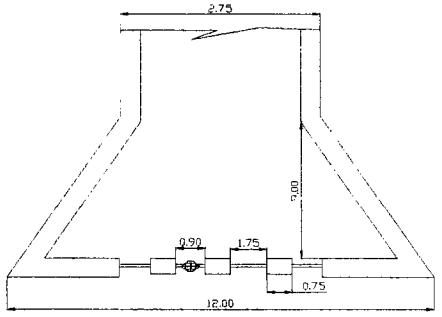


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

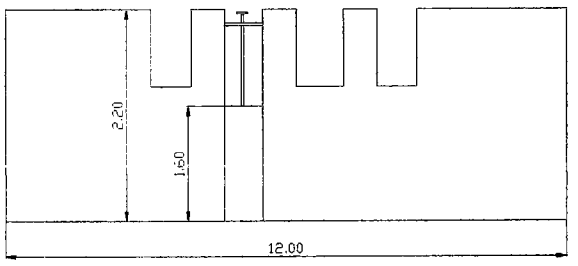
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



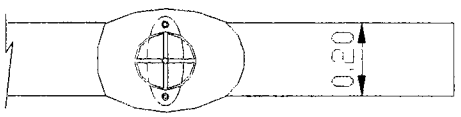
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



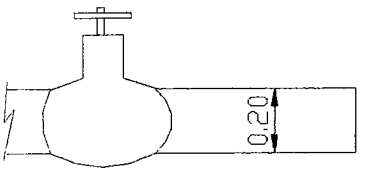
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

En el metro 140 a partir del estribo derecho, por medio de la inspección visual, se detecta en el mismo punto una depresión en el coronamiento, junto con un deslizamiento de tierra en el talud aguas abajo. Esto se debe a que en algún momento se extrajo el agua con bombas y se entrego al canal dejándola escurrir por el talud con protecciones plásticas. (ver álbum fotográfico)

EMBALSE ALCONES

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

16. EMBALSE ALCONES (EL SAUCE)
16.1 Ubicación
16.2 Características Generales
16.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
16.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
16.5 Determinación de Filtraciones
16.6 Verificación del Oleaje
16.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
16.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

16. EMBALSE ALCONES

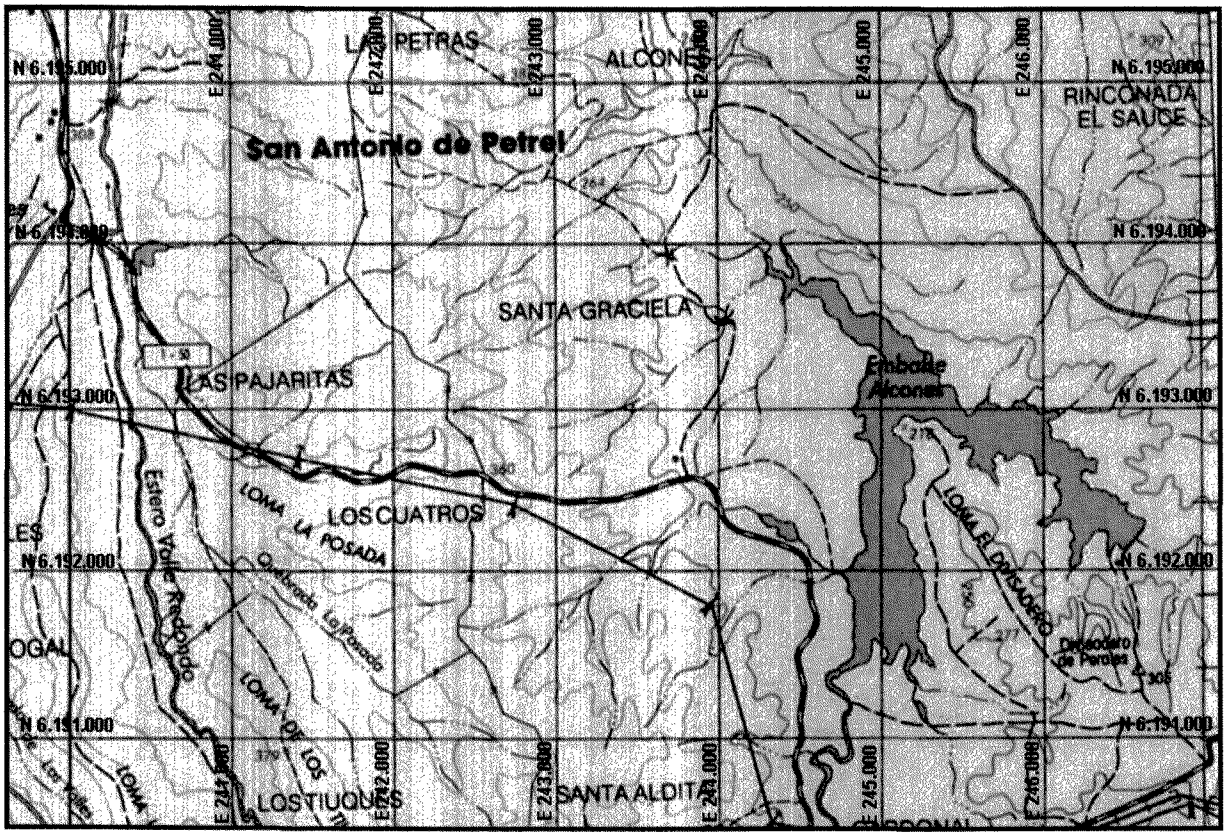
16.1 Ubicación

El embalse Alcones se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.191.839 Norte y 246.460 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 226 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del estero Nilahue, subcuenca del estero Las Cadenas y la fuente corresponde al estero Las Cadenas.

Este sitio de embalse se localiza a 3,7 km del límite con la comuna de Pichilemu. Se puede desde la localidad de Alcones hacia el surponiente por la ruta I-184 aproximadamente 2.2 km hasta el sector la Herradura.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 16.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE ALCONES



Fuente: Carta IGM

16.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Comunidad de Aguas Tranque El Sauce. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1920.

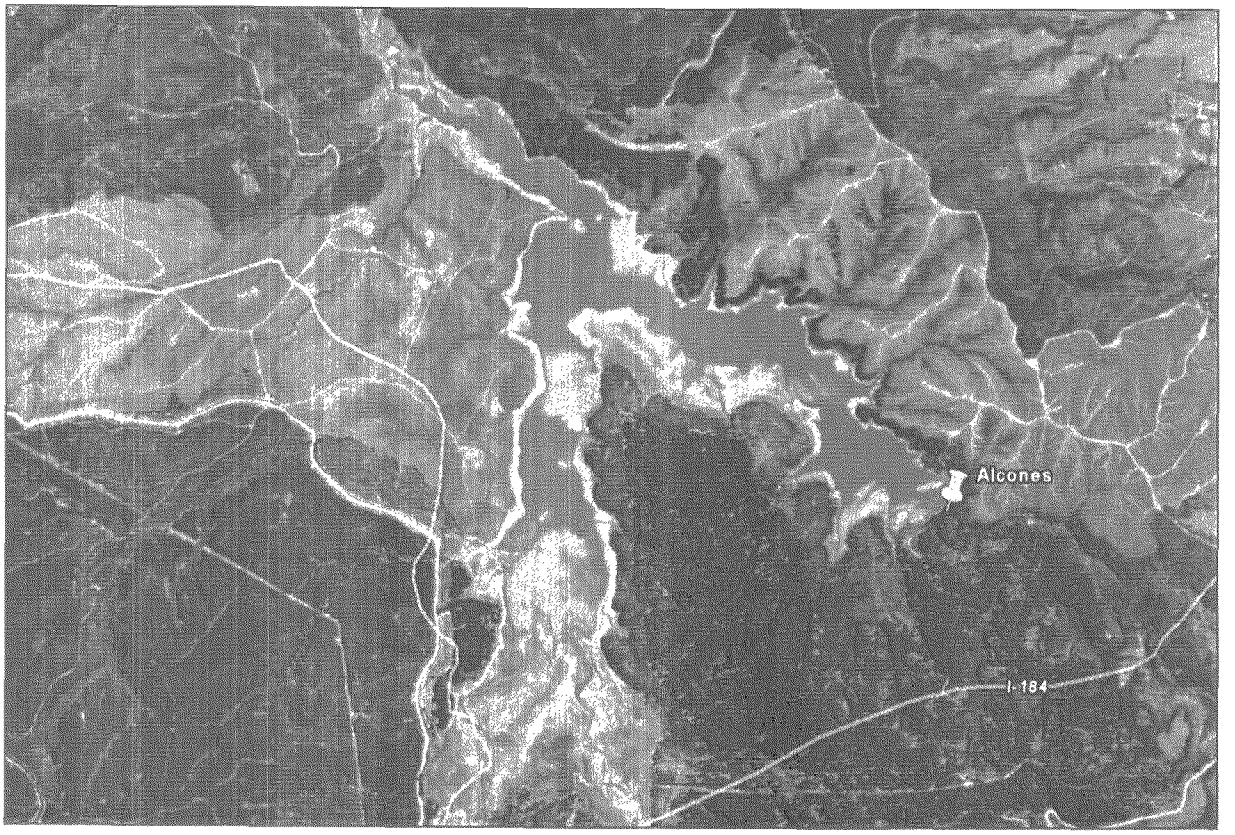
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 7,343 hm^3. La altura máxima del muro es de 27,2 m, con una longitud de coronamiento de 450 m y ancho promedio del coronamiento de 8,0 m y borde libre de 2 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=2,14:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,54:1.

El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero de campana, de ancho medio de 5 m y 5 m de alto. No tiene estructura de control. Regular estado de mantención y operación.

La ***obra de entrega*** corresponde a una estructura circular de hormigón armado de 1,10 m de diámetro con un volante de acero que permite controlar la tubería de entrega de 0,80 m. La obra se encuentra en regular estado de mantención y operación.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 16.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE ALCONES





Vista panorámica Embalse Alcones

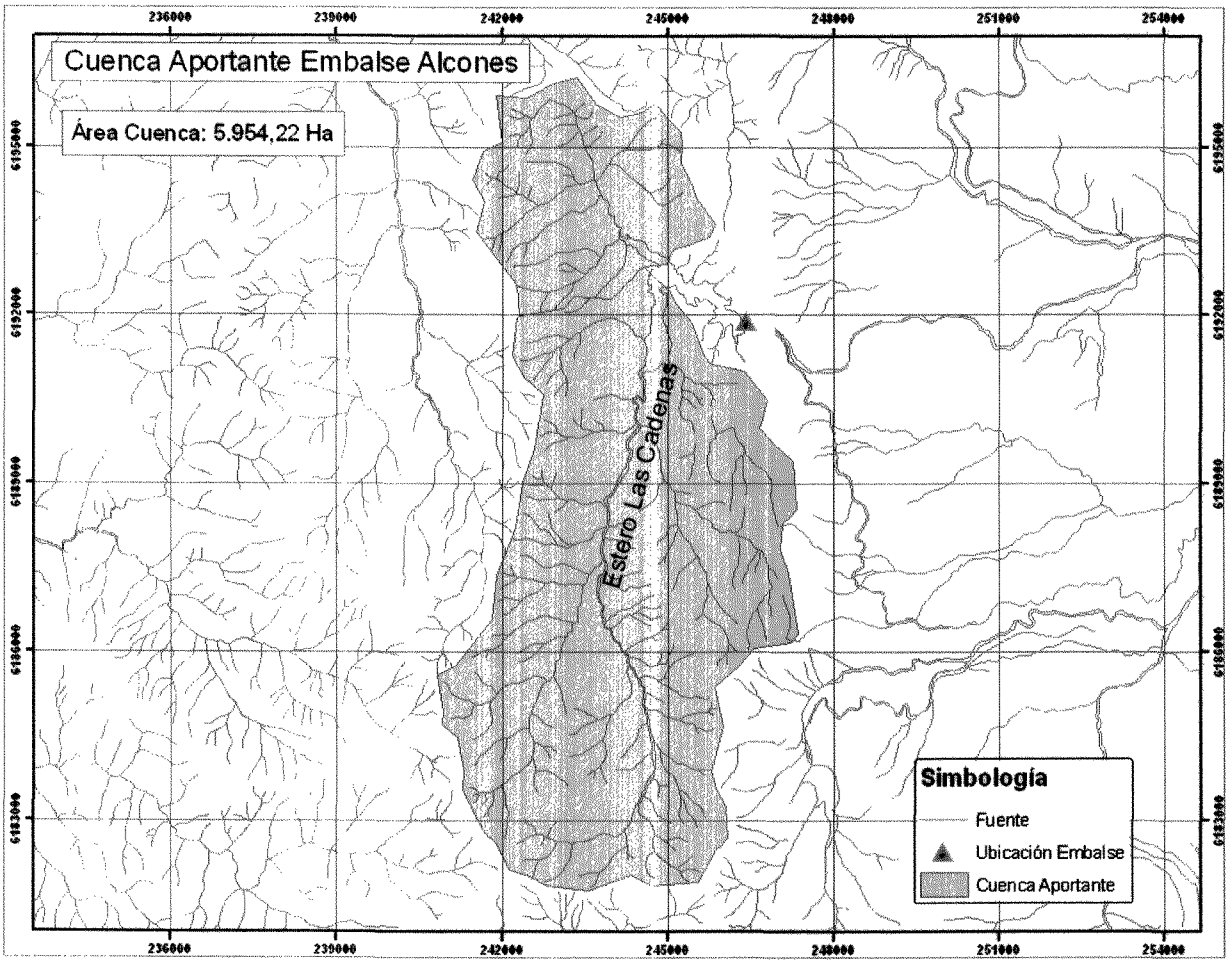
16.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Alcones tiene como fuente al estero Las Cadenas, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 59,54 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 16.3-1
CUENCA EMBALSE ALCONES



CUADRO 16.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Alcones (El Sauce)
SUPERFICIE (ha)	Total	5.954,2
	Pluvial	5.954,2
PERÍMETRO (m)	Total	53.480,0
	Pluvial	53.480,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	610,0
	Mínima	243,4
	Diferencia	366,6
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	14,4
	Cauce	3,5
LONGITUD CAUCE (km)	Total	11,42
	Desde centro de gravedad	5,71
CENTROIDE CUENCA	UTM E	243.943
	UTM N	6.189.391
	Altura (msnm)	292,6
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	243.891
	UTM N	6.187.756
	Altura (msnm)	253
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Alcones	1,63	8,55	0,21	1,47	1,47

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Alcones	Rapel	0,189	90	Nilahue

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Alcones	T=2	0,47	Nilahue	0,6	11,5	17,2	60,7
	T=5	0,60	Nilahue	0,8	15,8	25,6	106,8
	T=11	0,68	Nilahue	1,0	18,5	45,1	141,9
	T=15	0,73	Nilahue	1,1	20,2	54,1	166,6
	T=20	0,77	Nilahue	1,2	21,5	61,5	186,6
	T=25	0,80	Nilahue	1,2	22,3	66,7	200,6
	T=50	0,87	Nilahue	1,4	25,3	84,8	247,5
	T=100	1	Nilahue	1,5	28,3	112,0	318,2

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Alcones	5,80	13,48	18,22	20,85	23,51	25,33	31,34	38,27

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Alcones	120,20	142,51	159,39

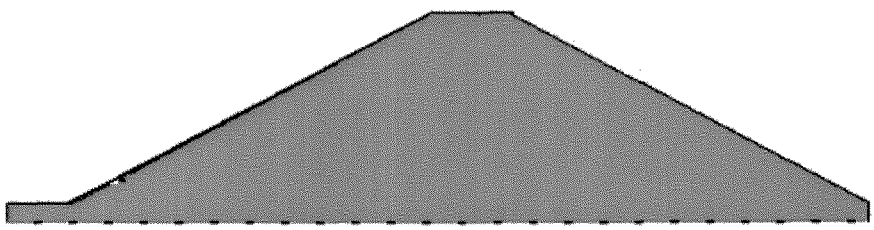
16.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla limo arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	16,34 m
Ancho coronamiento	8,0 m
Borde libre	2,0 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 2,14 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,54 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 16.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 24°	2,5	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 16.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

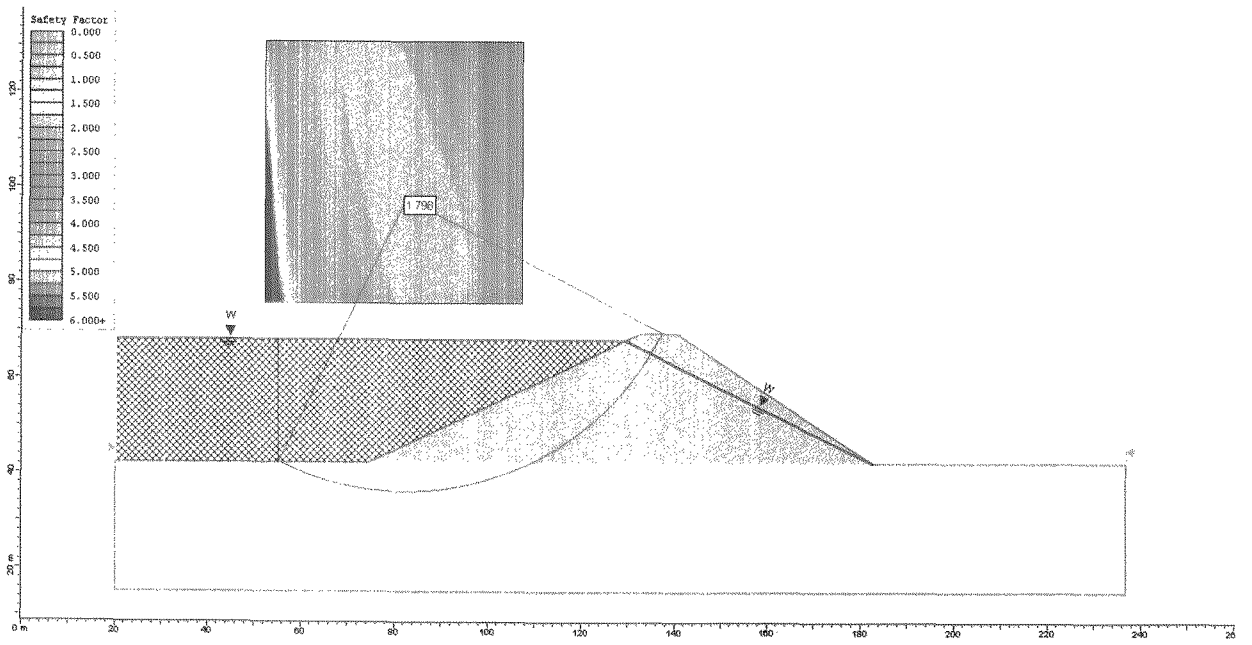


FIGURA 16.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

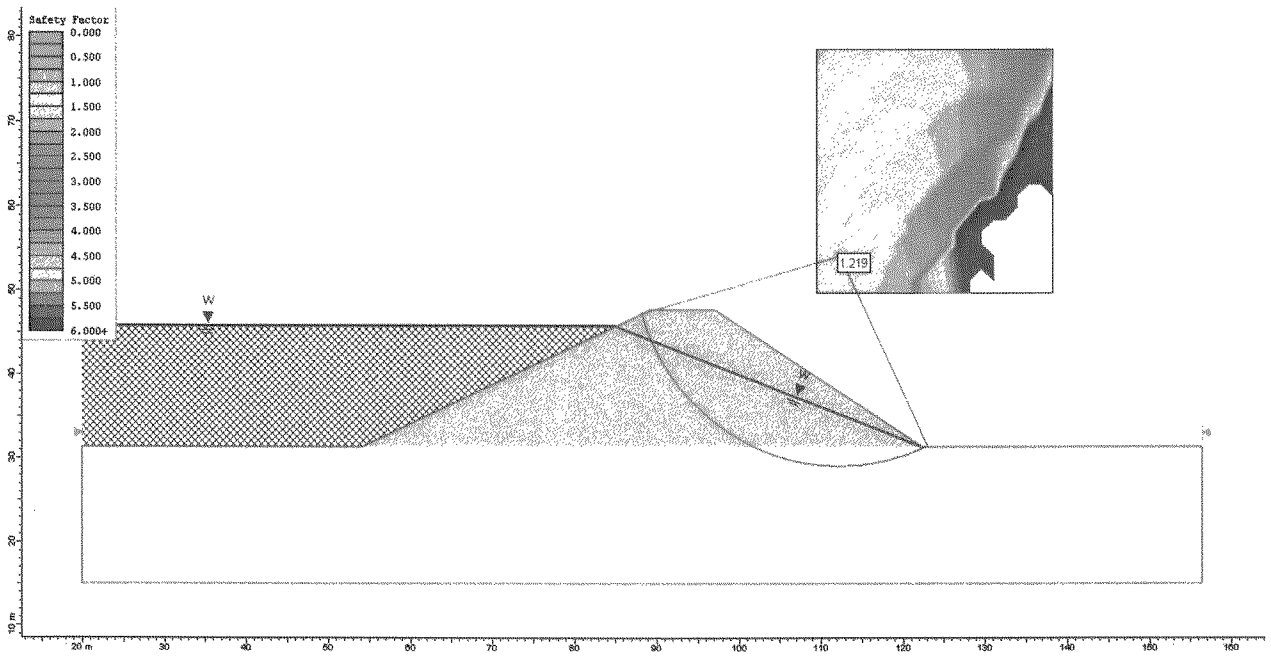


FIGURA 16.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

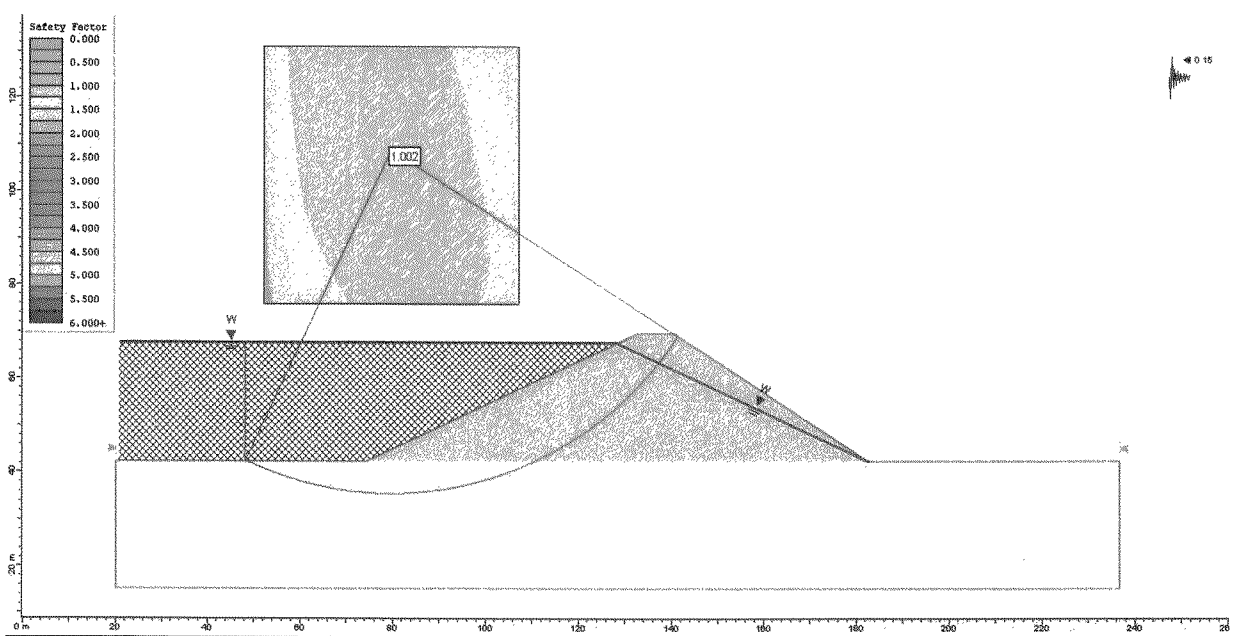


FIGURA 16.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

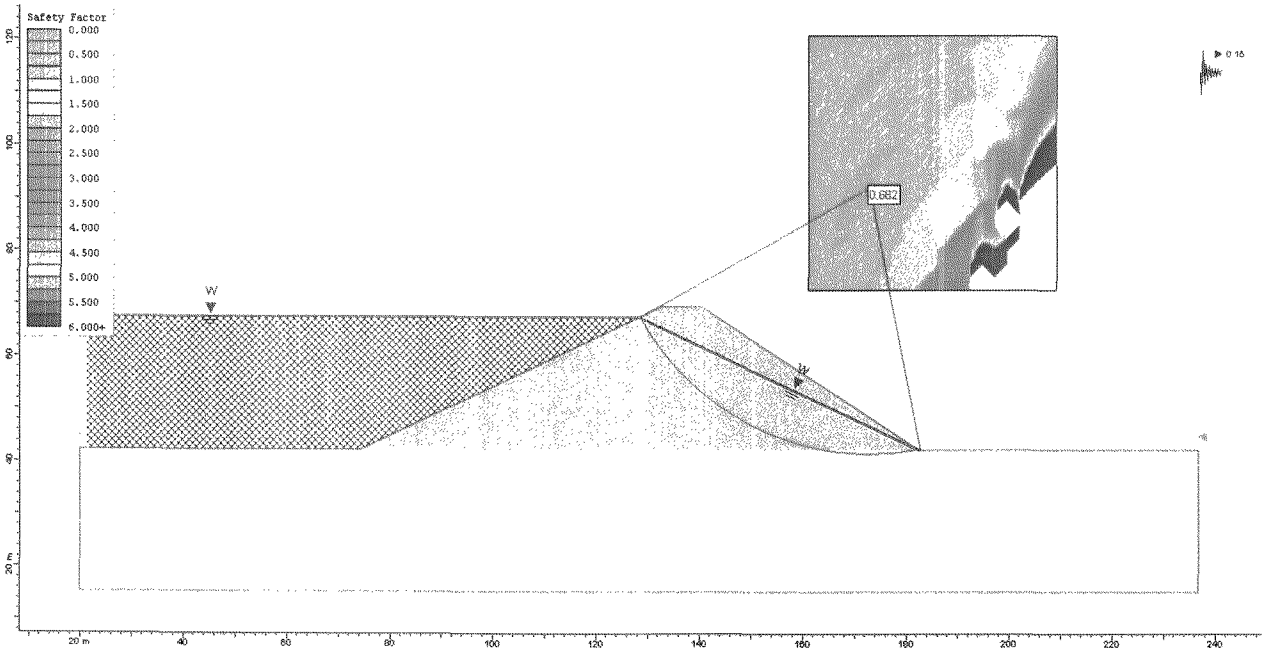


FIGURA 16.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

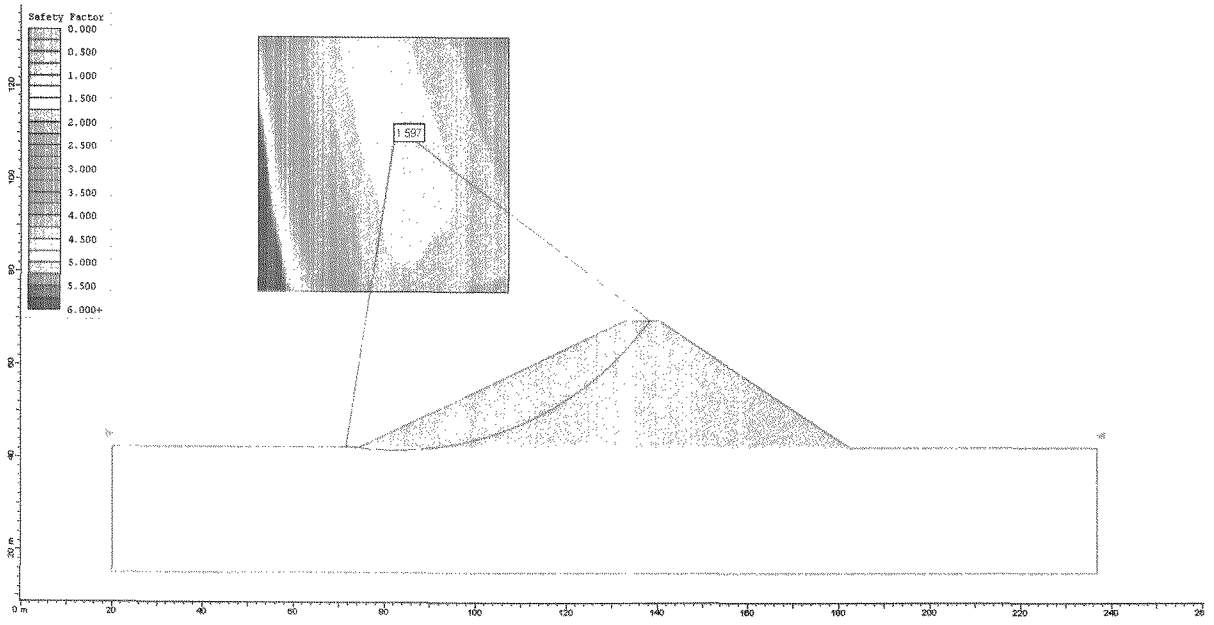


FIGURA 16.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

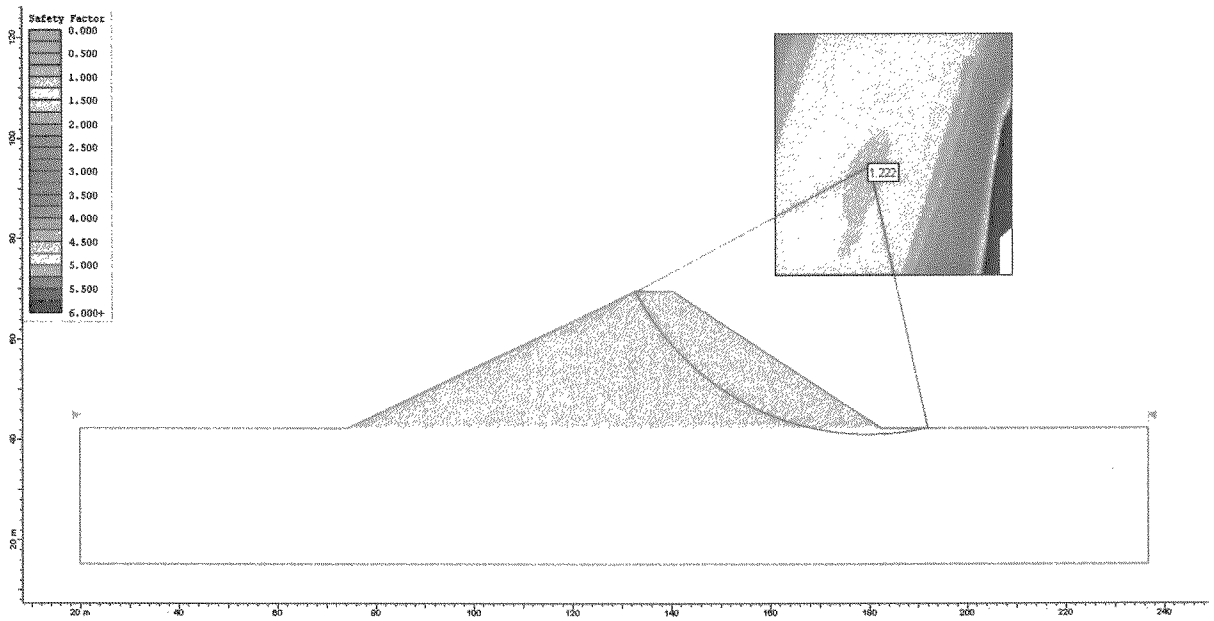


FIGURA 16.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

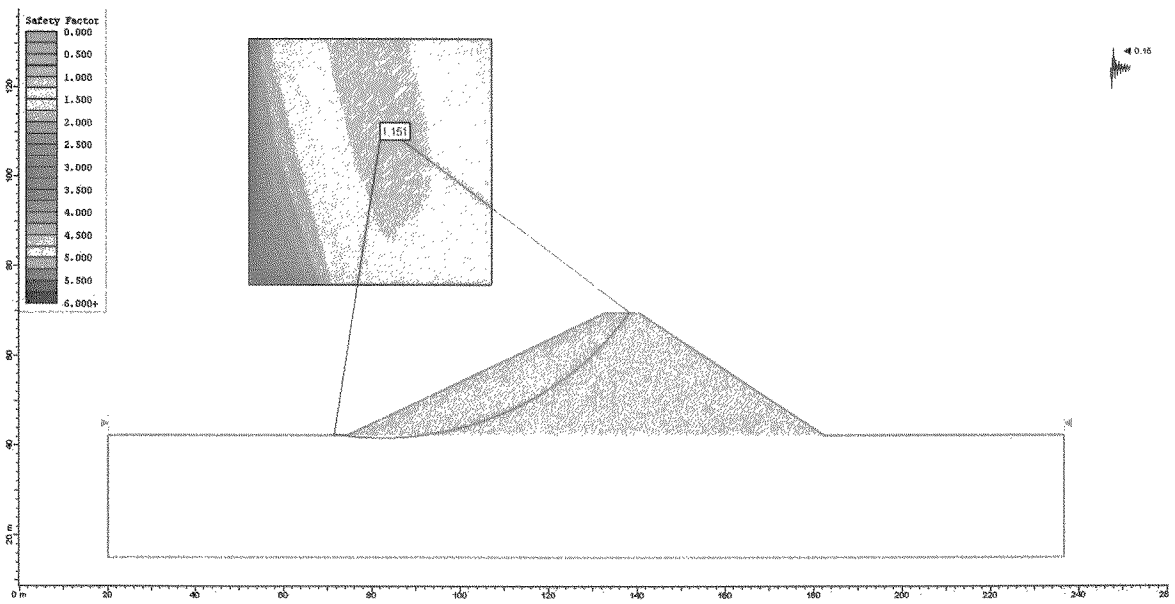
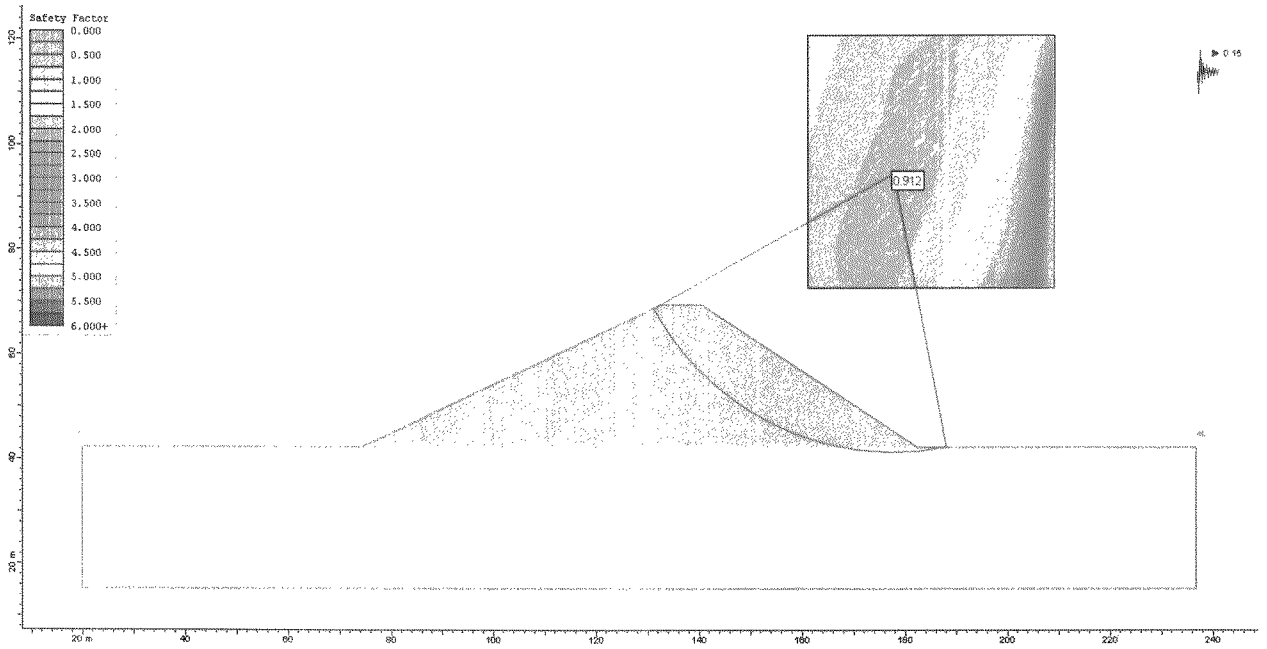


FIGURA 16.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 16.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Alcones	2,021	1,219	1,141	0,900

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Alcones	1,827	1,427	1,320	1,065

16.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Alcones***, se tiene:

Lh (m) =	108,4	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,70	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	25,23	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
ALCONES	108,4	0	36,12	27,2	2,0	25,232	1,70	42,9	No

16.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Alcones.

ALCONES
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	87	0,0541	0,0299
2	36	0,8090	0,6545	111	0,0690	0,0451
3	30	0,8660	0,7500	151	0,0938	0,0704
4	24	0,9135	0,8346	175	0,1087	0,0908
5	18	0,9511	0,9045	251	0,1560	0,1411
6	12	0,9781	0,9568	460	0,2858	0,2735
7	6	0,9945	0,9891	1187	0,7376	0,7295
8	0	1,0000	1,0000	1987	1,2347	1,2347
9	6	0,9945	0,9891	1987	1,2347	1,2212
10	12	0,9781	0,9568	578	0,3592	0,3436
11	18	0,9511	0,9045	604	0,3753	0,3395
12	24	0,9135	0,8346	635	0,3946	0,3293
13	30	0,8660	0,7500	468	0,2908	0,2181
14	36	0,8090	0,6545	440	0,2734	0,1789
15	42	0,7431	0,5523	451	0,2802	0,1548
	Suma	**13,5109**			Suma	**5,4002**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,400 millas
F = 643,24 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,65	0,8087
Molitor	2,46	0,7513
Creager	1,37	0,4163
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **2,00 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

16.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

16.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

16.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**32,95** m^3/s	
Coeficiente capacidad	0,36	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**11,86** m^3/s	

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	120,20	0,95	0,00	0
0,002	142,51	0,95	0,00	0
0,0010	159,39	0,95	0,00	0

16.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

16.7.4 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

16.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

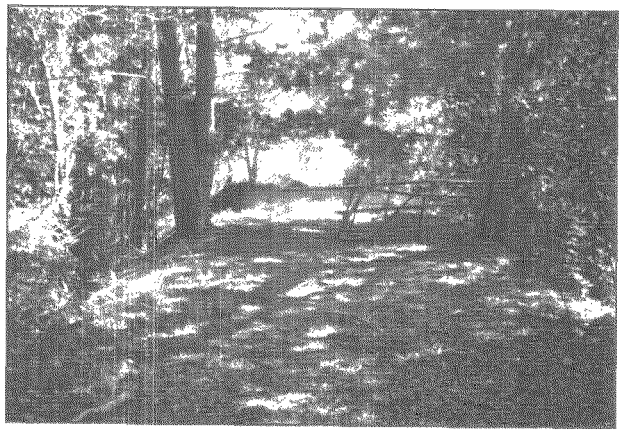
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,80	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

16.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Alcones.

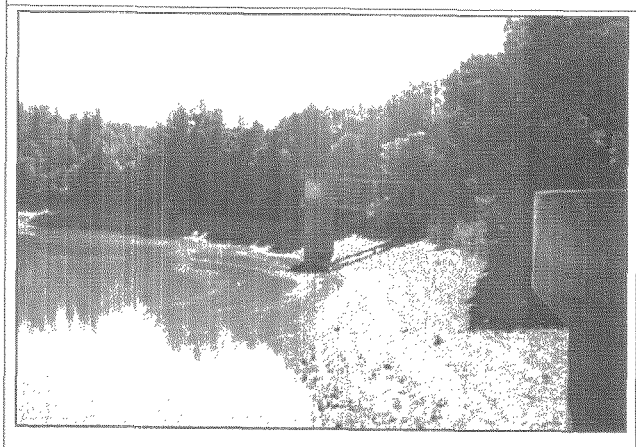
VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO



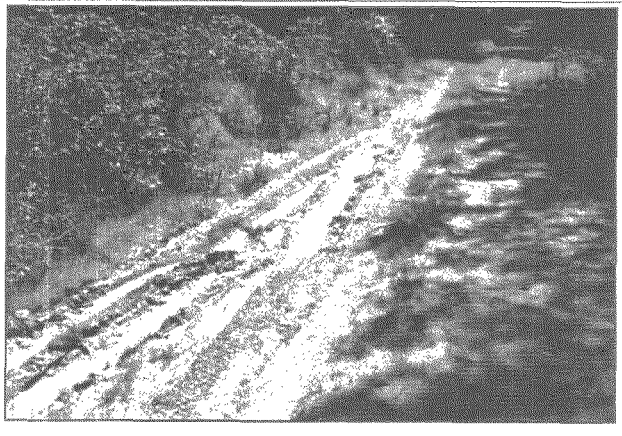
VISTA MURO HACIA ESTRIBO IZQUIERDO



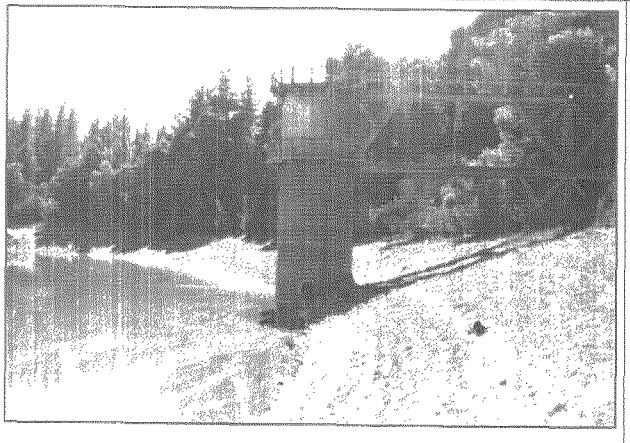
VISTA TAULD AGUAS ARRIBA



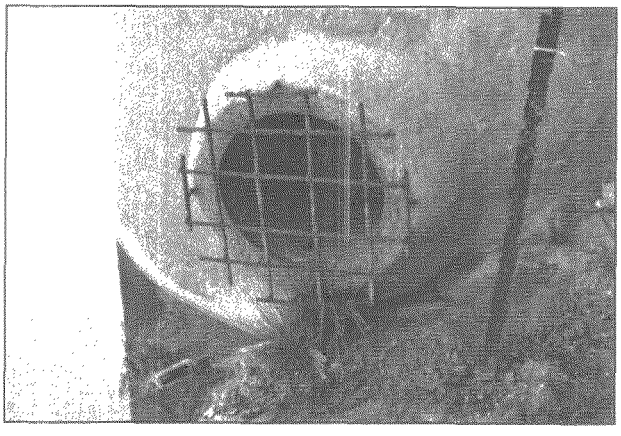
DEPRESION EN EL MURO



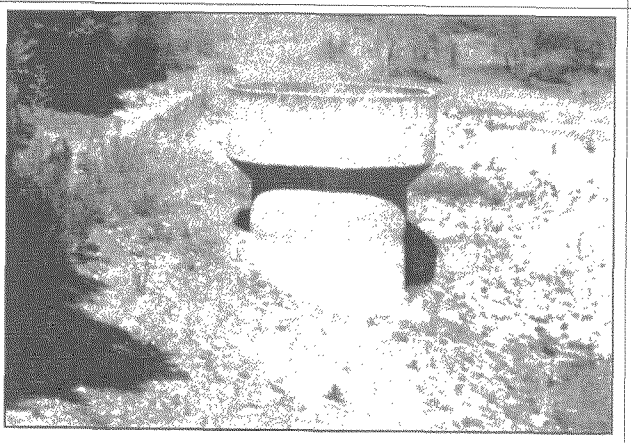
OBRA DE ENTREGA



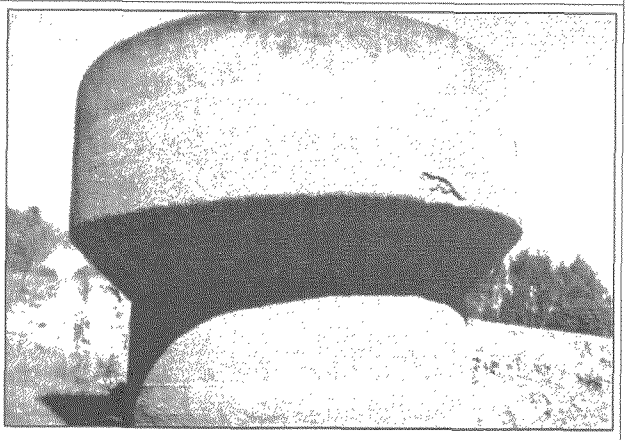
OBRA DE ENTREGA



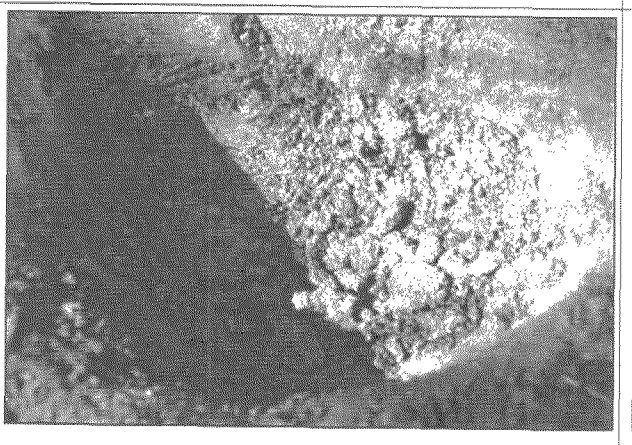
EVACUADOR DE CRECIDAS



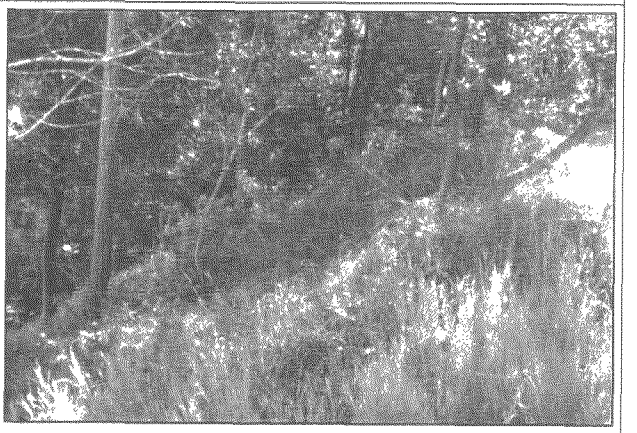
EVACUADOR DE CRECIDAS



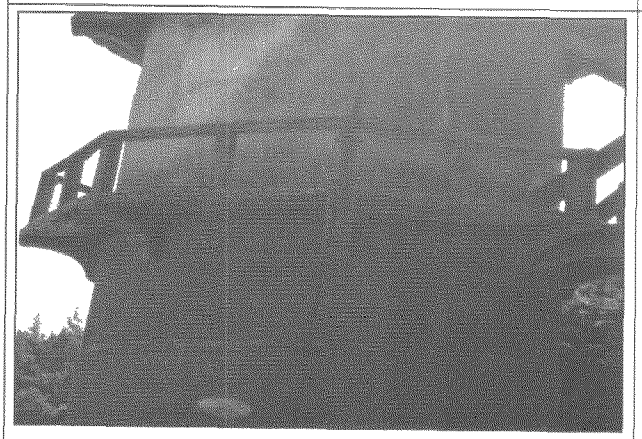
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



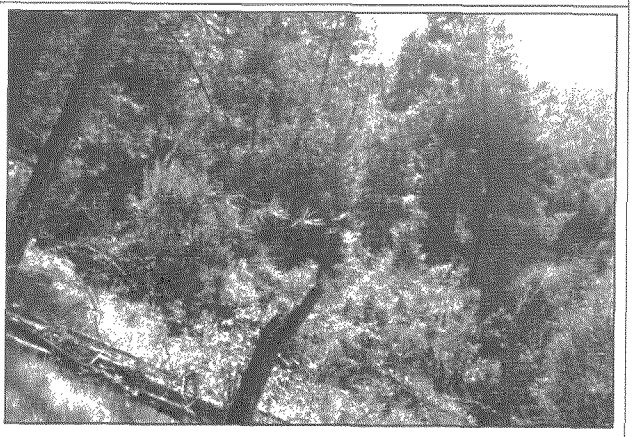
VISTA TALUD AGUAS ABAJO



PARAMENTO VERTICAL



VEGETACION EN EL MURO AGUAS ABAJO



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Alcones (El Sauce)
Propietario	Comunidad de Aguas Tranque El Sauce
RUT Propietario	56.085.310-6
Año de construcción	1920
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Río Nilahue
Subcuenca / Código DGA	Estero Las Cadenas
Fuente del recurso	Estero Las Cadenas

Nº de ficha	16
Fecha (dd/mm/año)	05/10/2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.191.708	E= 246.303
Coordenadas UTM Centro	N= 6.191.839	E= 246.460
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.192.026	E= 246.455
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 226; C = 226;	EI = 230

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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. GEOMETRIA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	450		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 8,0	C =8,0	EI = 8,0
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	50,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	2,0		
Paramentos verticales	SI, el metro 140 desde el estribo derecho (ver álbum fotográfico)		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 33°	C = 33°	EI = 33°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 25°	C = 25°	EI = 25°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	27,2
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	25,2
Área estimada o calculada de la poza (m2)	1.086.200
Ancho máximo de la poza (km)	0,45
Largo de la poza (km)	2,59
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	7,343

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.191.839 E= 246.460	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Limo Arenosa

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Medio-Alto
Uniformidad de los taludes	Medianamente regular en ambos taludes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Se detecto una depresión en el metro 60 a partir del estribo derecho causada por tránsito vehicular (ver álbum fotográfico)
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No fue posible verlo ya que no existe acceso a fondo de quebrada
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No fue posible verlo ya que no existe acceso a fondo de quebrada
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

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

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	
Trapezoidales	
Triangulares	
Circulares	X

Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Vertedero de campana
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	En buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Ancho: 5,0 mts; Alto: 5,0 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGUE DE FONDO

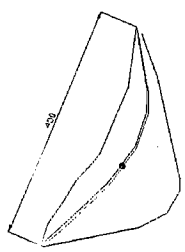
Tipo de estructura	Torre circular de hormigón de 3,0 mts de diámetro y 30,0 mts de alto la que contiene 3 tuberías de 1,20 mts de diámetro que conducen el agua a quebrada natural y son controladas por válvulas
Mediciones estructurales	Torre: 3,0 mts de diámetro; Alto 30,0 mts. Tubería: 1,20 mts de diámetro
Funcionamiento actual	Funcionando. Dado la antigüedad del tranque las válvulas están filtrando agua

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, cerros, pendiente media 3,8%, ancho medio 40 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	2,4 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	2,1 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media - Alta
Distancia hacia zonas agrícolas	1,7 Km.
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	1,4 Km.
Área de riesgo servida por el tranque analizado	

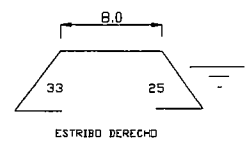
11. MONOGRAFÍA

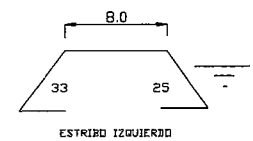
Planta del muro (forma y dimensiones)



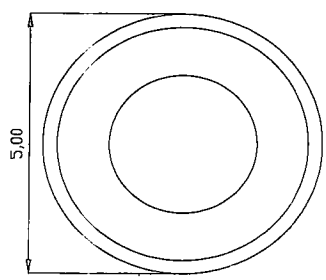
Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes

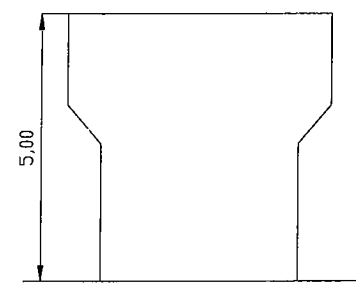




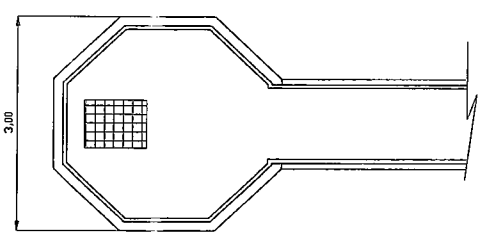
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



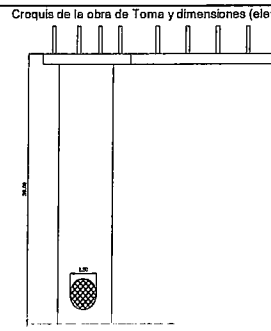
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de Toma y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de Toma y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El recorrido del tranque fue realizado con ayuda del encargado con el que no fue posible bajar al pie del talud aguas abajo por no existir camino habilitado para este efecto, existiendo vegetación densa y taludes bastante empinados

Dado la antigüedad del tranque las válvulas están filtrando bastante agua, es por esta razón que se esta vaciando el tranque para poder renovarlas

EMBALSE MALLERMO

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

17. EMBALSE MALLERMO
17.1 Ubicación
17.2 Características Generales
17.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
17.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
17.5 Determinación de Filtraciones
17.6 Verificación del Oleaje
17.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
17.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

17. EMBALSE MALLERMO

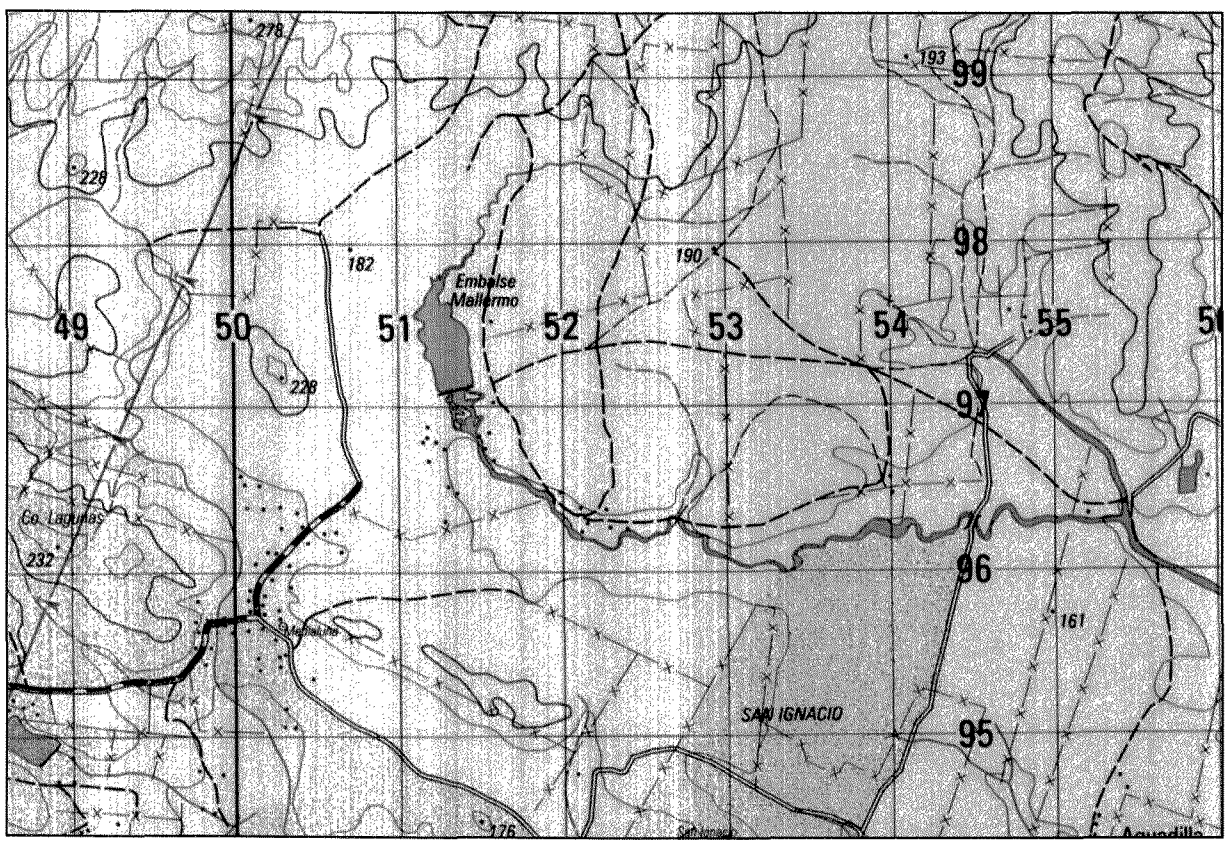
17.1 Ubicación

El embalse Mallermo se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.197.160 Norte y 251.383 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 190 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Tinguiririca, subcuenca del estero Las Cadenas y la fuente corresponde a la quebrada Curamahue.

Este sitio de embalse se localiza al norte del estero La Rosa. Se puede acceder desde la localidad de Alcones, al norte por la ruta I-50 por 4 km hasta el cruce con la ruta I-202, finalmente al nororiente por aproximadamente 2 km.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 17.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE MALLERMO



Fuente: Carta IGM

17.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Sociedad Agrícola de Responsabilidad Ltda. Mallermo. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1920 aproximadamente.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 1,103 hm^3. La altura máxima del muro es de 9,6 m, con una longitud de coronamiento de 489 m y ancho promedio del coronamiento de 4,1 m y borde libre de 2,1 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,38:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,19:1.

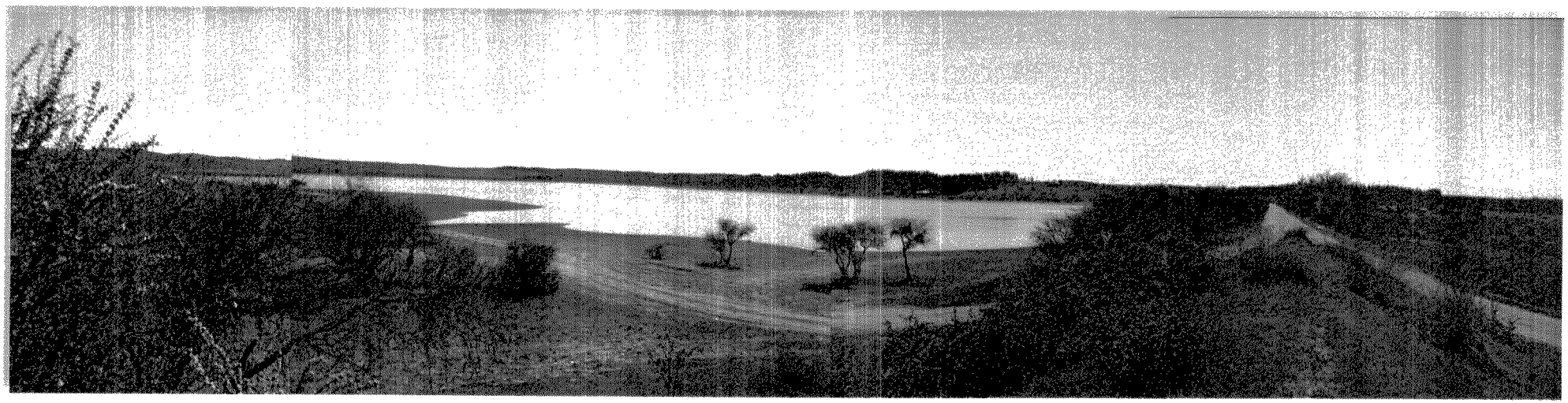
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal de caída libre con salida a canal en tierra. El ancho es de 17,0 m, alto de 0,8 m y largo de 4,6 m. No tiene estructura de control. En buen estado, operacional.

La ***obra de entrega*** corresponde a una obra de hormigón de 2,6 m de ancho por 4,2 m de alto, que contiene tubería de 300 mm de diámetro con válvula de volante por donde sale el agua del tranque y la entrega a canal en tierra de 1,0 m de ancho por 0,3 m de alto. Se encuentra operativo. Existe una filtración en la llave por agotamiento de material.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 17.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE MALLERMO





Vista panorámica Embalse Mallermo

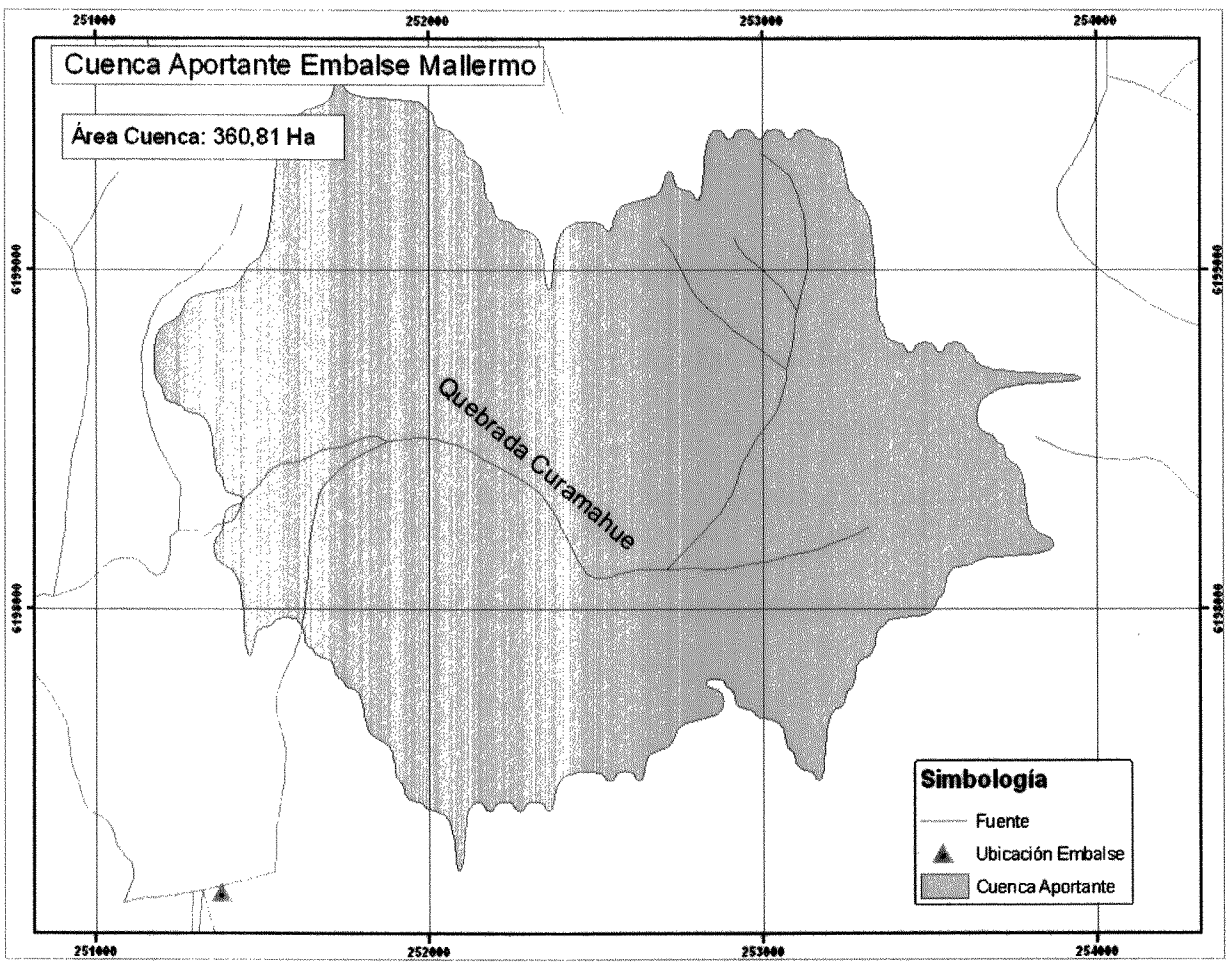
17.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Mallermo tiene como fuente a la quebrada Curamahue , la cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 3,61 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 17.3-1
CUENCA EMBALSE MALLERMO



CUADRO 17.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Mallermo
SUPERFICIE (ha)	Total	360,8
	Pluvial	360,8
PERÍMETRO (m)	Total	13.860,0
	Pluvial	13.860,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	232,2
	Mínima	188,4
	Diferencia	43,8
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	4,4
	Cauce	3,7
LONGITUD CAUCE (km)	Total	3,14
	Desde centro de gravedad	1,57
CENTROIDE CUENCA	UTM E	252.569
	UTM N	6.198.370
	Altura (msnm)	200,3
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	252.295
	UTM N	6.198.450
	Altura (msnm)	192
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Mallermo	0,83	4,45	0,05	0,56	0,56

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HRS EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 hrs,T=10)	Zona CF
Mallermo	Rapel	0,103	77,1	Nilahue

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Mallermo	T=2	0,47	Nilahue	0,6	5,4	1,2	4,6
	T=5	0,60	Nilahue	0,8	7,4	1,8	8,0
	T=11	0,68	Nilahue	1,0	8,7	3,2	10,7
	T=15	0,73	Nilahue	1,1	9,5	3,8	12,5
	T=20	0,77	Nilahue	1,2	10,1	4,3	14,0
	T=25	0,80	Nilahue	1,2	10,4	4,7	15,1
	T=50	0,87	Nilahue	1,4	11,8	5,9	18,6
	T=110	1	Nilahue	1,5	13,2	7,8	23,9

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Mallermo	0,26	0,95	1,28	1,46	1,65	1,78	2,20	2,69

- **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Mallermo	8,42	9,98	11,16

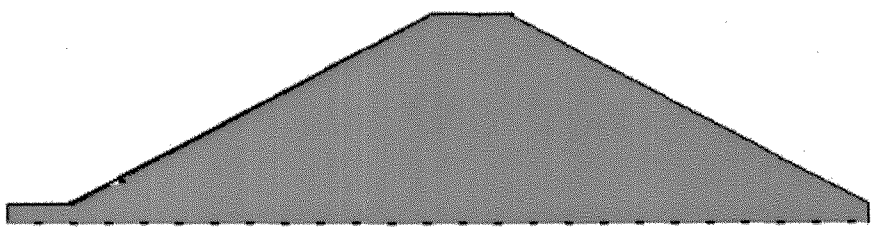
17.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arena arcillosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	8,8 m
Ancho coronamiento	4,1 m
Borde libre	2,1 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,38 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1, 19 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 17.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 25°	1,8	1,75	1,95

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 17.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

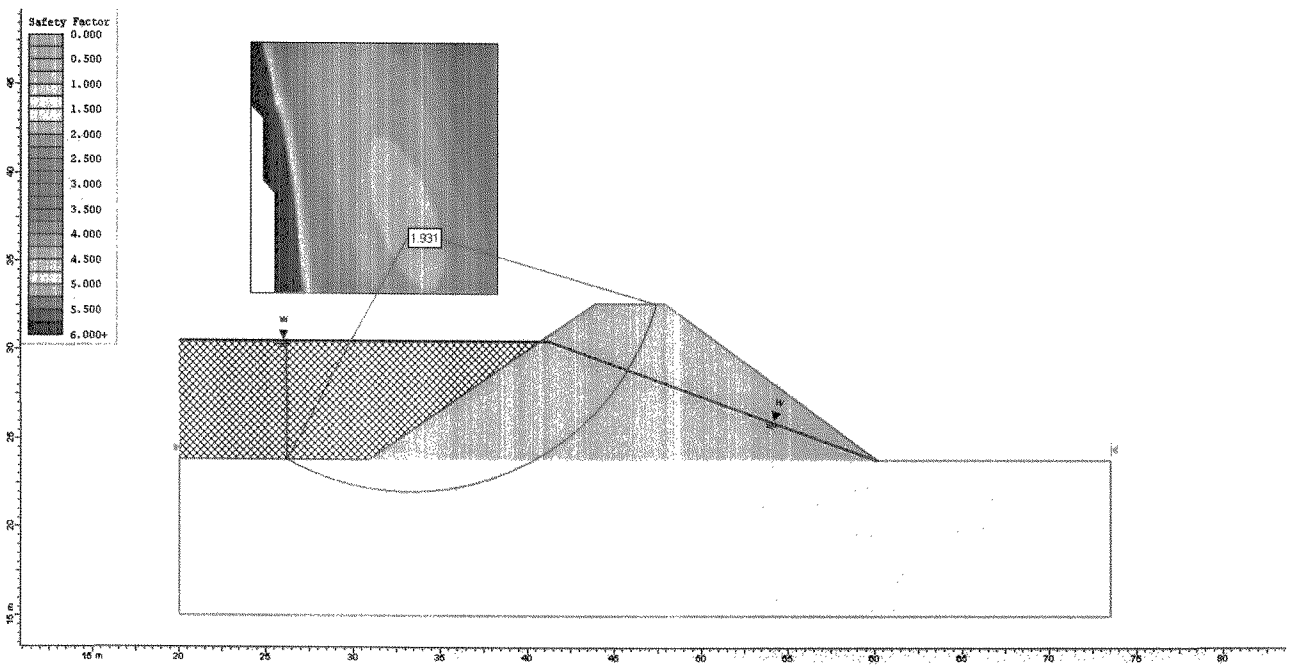


FIGURA 17.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

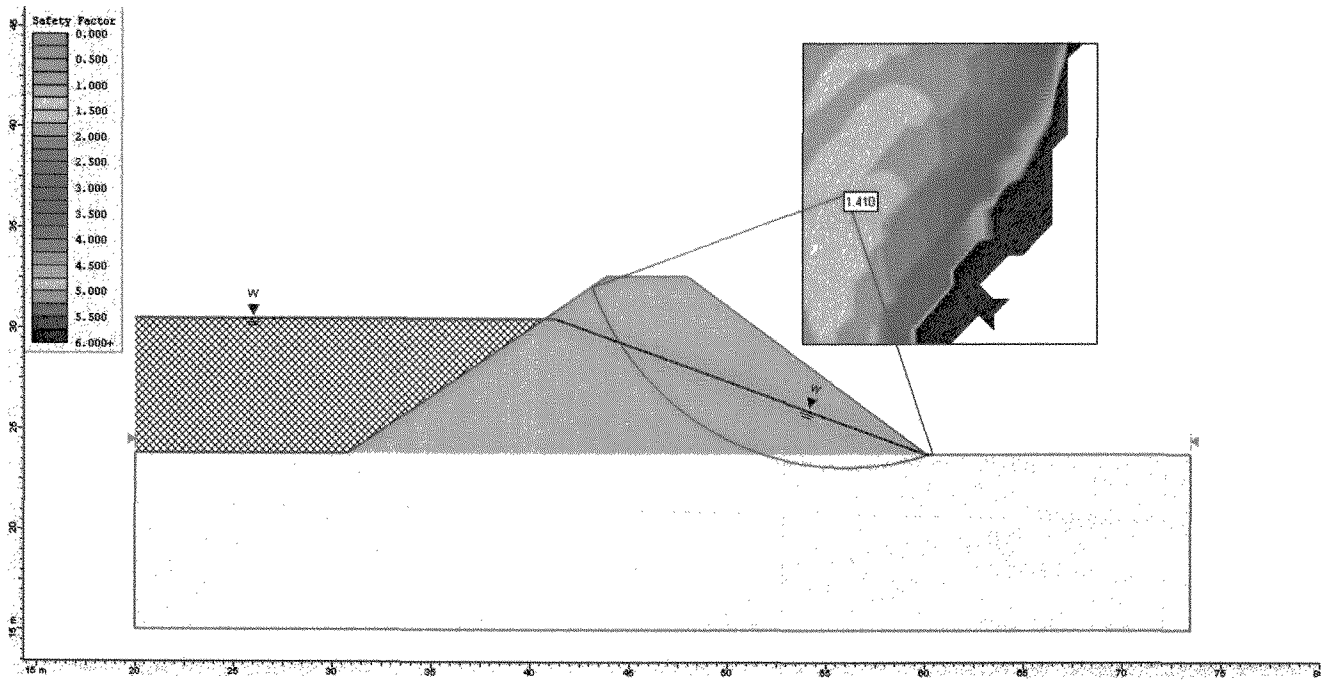


FIGURA 17.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

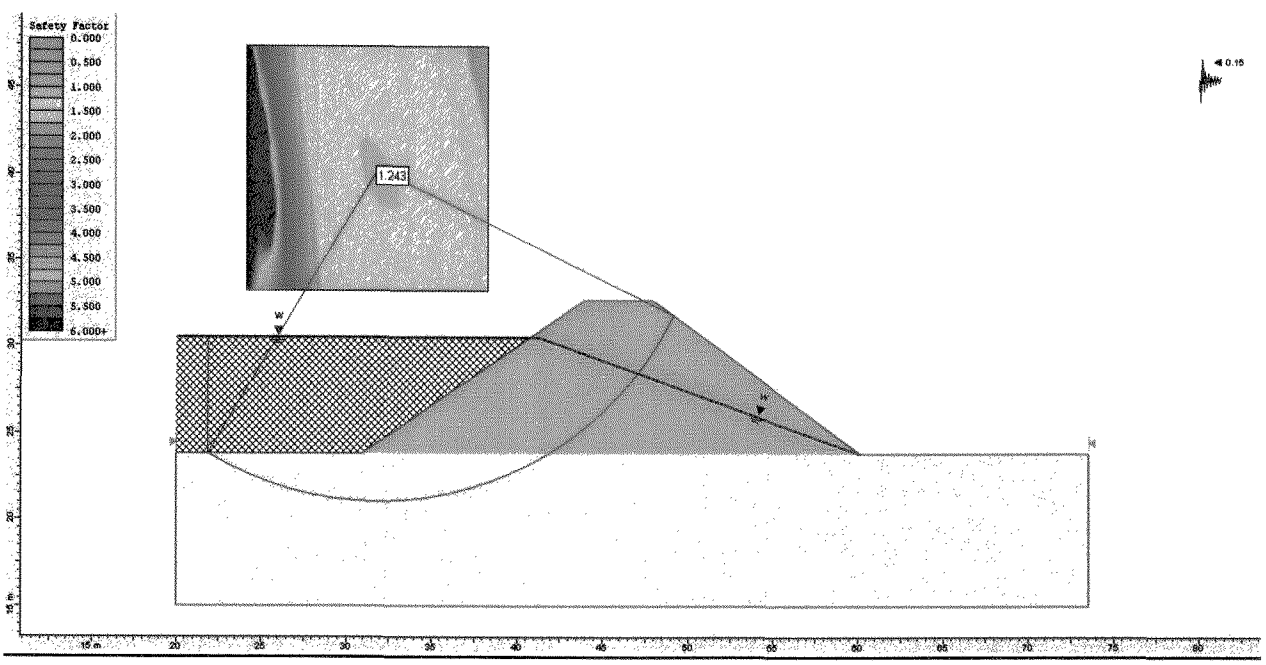


FIGURA 17.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

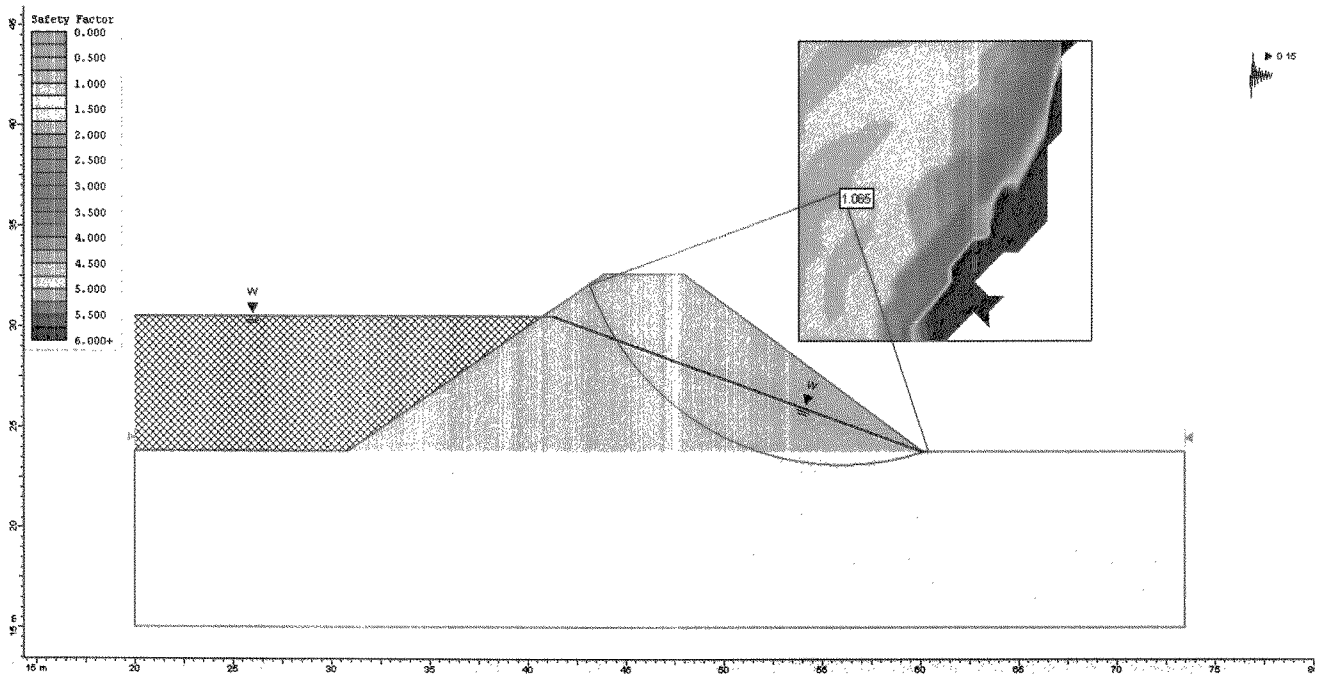


FIGURA 17.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

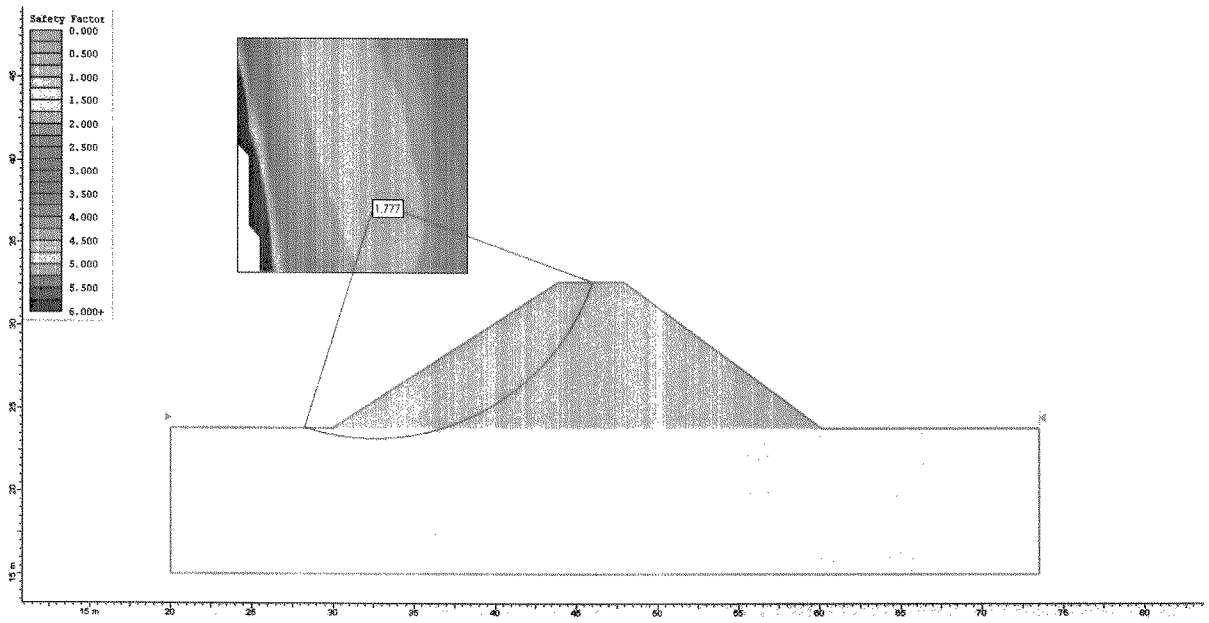


FIGURA 17.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

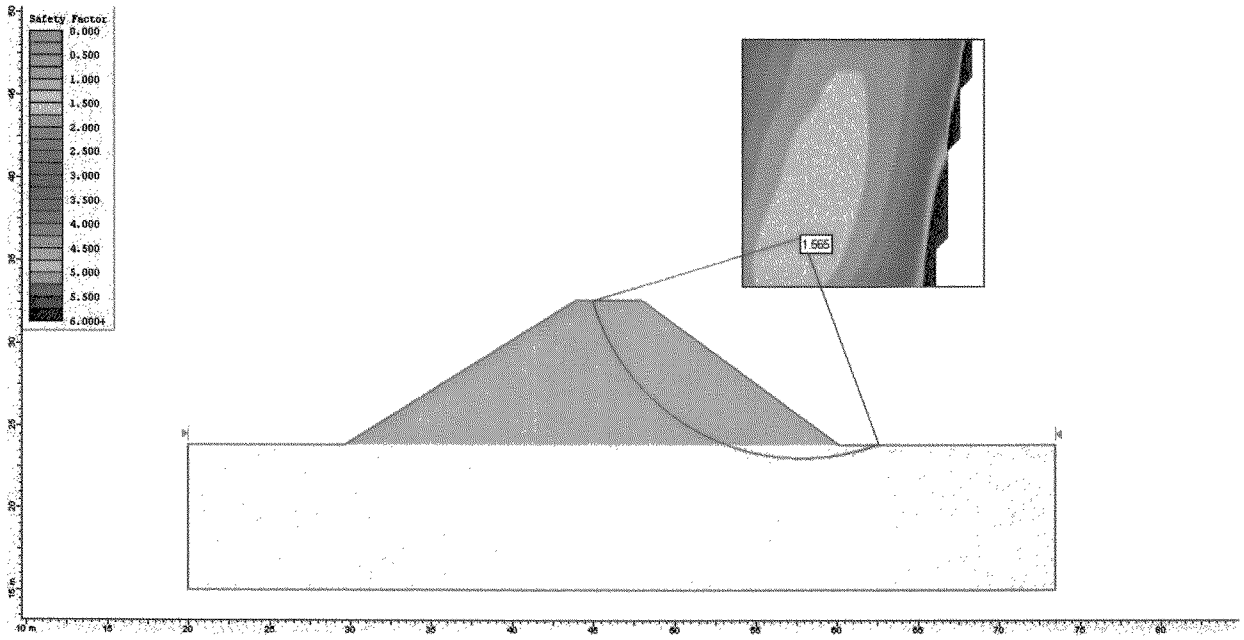


FIGURA 17.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

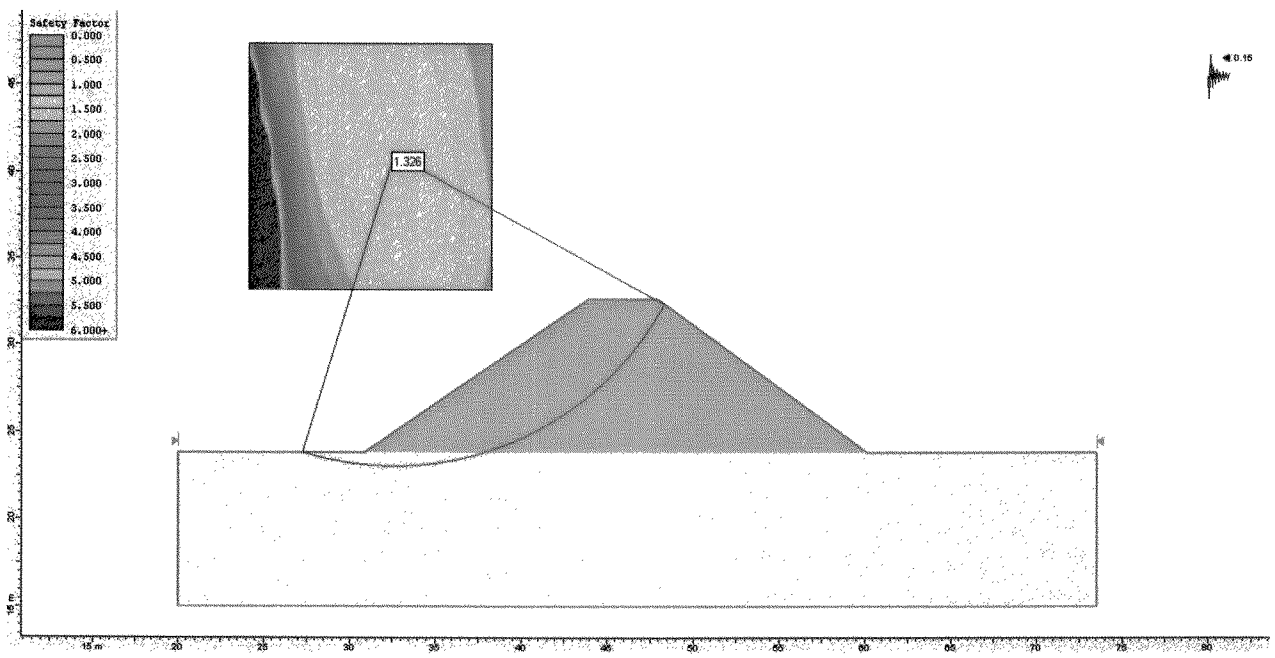
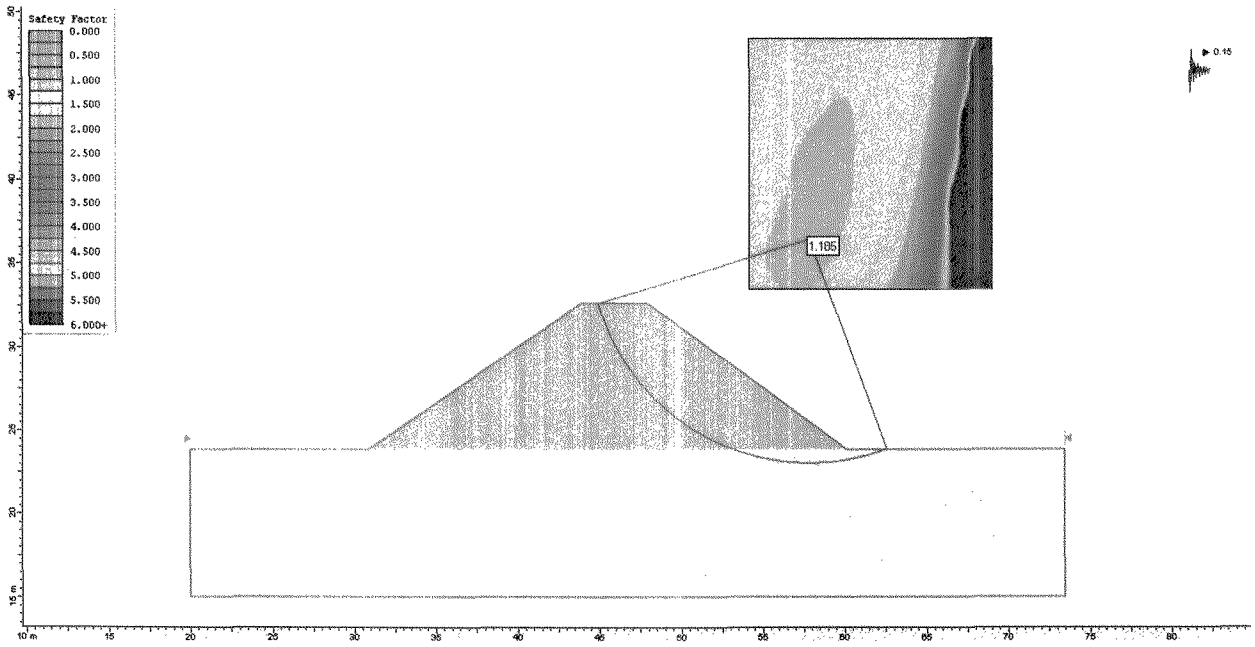


FIGURA 17.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 17.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Mallermo	1,835	1,409	1,233	1,064

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Mallermo	1,575	1,565	1,247	1,185

17.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Mallermo***, se tiene:

Lh (m) =	28,9	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,9	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	7,54	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
MALLERMO	28,9	0	9,62	9,6	2,1	7,542	1,90	14,3	No

17.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Mallermo.

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **2,10 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

MALLERMO
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	271	0,1684	0,0930
2	36	0,8090	0,6545	269	0,1671	0,1094
3	30	0,8660	0,7500	288	0,1790	0,1342
4	24	0,9135	0,8346	372	0,2311	0,1929
5	18	0,9511	0,9045	452	0,2809	0,2540
6	12	0,9781	0,9568	600	0,3728	0,3567
7	6	0,9945	0,9891	1406	0,8736	0,8641
8	0	1,0000	1,0000	1346	0,8364	0,8364
9	6	0,9945	0,9891	1167	0,7251	0,7172
10	12	0,9781	0,9568	1129	0,7015	0,6712
11	18	0,9511	0,9045	1082	0,6723	0,6081
12	24	0,9135	0,8346	1045	0,6493	0,5419
13	30	0,8660	0,7500	497	0,3088	0,2316
14	36	0,8090	0,6545	1002	0,6226	0,4075
15	42	0,7431	0,5523	1000	0,6214	0,3432
	Suma	**13,5109**			Suma	**6,3615**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,471 millas
F = 757,74 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,70	0,8232
Molitor	2,50	0,7609
Creager	1,45	0,4423
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

17.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\,V\,E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

17.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	0,1
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	

17.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación: **3,9** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,36 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **1,404** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	8,42	0,95	0,00	0
0,002	9,98	0,95	0,00	0
0,0010	11,16	0,95	0,00	0

17.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

17.7.4 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

17.7.5 Riesgo

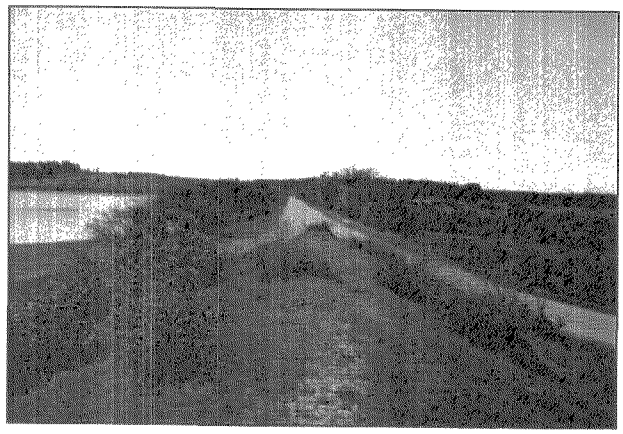
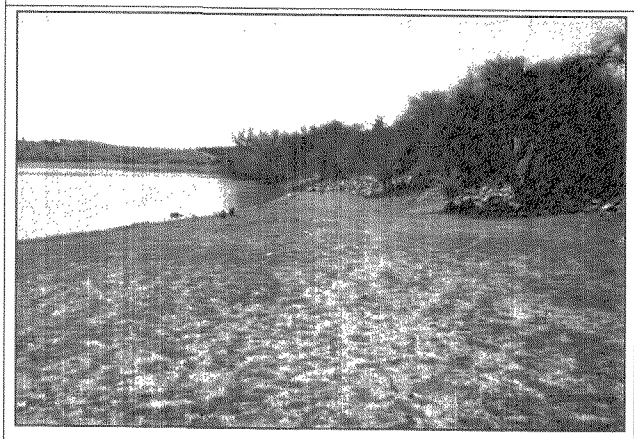
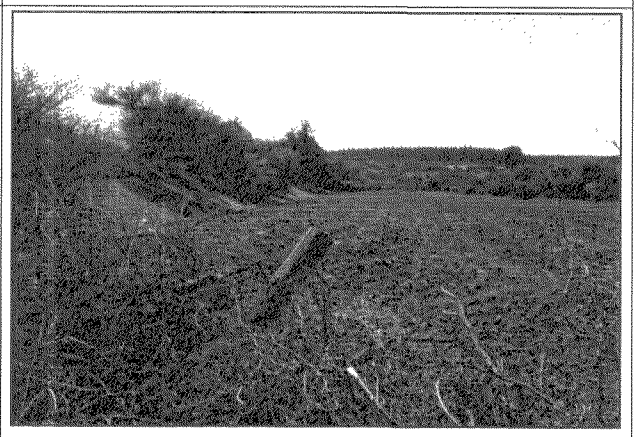
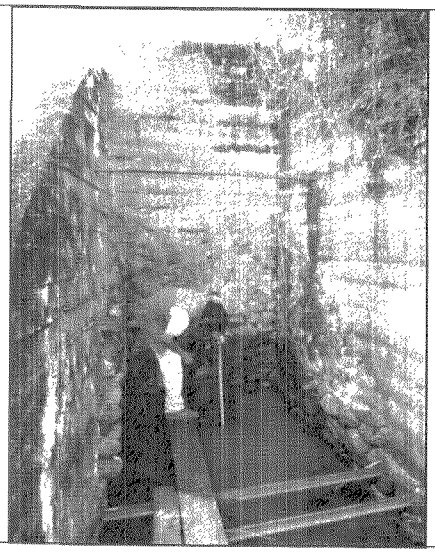
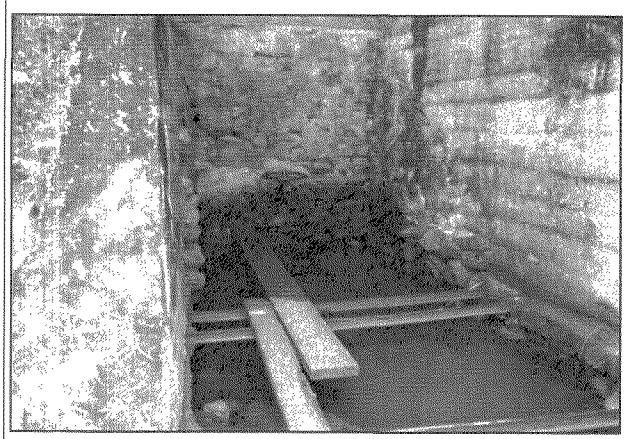
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

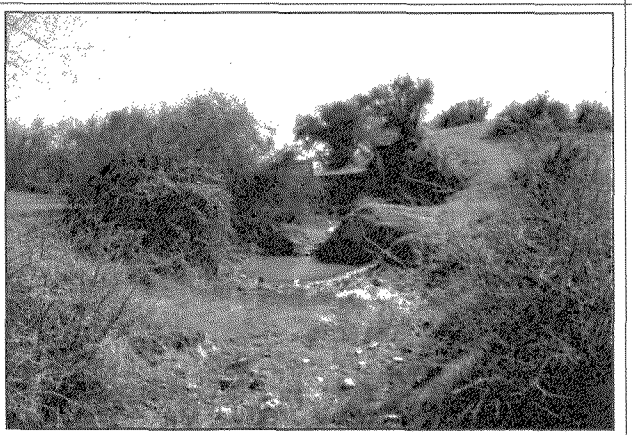
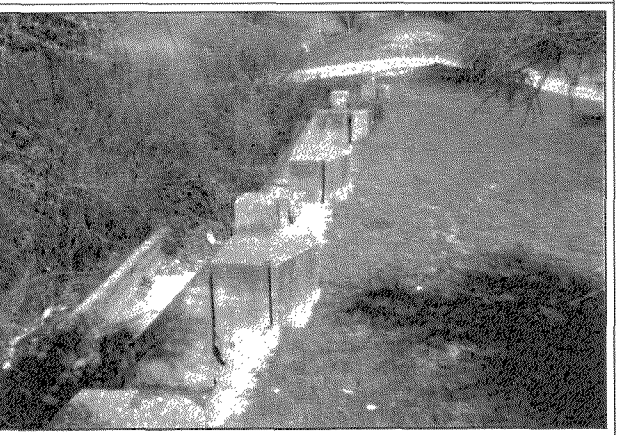
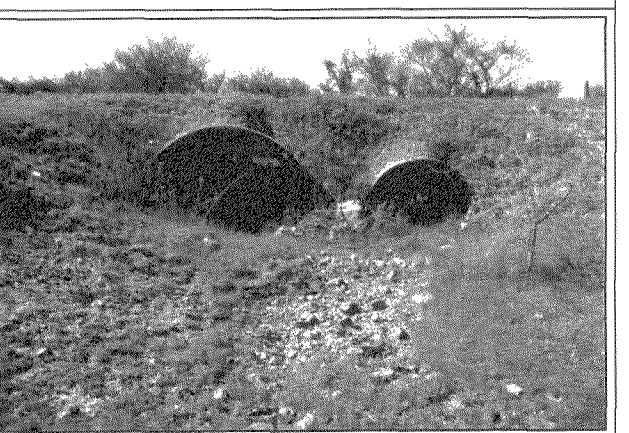
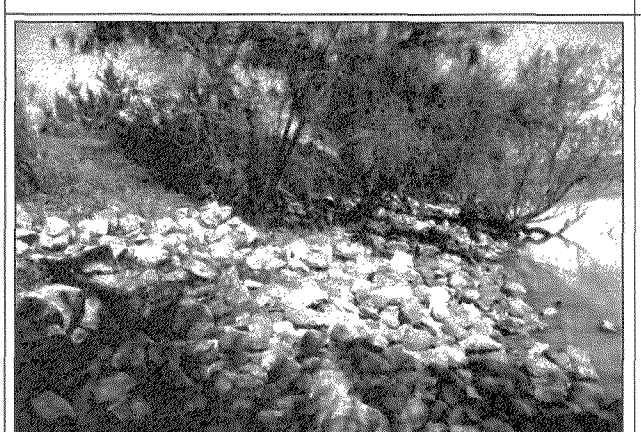
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,40	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	1,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía.

17.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Mallermo.

VISTA MURO	VISTA MURO
	
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA	VISTA TALUD AGUAS ABAJO
	
OBRA DE ENTREGA	OBRA DE ENTREGA
	

EVACUADOR DE CRECIDAS	EVACUADOR DE CRECIDAS
	
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	TUBOS DE ACERO CORRUGADO A LA SALIDA DEL EVACUADOR DE CRECIDAS
	
ENROCADO EN TALUD AGUAS ARRIBA	BAJADAS AL TRANQUE EN EL SECTOR DEL ESTRIBO IZQUIERDO
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Mallermo
Propietario	Sociedad Agrícola de Responsabilidad Ltda Mallermo
RUT Propietario	Sin Rut
Año de construcción	1920
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	1994 y 2003
Cuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Subcuenca / Código DGA	Estero Las Cadenas
Fuente del recurso	Quebrada Curamahue

Nº de ficha	17
Fecha (dd/mm/año)	06/10/2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	✓
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.197.100	E= 251.113
Coordenadas UTM Centro	N= 6.197.160	E= 251.383
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.197.208	E= 251.590
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 189 ; C = 190 ; EI = 189	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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 huinche			
Longitud del coronamiento (m)	489		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 2,50	C = 4,60 ;	EI = 5,20
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	15,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	2,1		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 42° ;	C = 36° ;	EI = 41°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 33° ;	C = 39° ;	EI = 37°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	9.6
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	7.5
Área estimada o calculada de la poza (m2)	588.500
Ancho máximo de la poza (km)	0.55
Largo de la poza (km)	1.07
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	1.103

7. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.197.160 E= 251.383	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arena Arcillosa

7. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	***Describir***
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alto
Uniformidad de los taludes	Uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No, solo baja al tranque en Estribo izquierdo (ver álbum fotográfico)
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	No se aprecian filtraciones en el talud de aguas abajo en el pie
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada y 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	X
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	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	
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	Vertedero de caída libre, salida a canal en tierra
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	Buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Carga Máxima 39,6 m^3/s; Ancho: 17,0 mts, Alto: 0,8 mts, Largo: 4,8 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

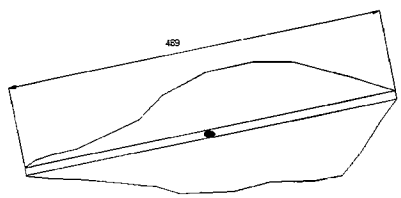
Tipo de estructura	Obra de hormigón de 2,6 mts de ancho por 4,2 mts de alto, que contiene tubería de 30 cms de diámetro con válvula de volante por donde sale el agua del tranque y la entrega a canal en tierra de 1,0 mts de ancho por 0,3 mts de alto
Mediciones estructurales	Obra de hormigón de 2,6 mts de ancho por 4,2 mts de alto; tubería de 30 cms de diámetro; y salida a canal en tierra de 1,0 mts de ancho por 0,3 mts de alto
Funcionamiento actual	Operativo. Existe una filtración en la llave por fatiga de material

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 0,6%, ancho medio cauce 3,0 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	3,83 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	3,83 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	baja
Distancia hacia zonas agrícolas	adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	camino por el coronamiento del muro
Área de riego servida por el tranque analizado	30 ha

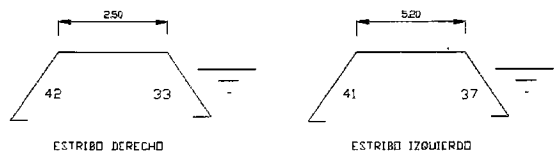
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)

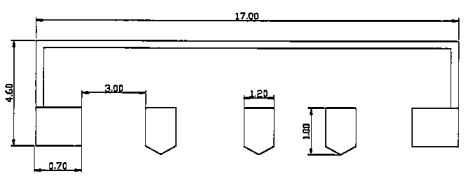


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

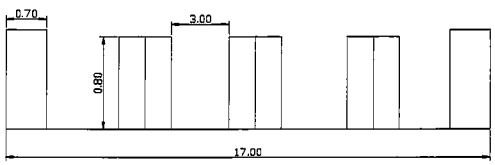
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



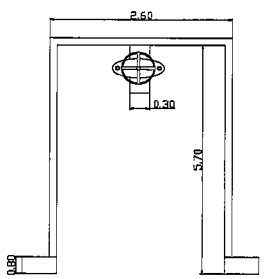
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



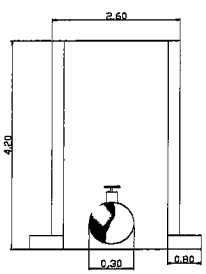
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El muro del tranque es el mismo camino, hacia el talud aguas abajo hay siembras lo que indica que no hay filtraciones. En el estribo derecho se encuentra el evacuador de crecidas

Ambos taludes poseen bastante vegetación arbóreas y arbustiva (ver álbum fotográfico)

EMBALSE AGUADILLA

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

18. EMBALSE AGUADILLA
18.1 Ubicación
18.2 Características Generales
18.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
18.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
18.5 Determinación de Filtraciones
18.6 Verificación del Oleaje
18.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
18.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

18. EMBALSE AGUADILLA

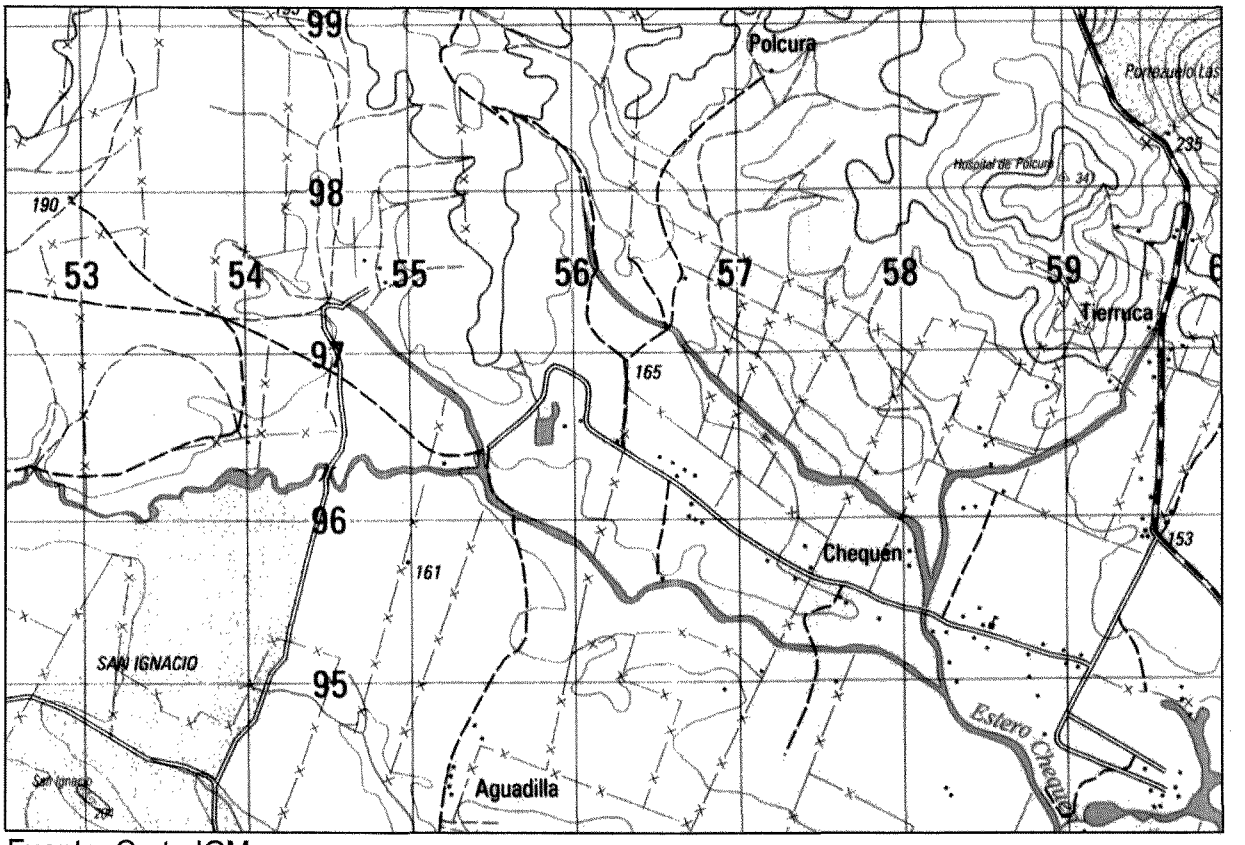
18.1 Ubicación

El embalse Aguadilla se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.196.467 Norte y 255.791 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 156 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Rapel, subcuenca del Río Tinguiririca y la fuente corresponde al estero Chequén.

Se puede acceder al embalse desde la localidad de Alcones al norte por ruta I-50 4 km hasta el empalme con ruta I-202, luego en dirección al nororiente 8 km hasta el sitio de emplazamiento.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 18.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE AGUADILLA



Fuente: Carta IGM

18.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Viña Montes S.A. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1960.

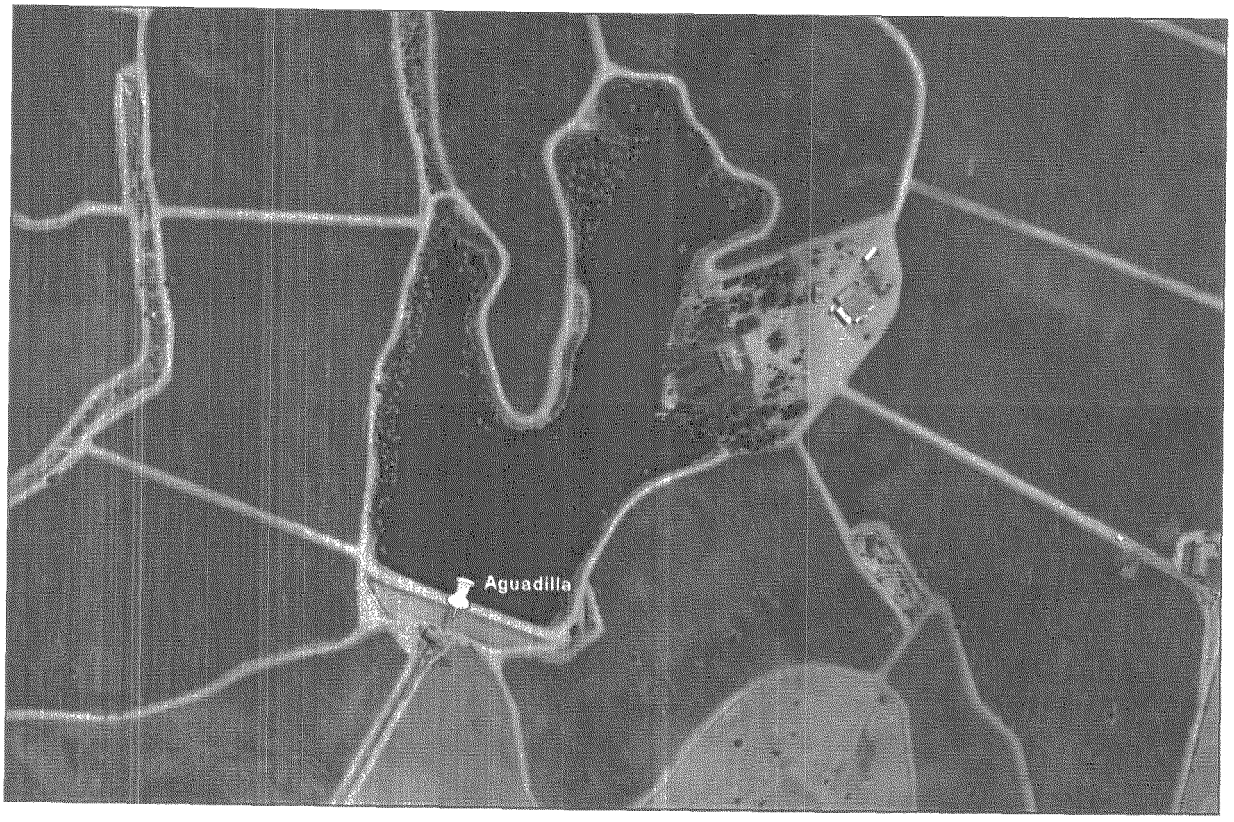
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 0,164 hm^3. La altura máxima del muro es de 11,8 m, con una longitud de coronamiento de 132 m y ancho promedio del coronamiento de 4,2 m y borde libre de 0,4 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,28:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=0,97:1.

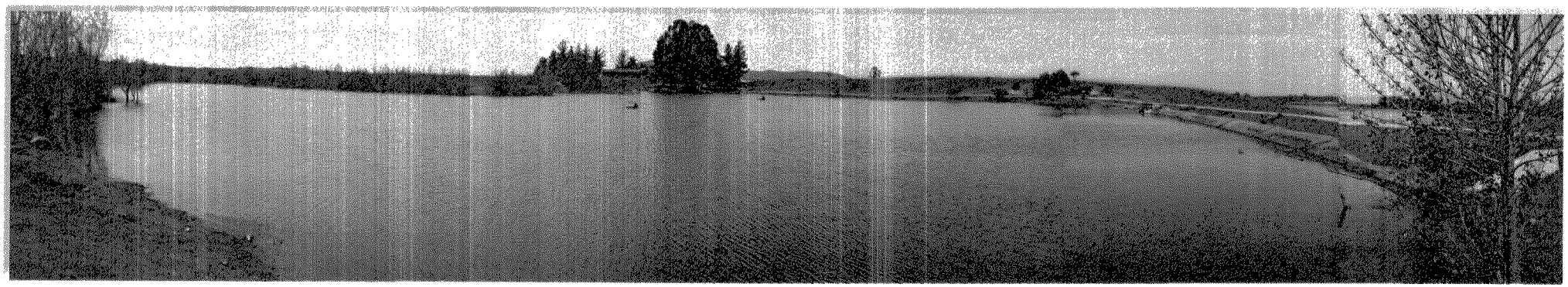
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal de caída libre, de ancho medio de 1,6 m, 11,0 m de largo y 1 m de alto. No tiene estructura de control. En buen estado, operacional.

La ***obra de entrega*** corresponde a una casa de bombas, ubicada en el centro del muro, que mediante 2 tuberías de 310 mm cada una, entrega directamente a predios.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 18.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE AGUADILLA





Vista panorámica Embalse Aguadilla

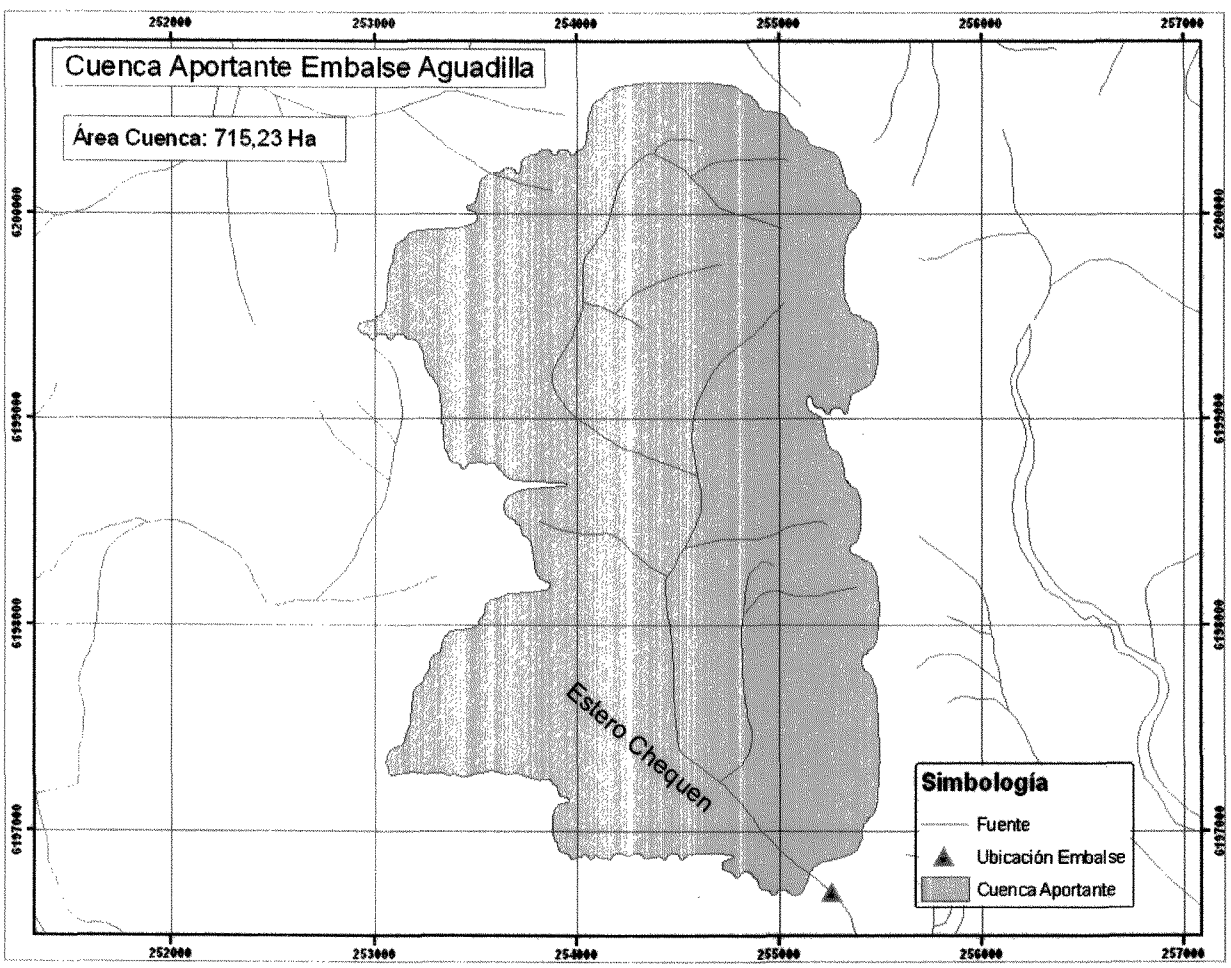
18.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Aguadilla tiene como fuente al estero Chequén, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 7,15 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 18.3-1
CUENCA EMBALSE AGUADILLA



CUADRO 18.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Aguadilla
SUPERFICIE (ha)	Total	715,2
	Pluvial	715,2
PERÍMETRO (m)	Total	18.840,0
	Pluvial	18.840,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	246,2
	Mínima	170,2
	Diferencia	76,0
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	5,0
	Cauce	2,7
LONGITUD CAUCE (km)	Total	5,37
	Desde centro de gravedad	2,68
CENTROIDE CUENCA	UTM E	254.204
	UTM N	6.198.770
	Altura (msnm)	194,3
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	254.597
	UTM N	6.198.683
	Altura (msnm)	190
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5,4} \le t_c \le \frac{L}{3,6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $$tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Aguadilla	1,25	4,77	0,08	0,88	0,88

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Aguadilla	Rapel	0,138	77,1	Nilahue

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/hr)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 horas y período de retorno T años
Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Aguadilla	T=2	0,47	Nilahue	0,6	7,1	2,2	7,6
	T=5	0,60	Nilahue	0,8	9,9	3,3	13,4
	T=11	0,68	Nilahue	1,0	11,5	5,8	17,8
	T=15	0,73	Nilahue	1,1	12,6	6,9	20,9
	T=20	0,77	Nilahue	1,2	13,4	7,9	23,4
	T=25	0,80	Nilahue	1,2	13,9	8,5	25,1
	T=50	0,87	Nilahue	1,4	15,7	10,8	31,0
	T=100	1	Nilahue	1,5	17,6	14,3	39,8

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \cdot (Ap)^{0,915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Aguadilla	0,49	1,61	2,18	2,49	2,81	3,02	3,74	4,57

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Aguadilla	15,37	18,22	20,38

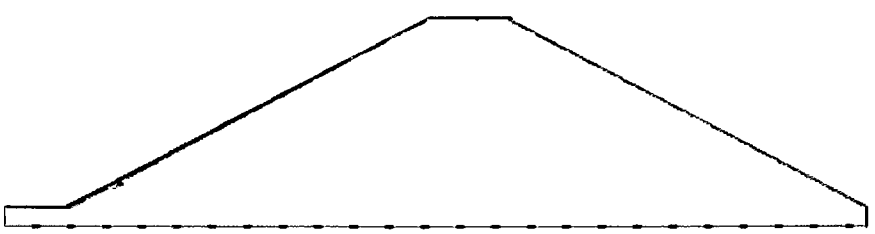
18.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla limo arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	10,1 m
Ancho coronamiento	4,2 m
Borde libre	0,4 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,28: 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 0,97: 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 18.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 20°	2,0	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 18.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

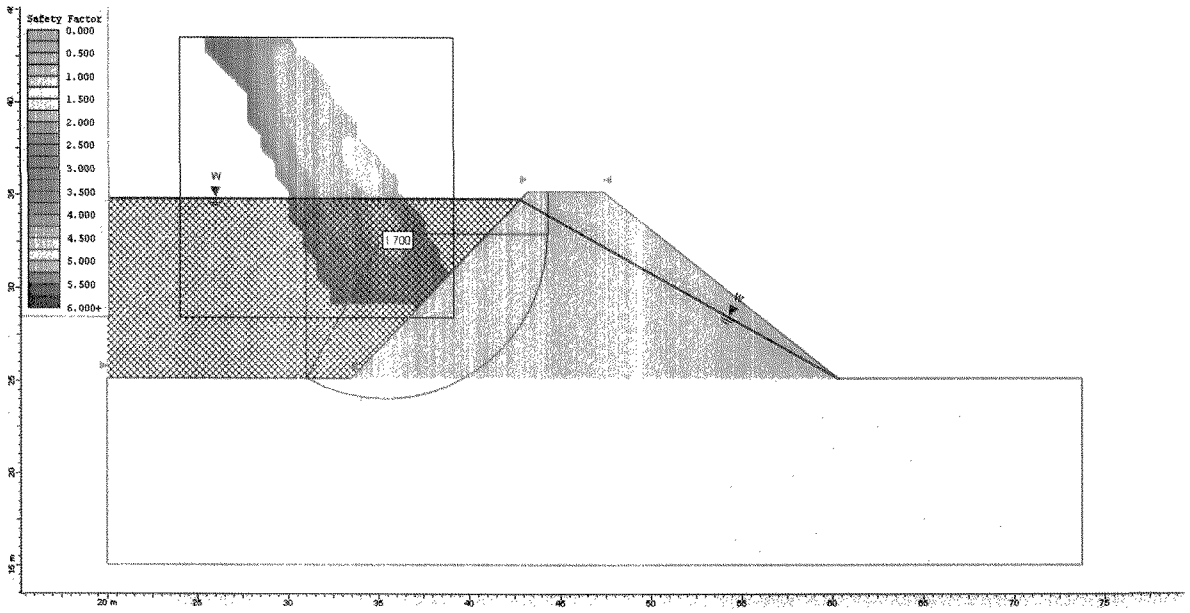


FIGURA 18.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

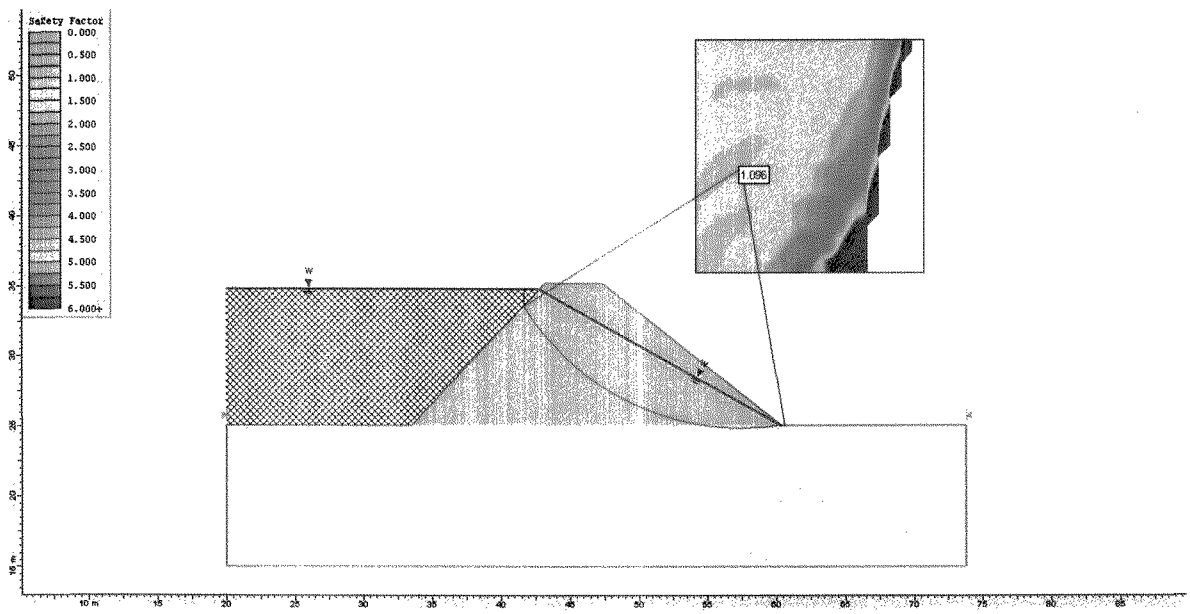


FIGURA 18.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

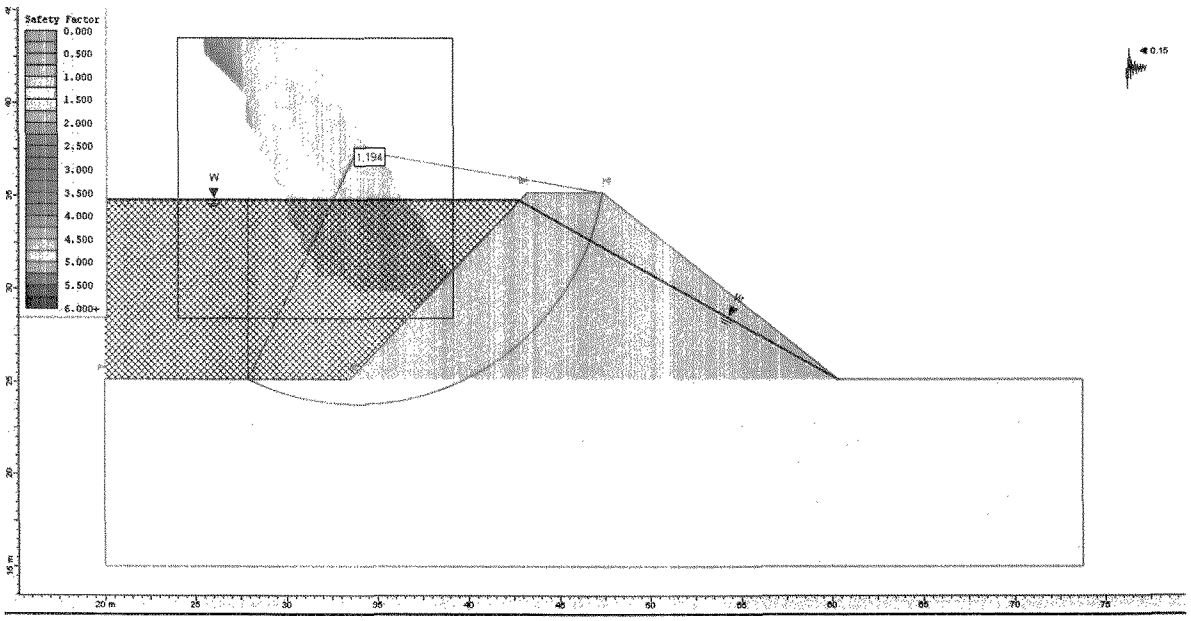


FIGURA 18.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

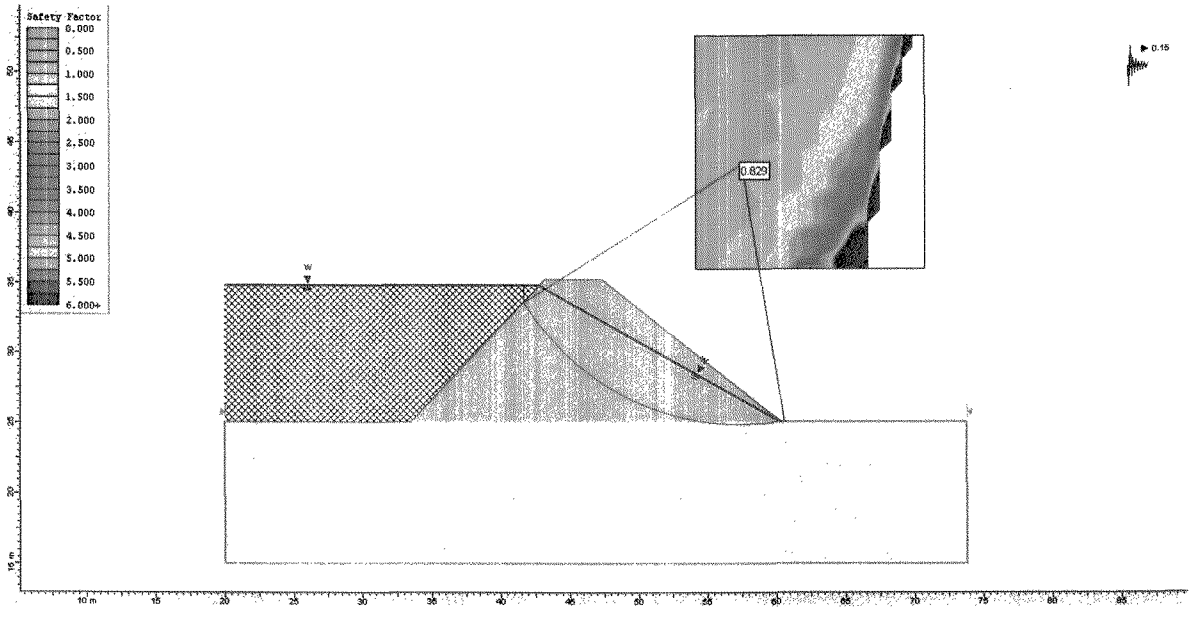


FIGURA 18.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

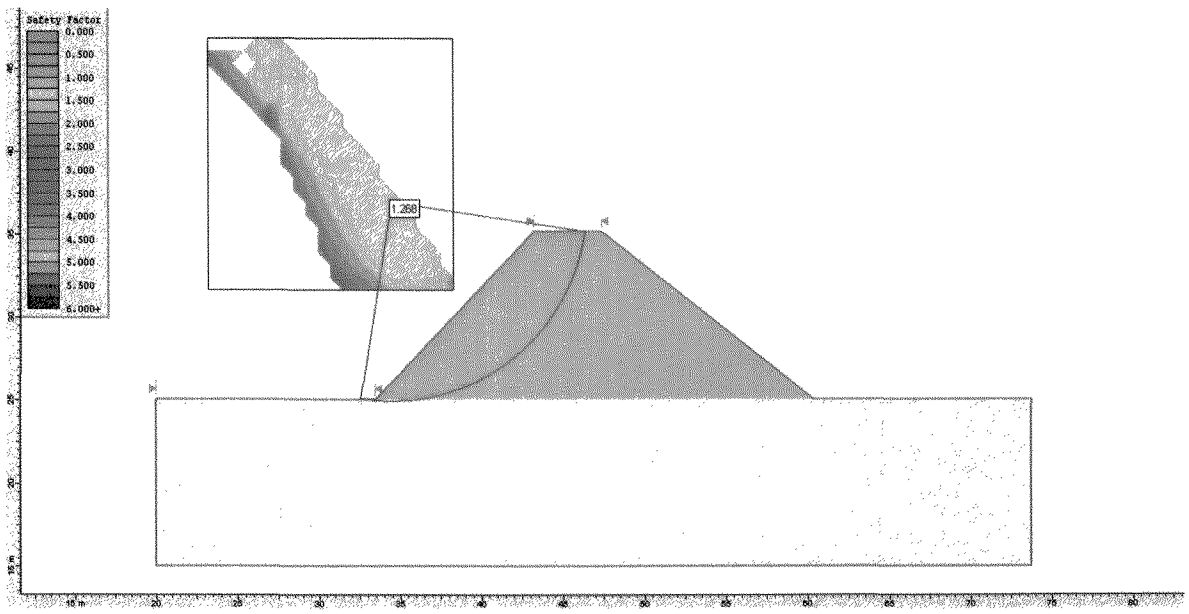


FIGURA 18.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

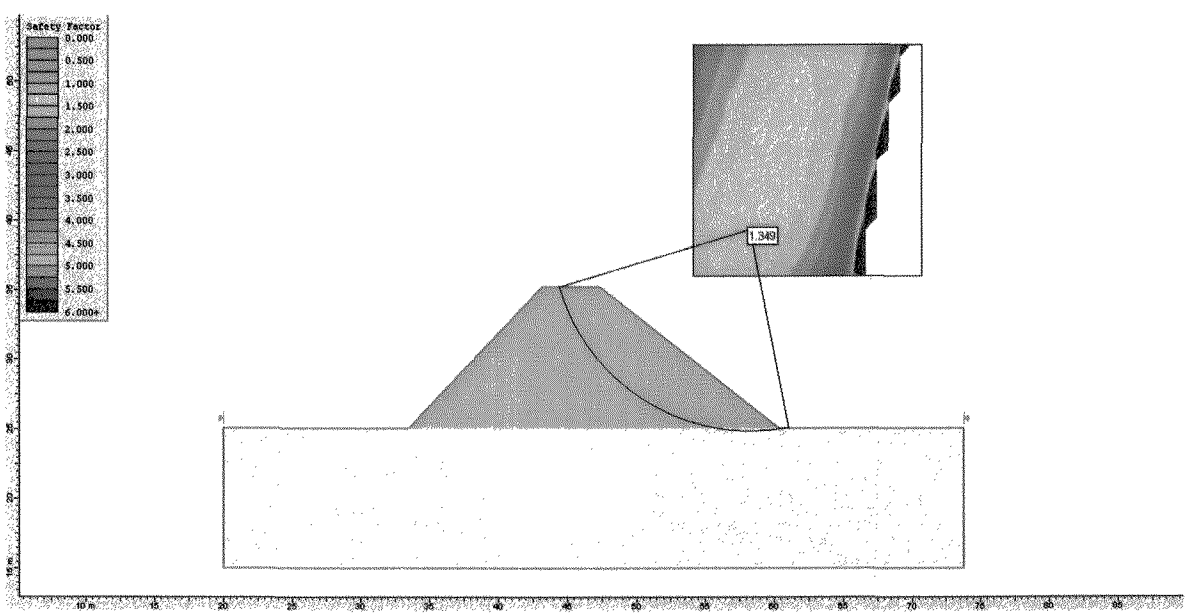


FIGURA 18.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

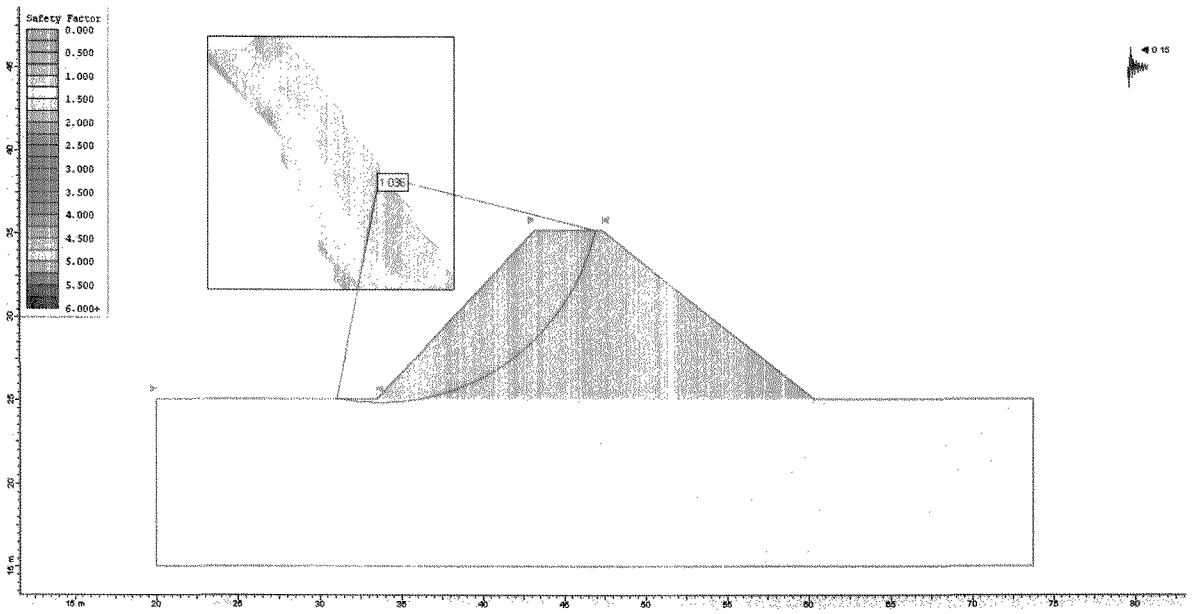
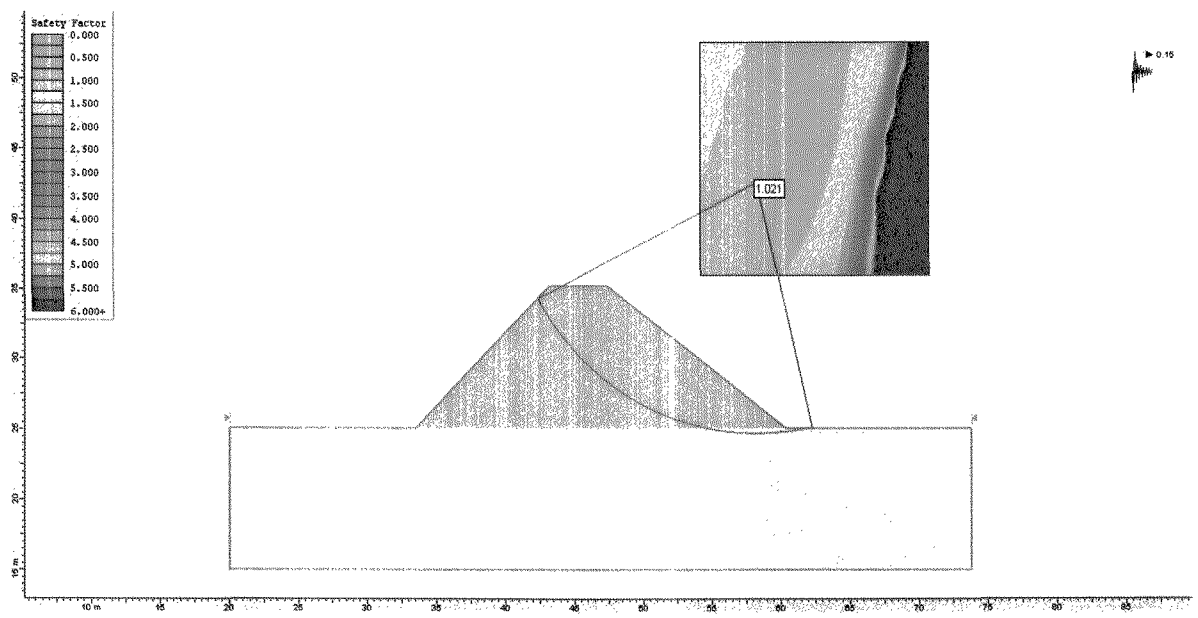


FIGURA 18.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 18.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Aguadilla	1,700	1,096	1,194	0,829

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Aguadilla	1,268	1,349	1,036	1,021

18.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Aguadilla***, se tiene:

Lh (m) =	30,7	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,80	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	11,4	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
AGUADILLA	30,7	0	10,23	11,8	0,4	11,397	1,80	20,5	No

18.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Aguadilla.

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **0,40 m**, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

AGUADILLA
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea N°	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	°			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	66	0,0410	0,0226
2	36	0,8090	0,6545	78	0,0485	0,0317
3	30	0,8660	0,7500	102	0,0634	0,0475
4	24	0,9135	0,8346	175	0,1087	0,0908
5	18	0,9511	0,9045	178	0,1106	0,1000
6	12	0,9781	0,9568	208	0,1292	0,1237
7	6	0,9945	0,9891	324	0,2013	0,1991
8	0	1,0000	1,0000	343	0,2131	0,2131
9	6	0,9945	0,9891	123	0,0764	0,0756
10	12	0,9781	0,9568	120	0,0746	0,0713
11	18	0,9511	0,9045	133	0,0826	0,0748
12	24	0,9135	0,8346	234	0,1454	0,1213
13	30	0,8660	0,7500	240	0,1491	0,1118
14	36	0,8090	0,6545	204	0,1268	0,0830
15	42	0,7431	0,5523	177	0,1100	0,0607
	Suma	**13,5109**			Suma	**1,4272**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,106 millas
F = 170,00 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,42	0,7368
Molitor	2,32	0,7073
Creager	0,83	0,2544
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

18.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

R = p V E

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

18.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

18.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación: **4,51** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,36 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **1,62** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	15,37	0,95	0,00	0
0,002	18,22	0,95	0,00	0
0,0010	20,38	0,95	0,00	0

18.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

18.7.4 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

18.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

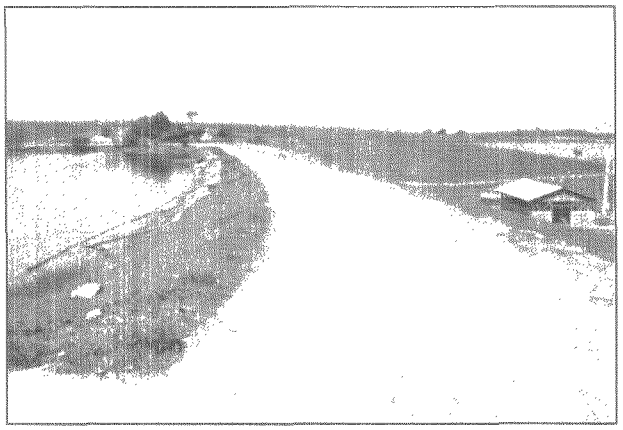
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	2,40	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

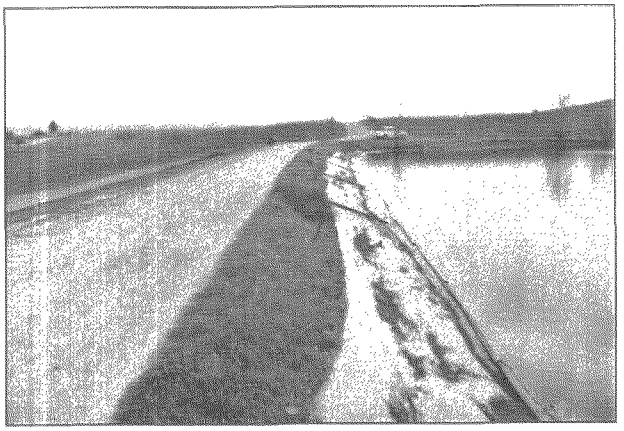
18.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Aguadilla.

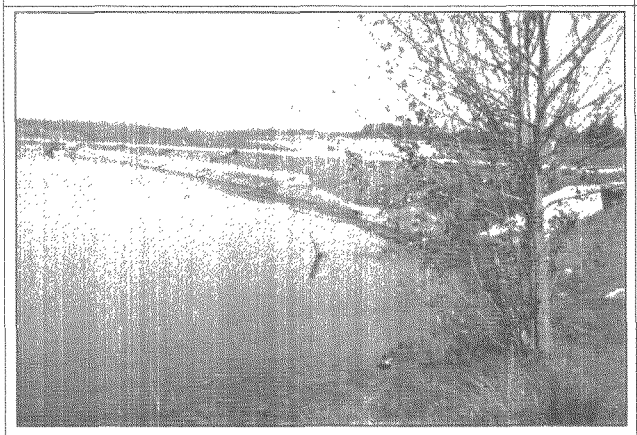
VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO



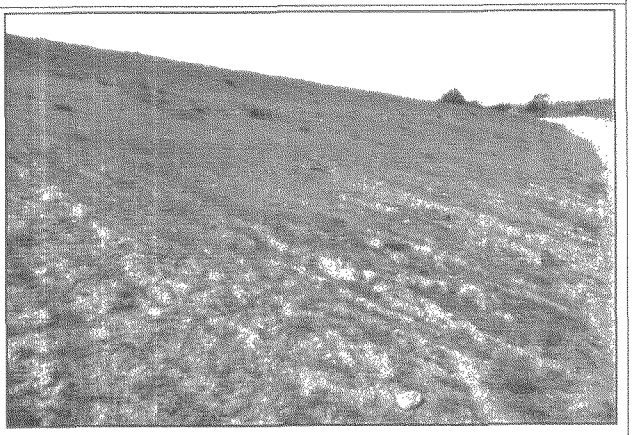
VISTA MURO DESDE ESTRIBO IZQUIERDO



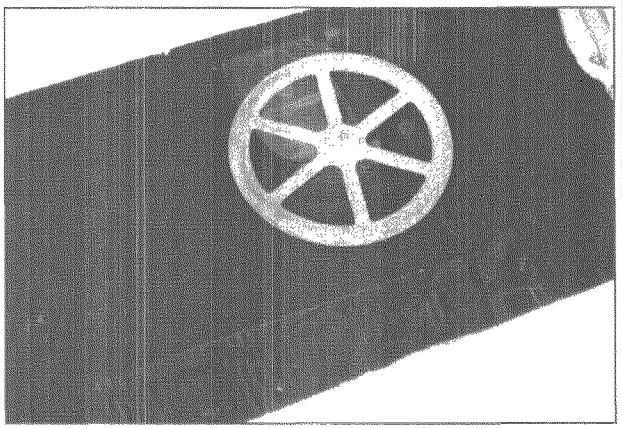
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA



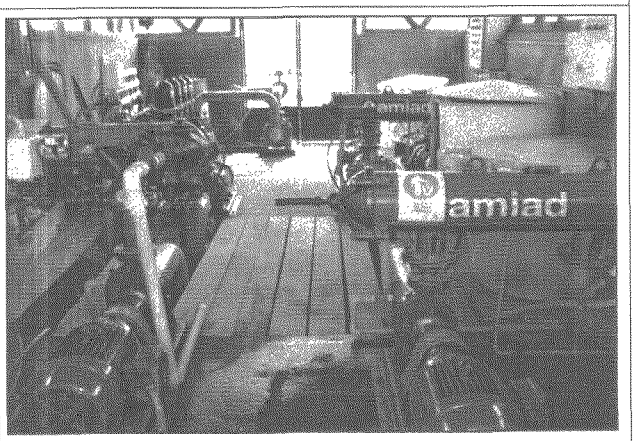
VISTA TALUD AGUAS ABAJO



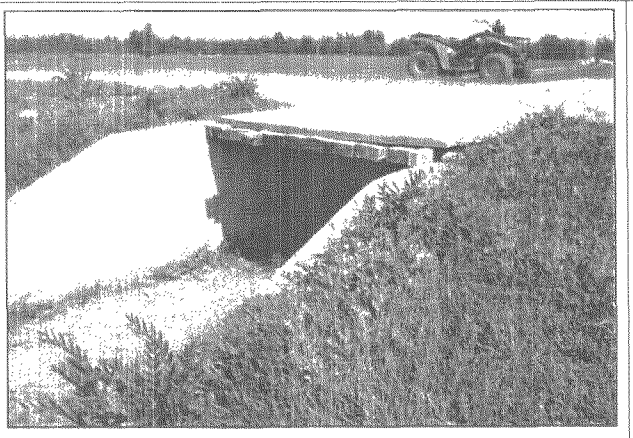
OBRA DE ENTREGA



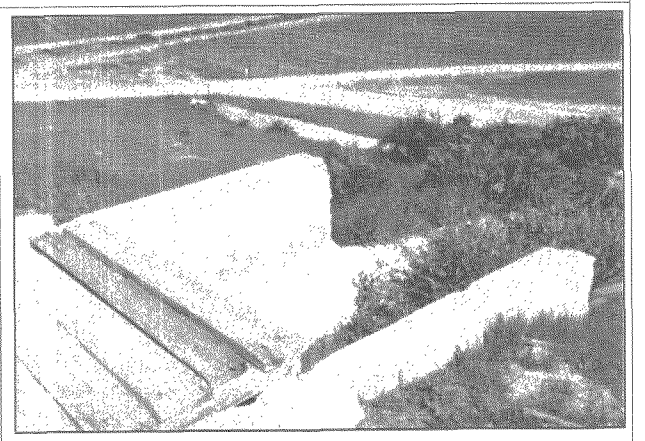
OBRA DE ENTREGA



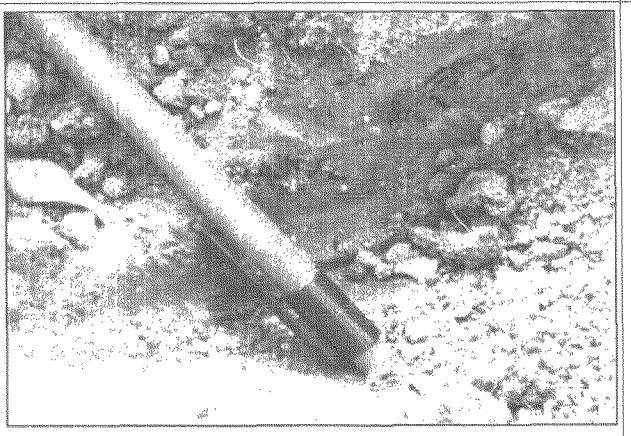
EVACUADOR DE CRECIDAS



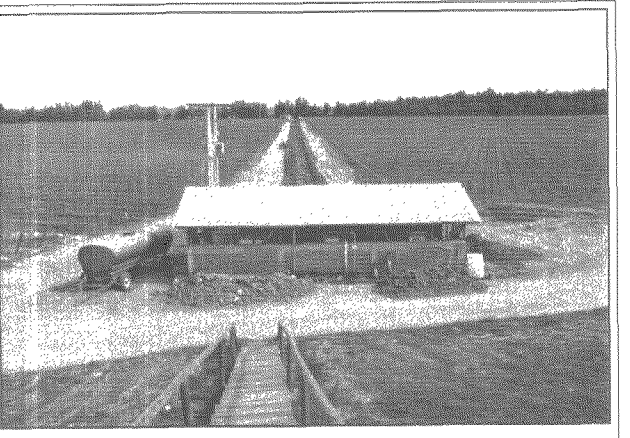
EVACUADOR DE CRECIDAS



CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



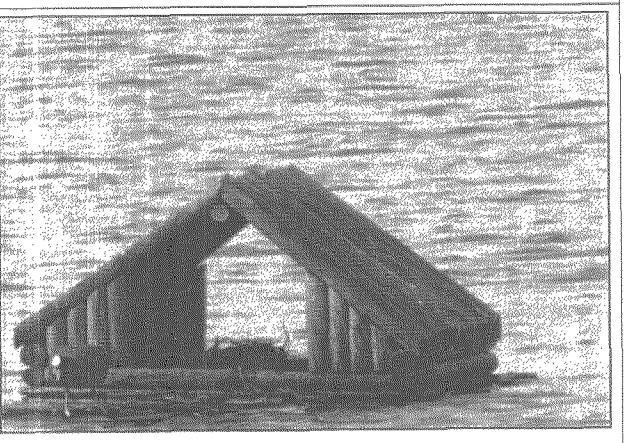
CASA DE BOMBAS



TOMA DESDE POZOS



FAUNA EN EL EMBALSE



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Aguadilla
Propietario	Viña Montes S.A.
RUT Propietario	79.872.770-2
Año de construcción	1960
Reparación (SI) (NO)	Si
Año de reparación	2001
Cuenca / Código DGA	Río Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Fuente del recurso	Estero Chequén

N° de ficha	18
Fecha (dd/mm/año)	02-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.196.483	E= 255.727
Coordenadas UTM Centro	N= 6.196.467	E= 255.791
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.196.446	E= 255.860
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 157 ; C = 156 ;	EI = 156

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	132		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 4,6 ;	C = 3,9 ;	EI = 4,2
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	16,4		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,4		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 47° ;	C = 45° ;	EI = 46°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 35° ;	C = 40° ;	EI = 39°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	11,8
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	11,4
Área estimada o calculada de la poza (m2)	57.600
Ancho máximo de la poza (km)	0,16
Largo de la poza (km)	0,36
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,164

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.196.467 E= 255.791	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Limo Arenoso

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Baja
Uniformidad de los taludes	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	No se aprecian filtraciones en el talud de aguas abajo en el pie
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada, además hay malla rachel en el talud aguas arriba, cubierta vegetal aguas abajo, malcillo en coronamiento

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
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	Vertedero de caída libre, que sale a canal revestido y llega hasta estero (ver álbum fotográfico)
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	En buen estado operacional
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Carga Máxima 1,1 m^3/s, Ancho: 1,60 mts; Largo: 11,0 mts y Alto: 1,0 mts

9. CARACTERISTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGUE DE FONDO

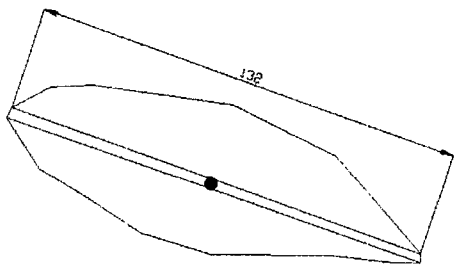
Tipo de estructura	Casa de bombas, ubicada en el centro del muro, que mediante 2 tuberías entrega directamente a predios
Mediciones estructurales	2 tuberías de 0,31 m de diámetro c/u
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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 0,70%, ancho medio 1,5 m.
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	No
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	No
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacentes
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	7,0 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	130 ha

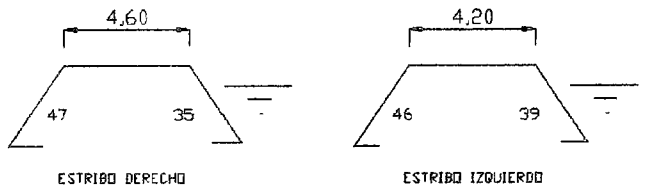
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

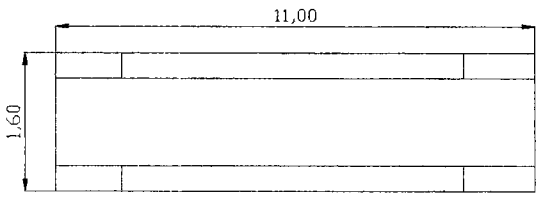


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

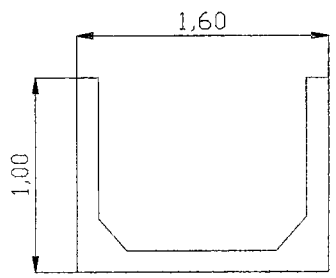
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



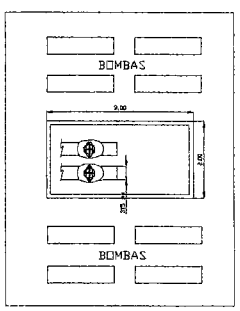
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



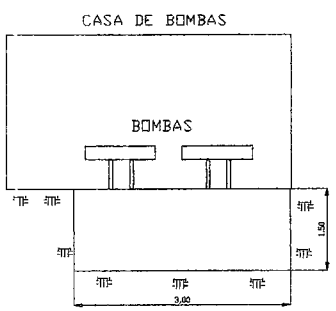
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El talud aguas arriba del tranque está cubierto con malla rachell hasta una profundidad de 1,0 mts aproximadamente

EMBALSE LOS MAITENES

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

19. EMBALSE LOS MAITENES

19.1 Ubicación

19.2 Características Generales

19.3 Crecidas Afluentes al Embalse

- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

19.4 Análisis de Estabilidad

- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

19.5 Determinación de Filtraciones

19.6 Verificación del Oleaje

19.7 Análisis de Riesgo (Hazop)

19.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

19. EMBALSE LOS MAITENES

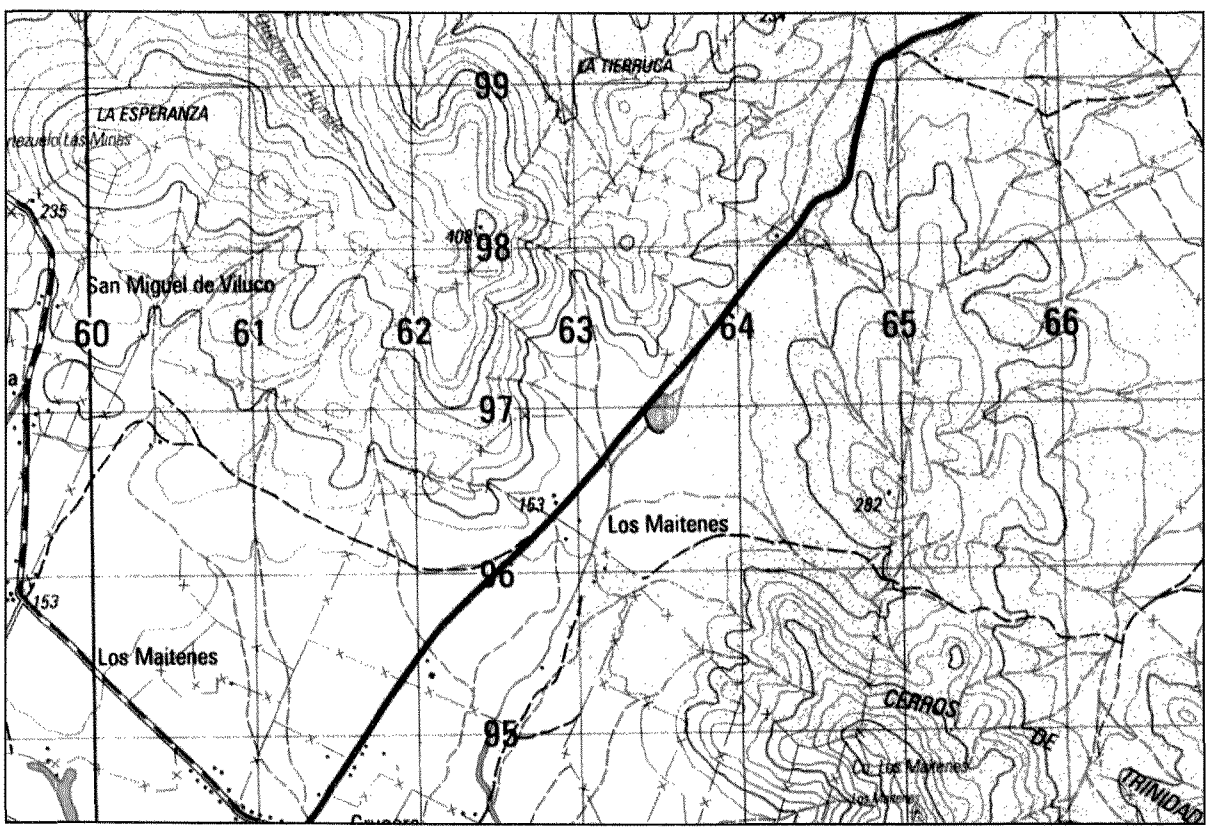
19.1 Ubicación

El embalse Los Maitenes se ubica en la comuna de Marchigüe, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.196.928 Norte y 263.510 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 170 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Rapel, subcuenca del Río Tinguiririca y la fuente corresponde al estero Trinidad.

Para acceder al sitio del embalse se recomienda dirigirse desde Marchigüe hacia el norte por ruta I-76 por aproximadamente 7,5 km, donde es posible observar el tranque al costado del camino.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 19.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE LOS MAITENES



Fuente: Carta IGM

19.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Paulina Lira San Fuentes. El uso y destino del embalse es de riego. Actualmente no está en uso.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 0,112 hm^3. La altura máxima del muro es de 8,5 m, con una longitud de coronamiento de 586 m (son tres muros en total) y ancho promedio del coronamiento de 3,4 m y borde libre de 1,5 m. Los taludes de los muros son:

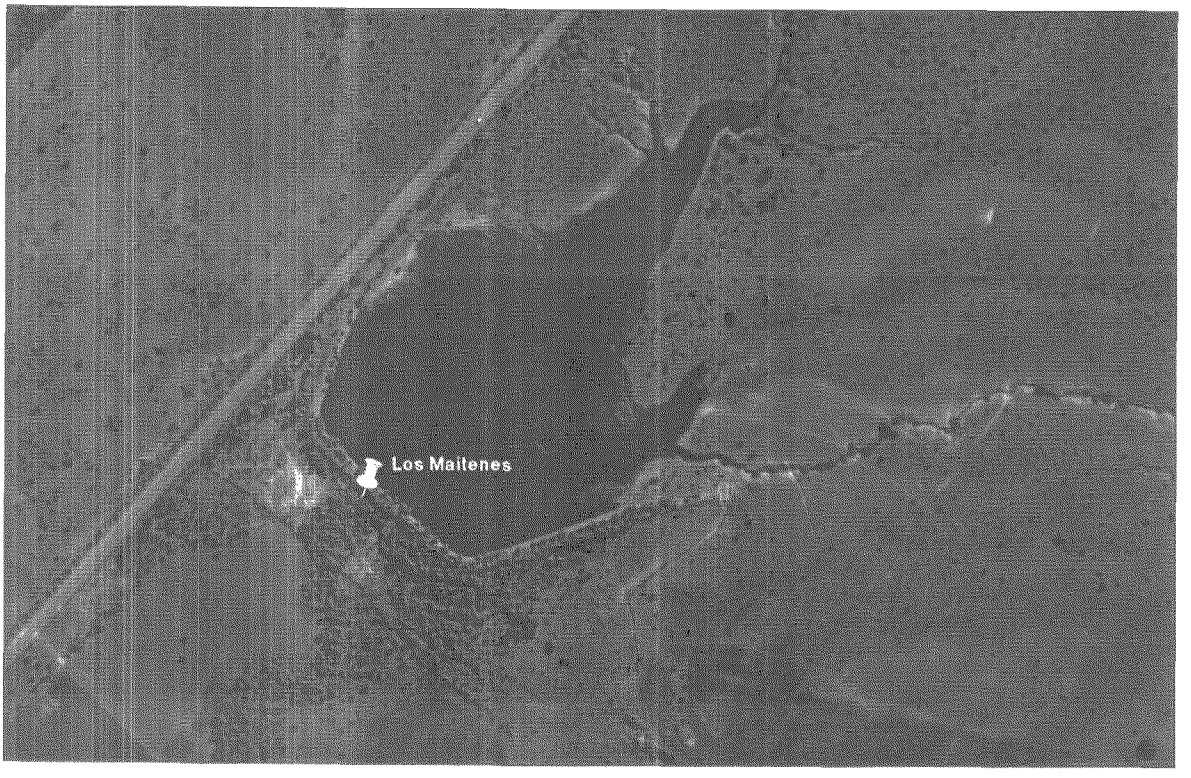
	MURO 1	MURO 2	MURO 3
Talud Aguas Arriba H:V	1,19:1	0,93:1	0,97:1
Talud Aguas Abajo H:V	1,43:1	1,15:1	1,19:1

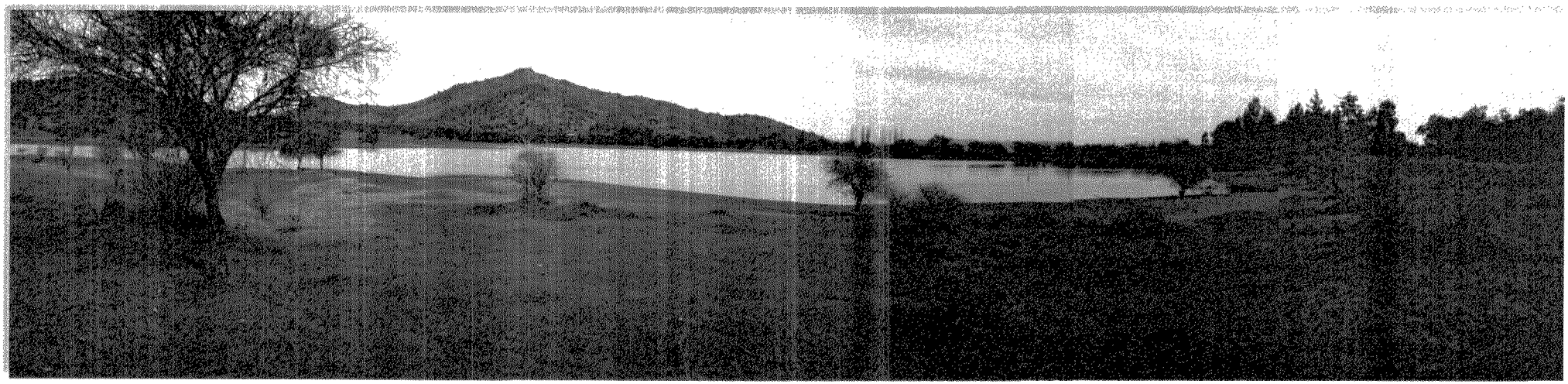
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal canal en tierra de 1,0 m por 1,0 m. No tiene estructura de control. En buen estado, operacional.

La ***obra de entrega*** corresponde a 1 tubería de 100 mm de diámetro que pasa por debajo del tranque y que es controlada por válvula. Hace 2 años que no está en uso.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 19.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE LOS MAITENES





Vista panorámica Embalse Los Maitenes

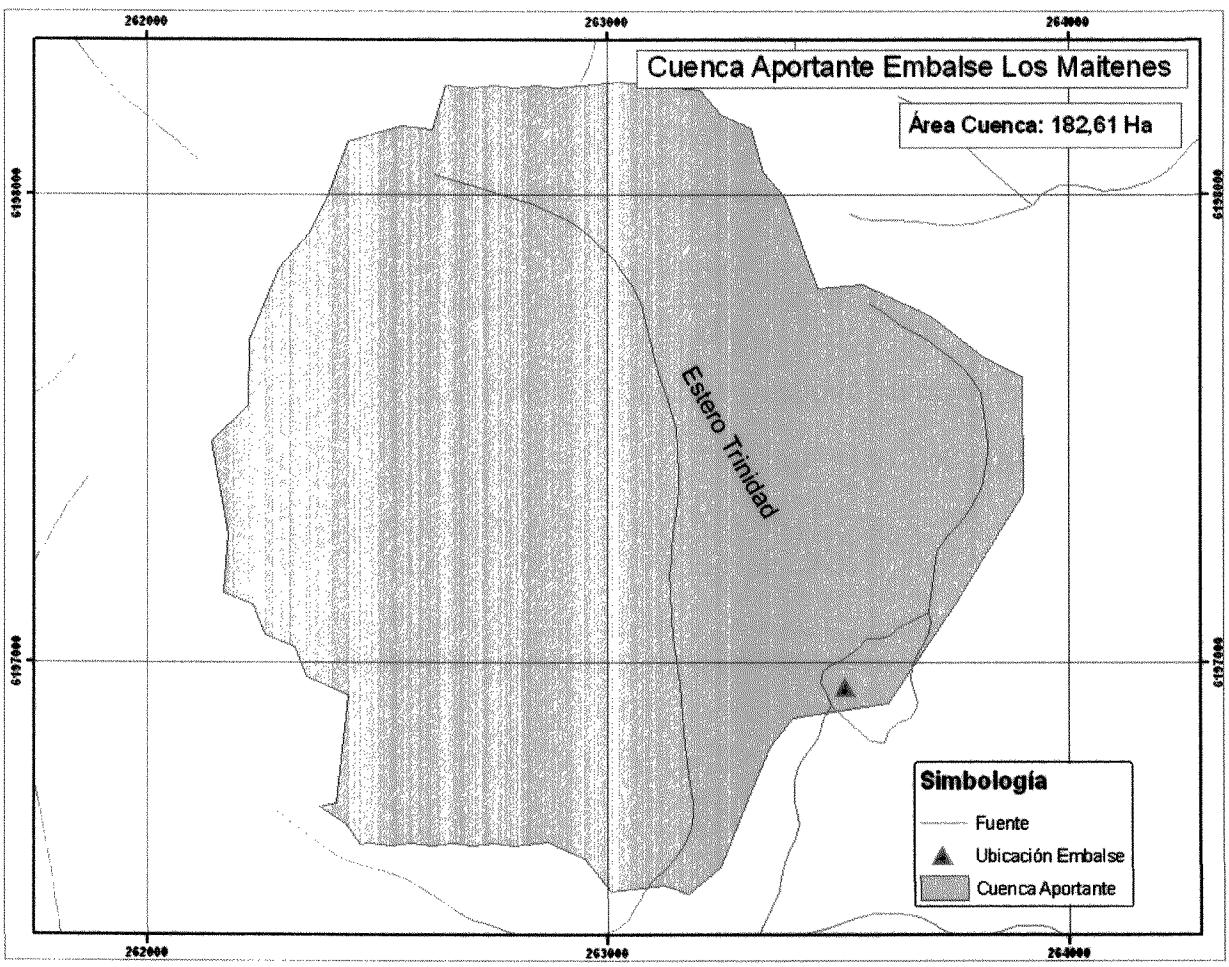
19.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Los Maitenes tiene como fuente al estero Trinidad, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 1,83 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 19.3-1
CUENCA EMBALSE LOS MAITENES



CUADRO 19.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Los Maitenes
SUPERFICIE (ha)	Total	182,6
	Pluvial	182,6
PERÍMETRO (m)	Total	7.560,0
	Pluvial	7.560,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	395,6
	Mínima	173,3
	Diferencia	222,3
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	20,4
	Cauce	7,5
LONGITUD CAUCE (km)	Total	1,65
	Desde centro de gravedad	0,83
CENTROIDE CUENCA	UTM E	262.829
	UTM N	6.197.440
	Altura (msnm)	213,0
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	263.127
	UTM N	6.197.167
	Altura (msnm)	180
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Los Maitenes	0,21	1,56	0,02	0,30	0,30

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Los Maitenes	Rapel	0,071	114	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 horas y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Los Maitenes	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	5,7	1,1	4,5
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	7,6	1,6	7,7
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	8,7	2,8	10,0
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	9,4	3,3	11,7
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	10,0	3,8	13,0
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	10,4	4,1	14,0
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	11,6	5,1	17,1
	T=100	1	Cachapoal	1,5	12,8	6,7	21,7

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \cdot (Ap)^{0,915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Los Maitenes	0,54	1,88	2,54	2,91	3,28	3,53	4,37	5,34

- **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Los Maitenes	7,17	8,47	9,45

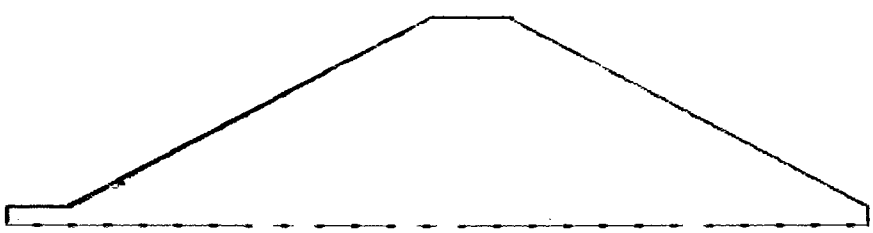
19.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

MURO 1

Altura:	2,9 m
Ancho coronamiento	3,6 m
Borde libre	1,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,19 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,43 : 1

MURO 2

Altura:	8,5 m
Ancho coronamiento	3,7 m
Borde libre	1,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 0,93 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,15 : 1

MURO 3

Altura:	2,6 m
Ancho coronamiento	2,9 m
Borde libre	1,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 0,97 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,19 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 19.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 22°	2,2	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 19.4-1
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

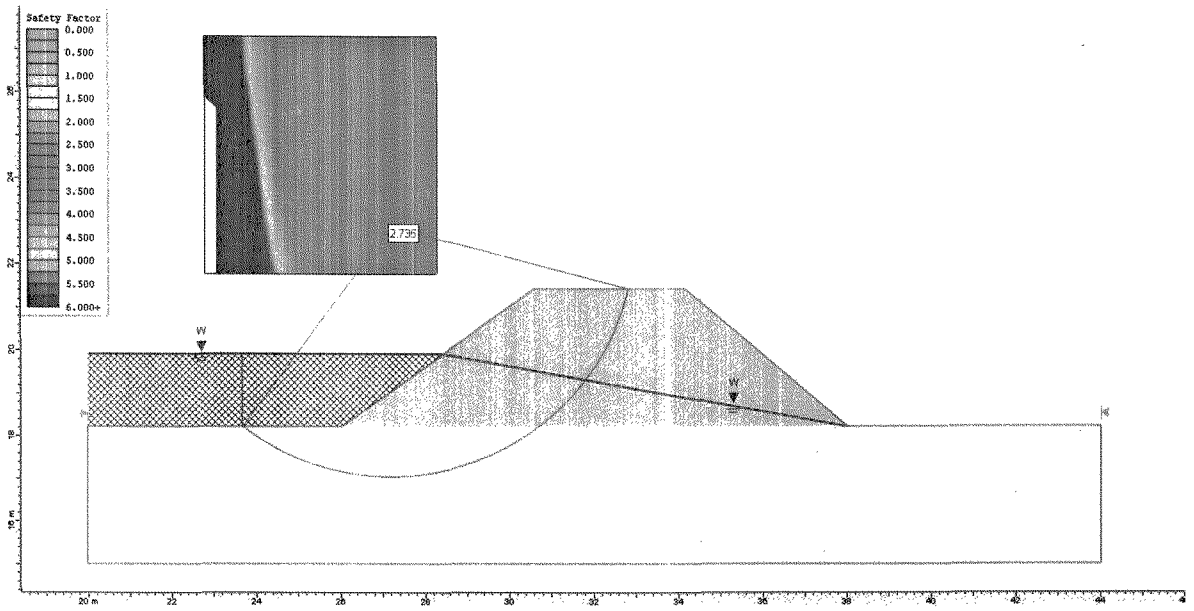


FIGURA 19.4-2
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

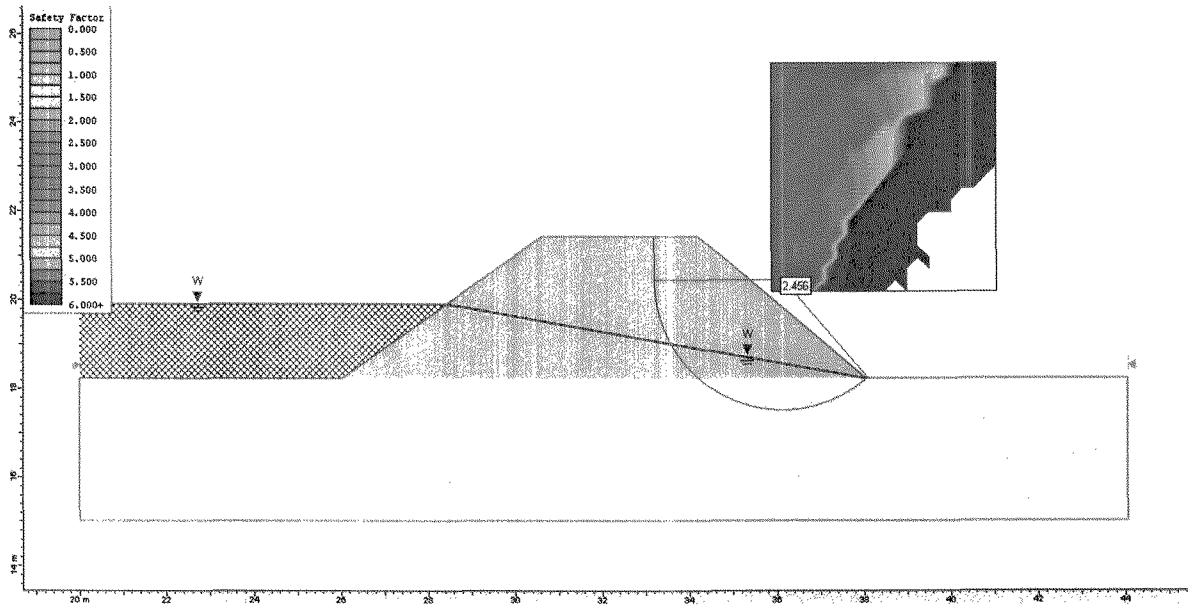


FIGURA 19.4-3
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

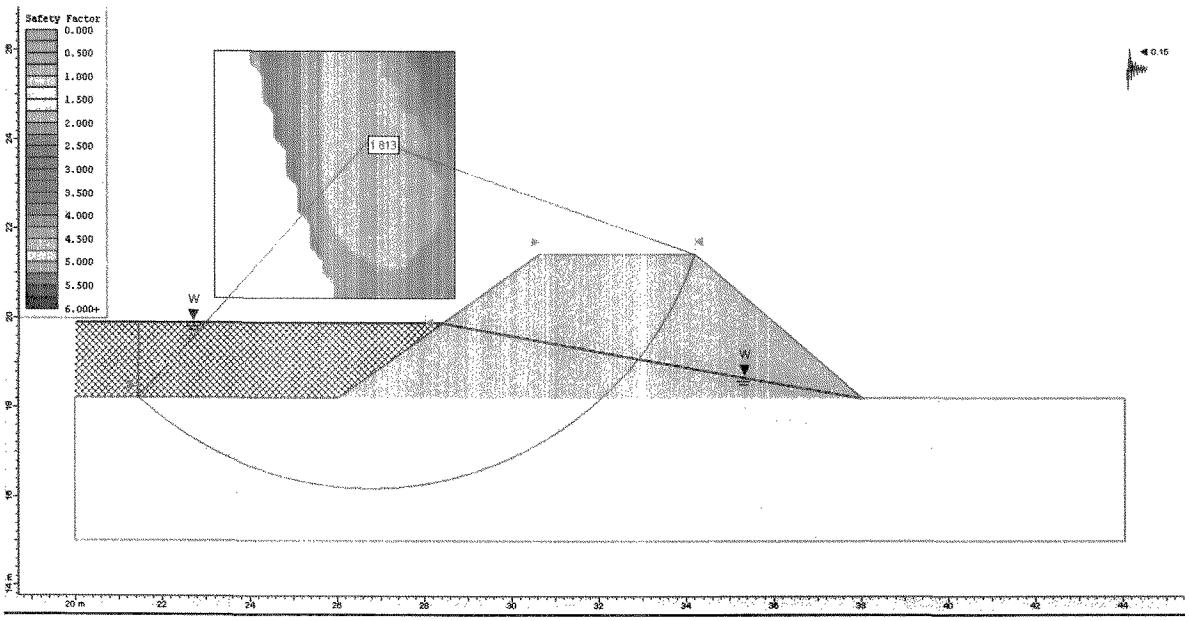


FIGURA 19.4-4
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

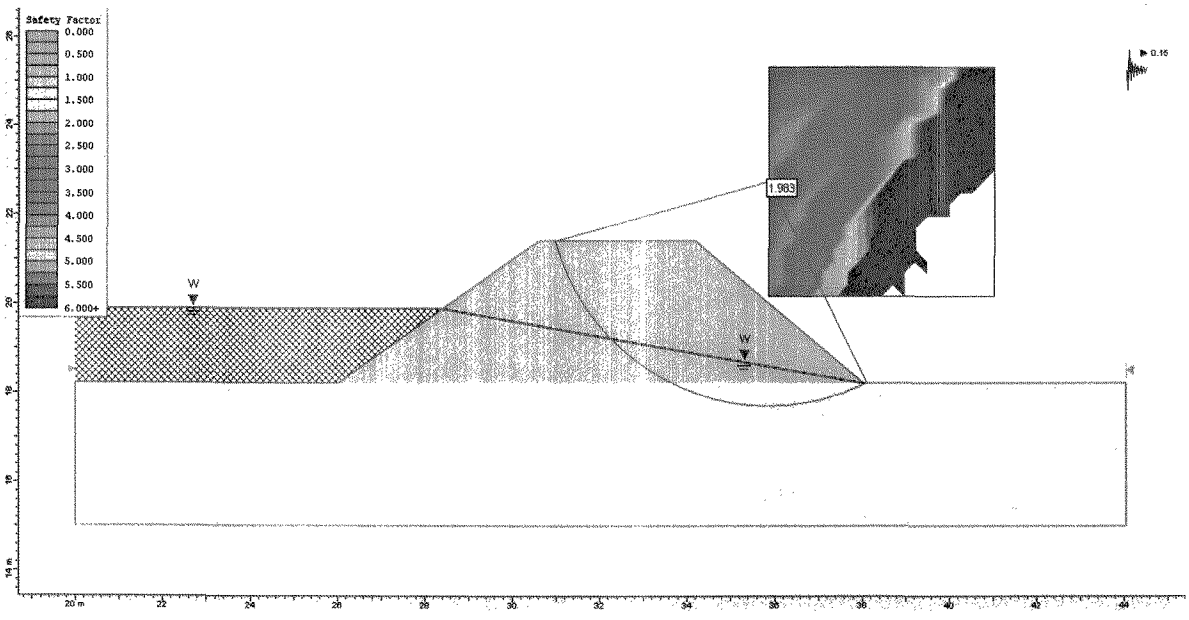


FIGURA 19.4-5
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

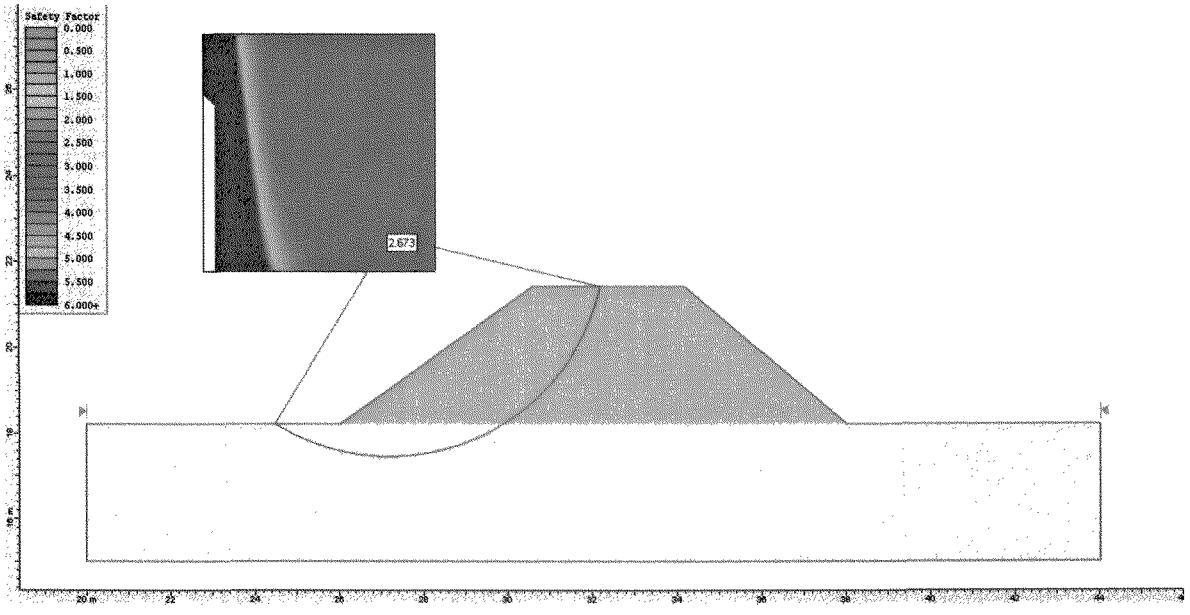


FIGURA 19.4-6
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

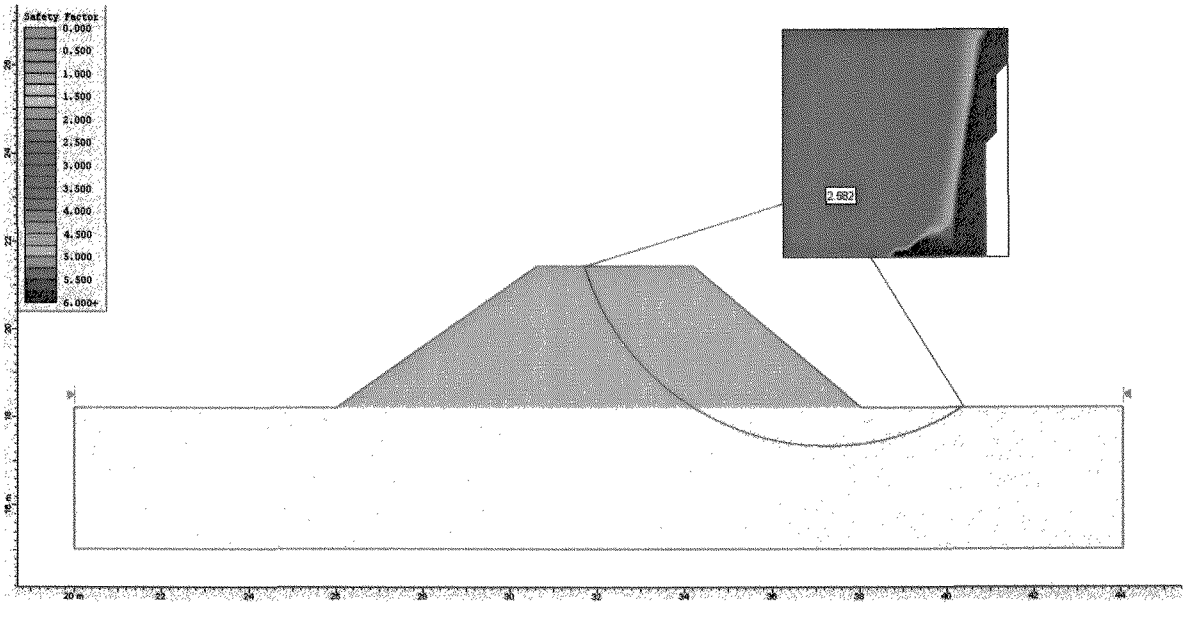


FIGURA 19.4-7
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

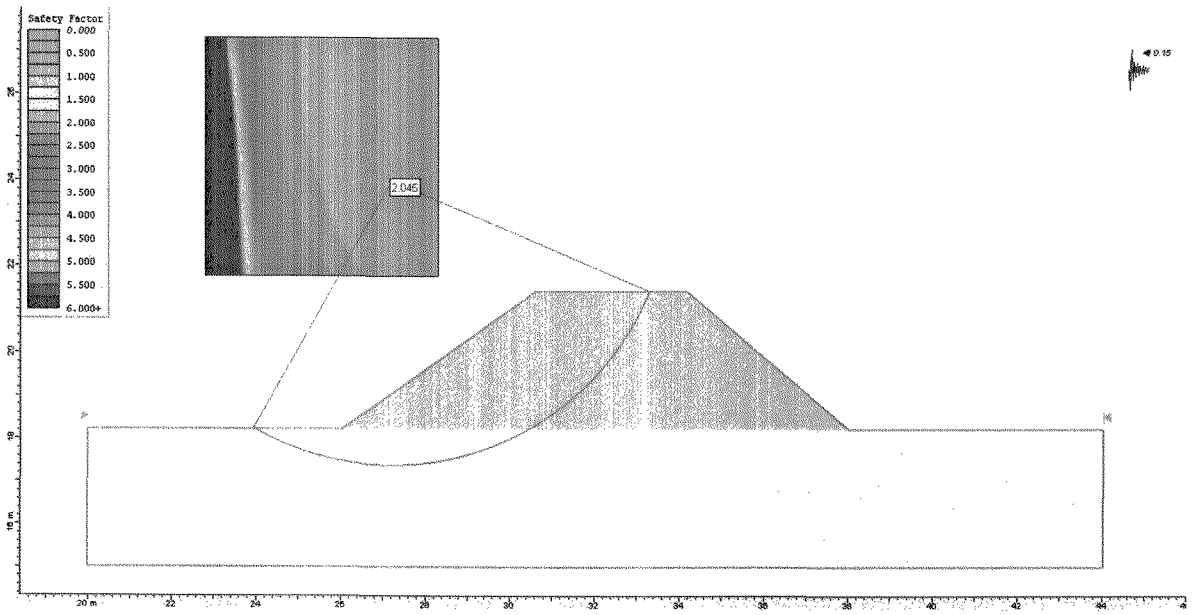


FIGURA 19.4-8
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA

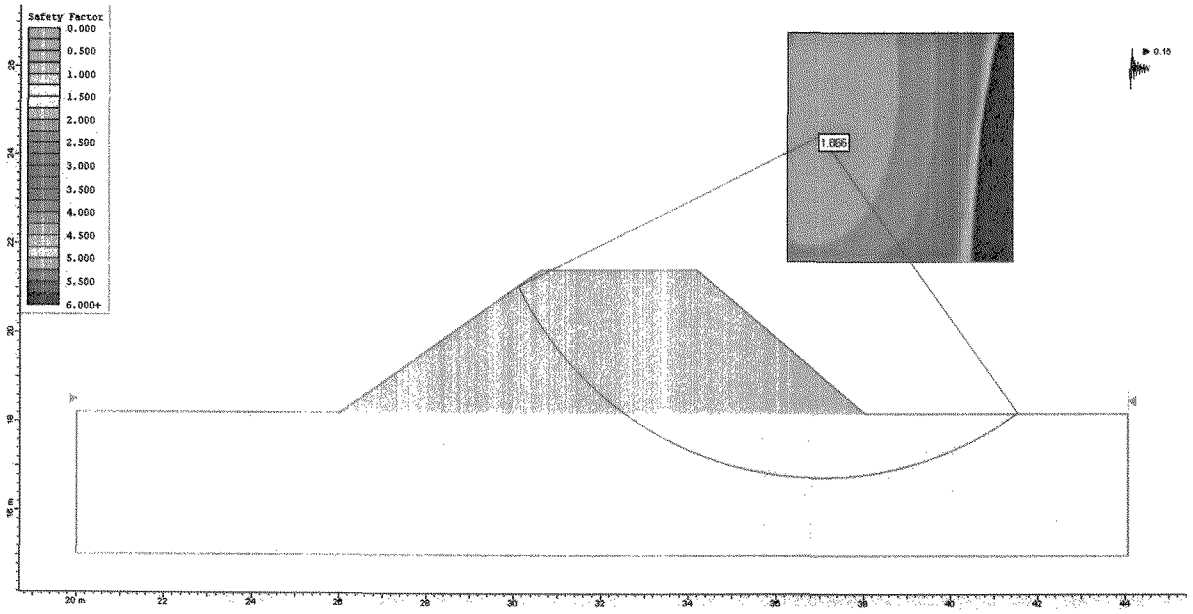


FIGURA 19.4-9
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

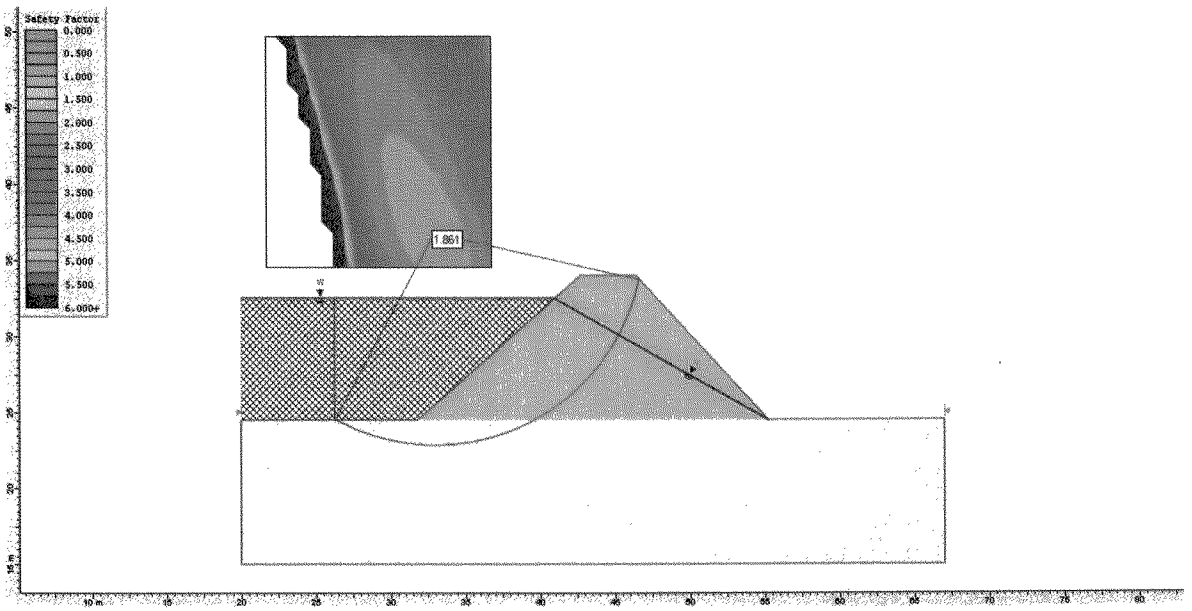


FIGURA 19.4-10
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

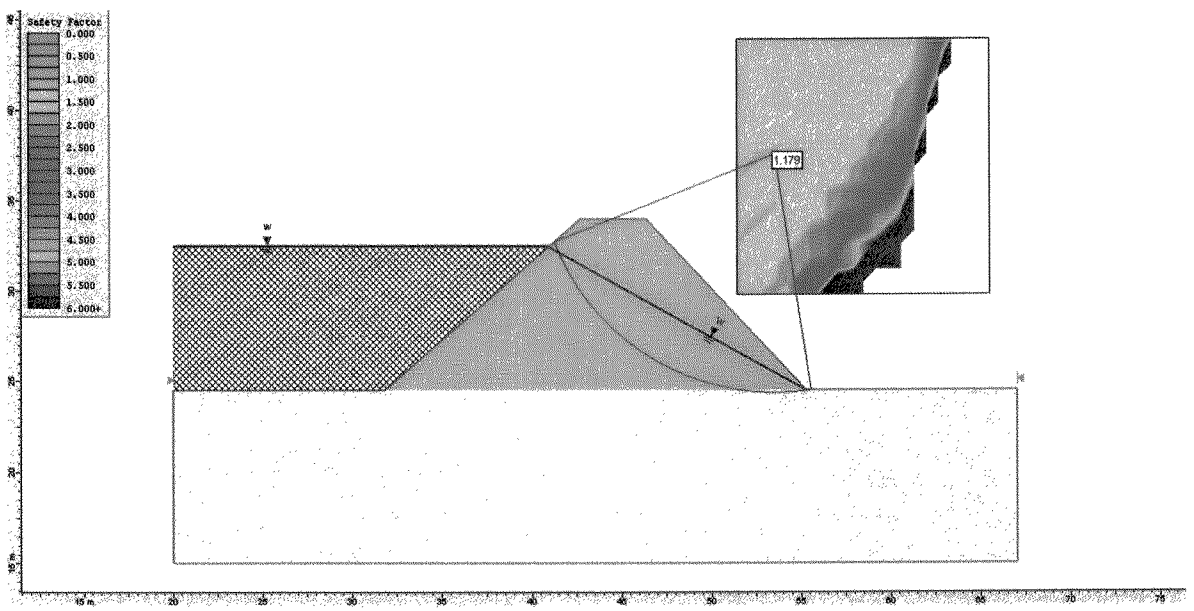


FIGURA 19.4-11
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

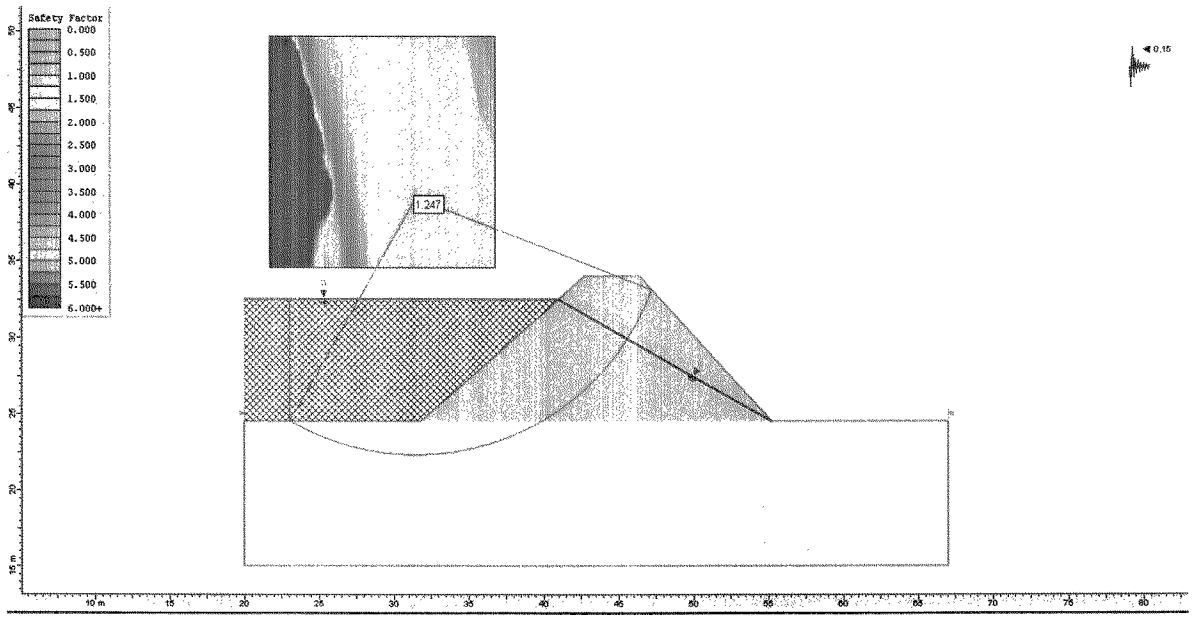


FIGURA 19.4-12
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

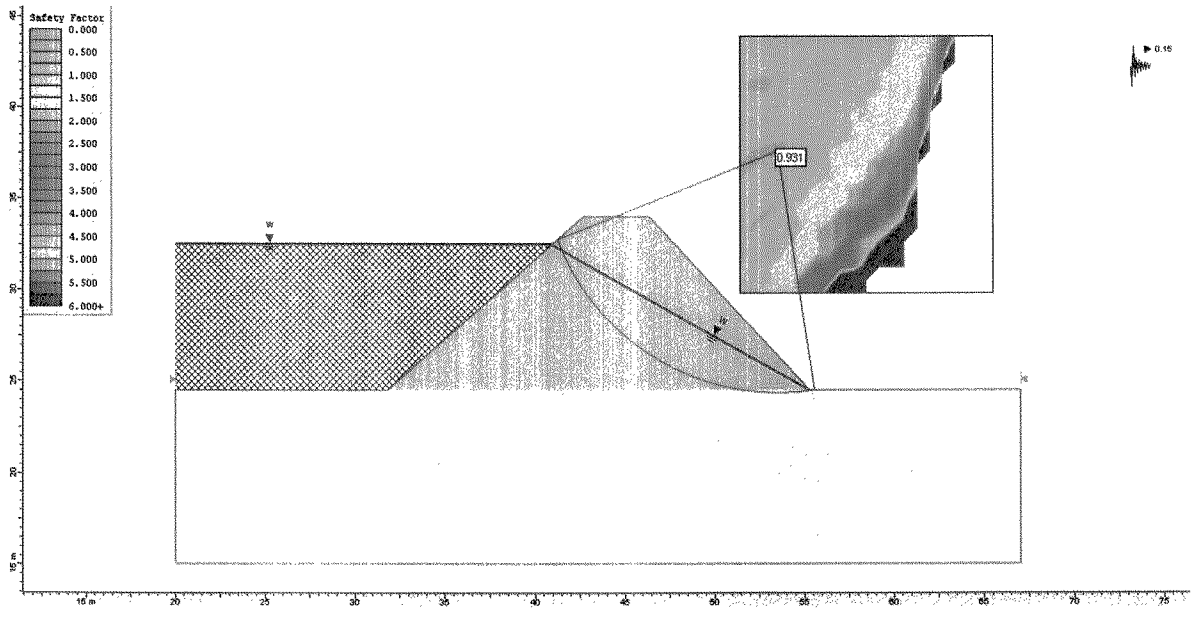


FIGURA 19.4-13
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

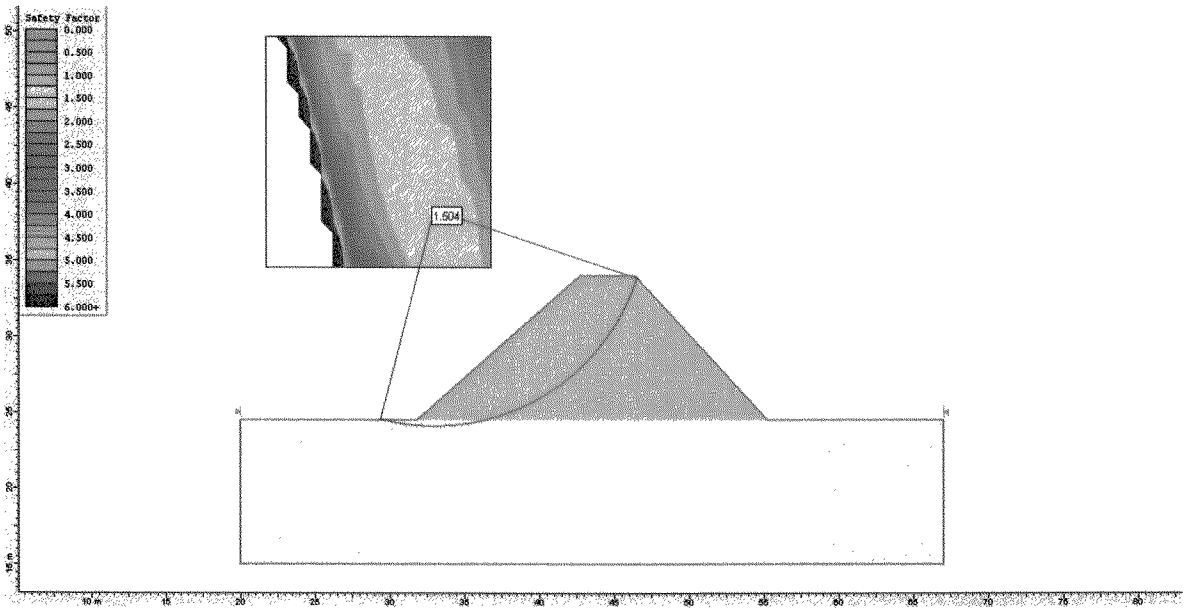


FIGURA 19.4-14
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

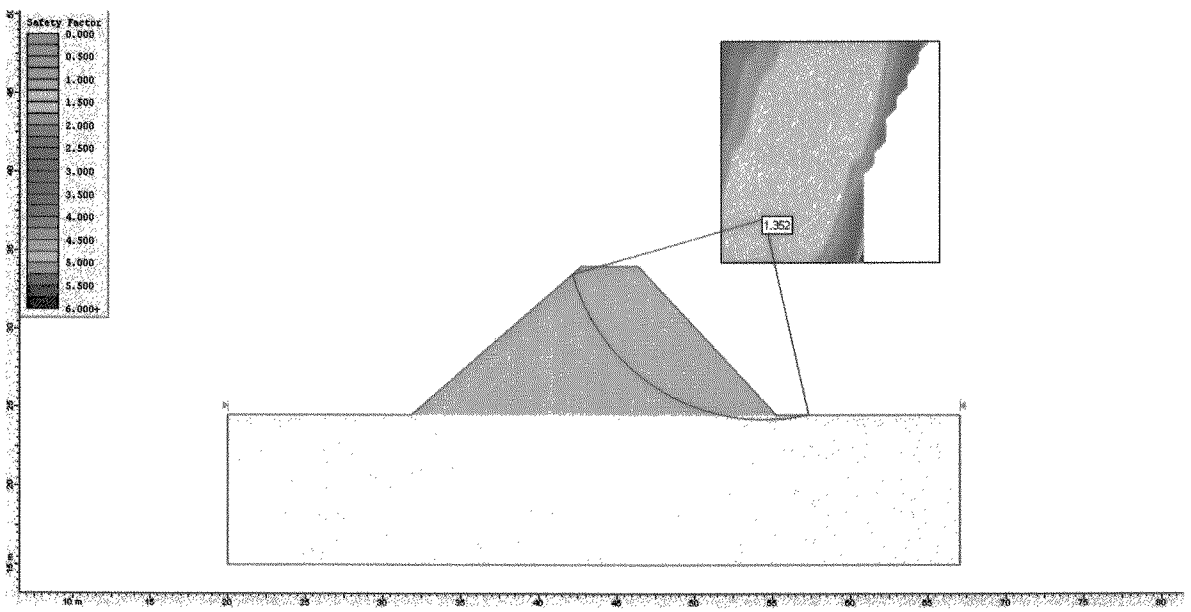


FIGURA 19.4-15
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

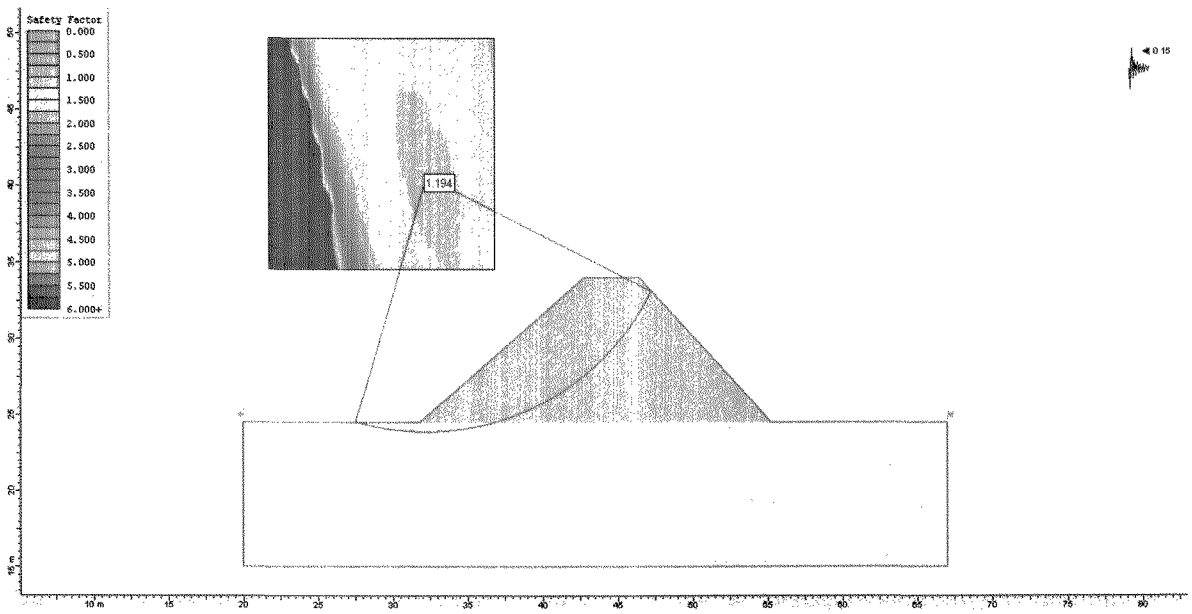


FIGURA 19.4-16
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA

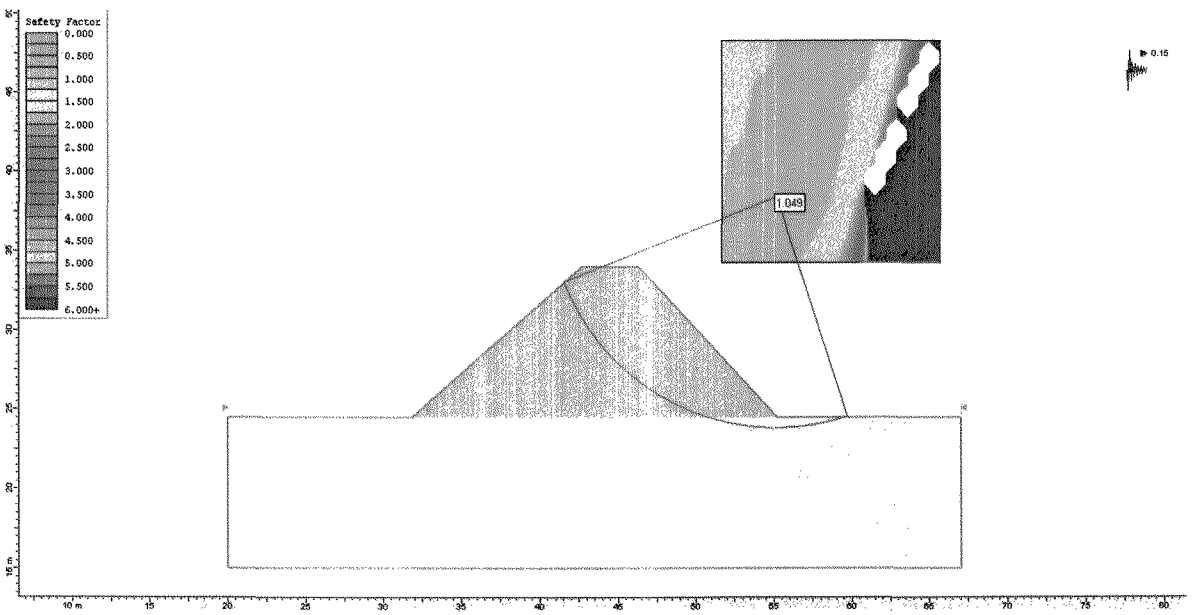


FIGURA 19.4-17
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

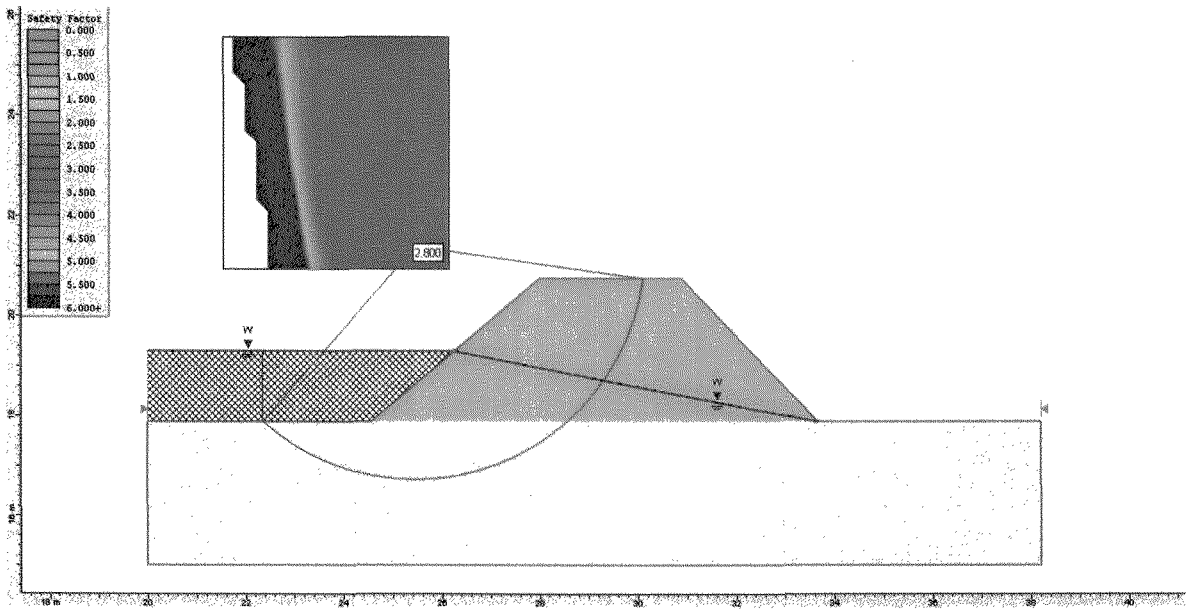


FIGURA 19.4-18
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

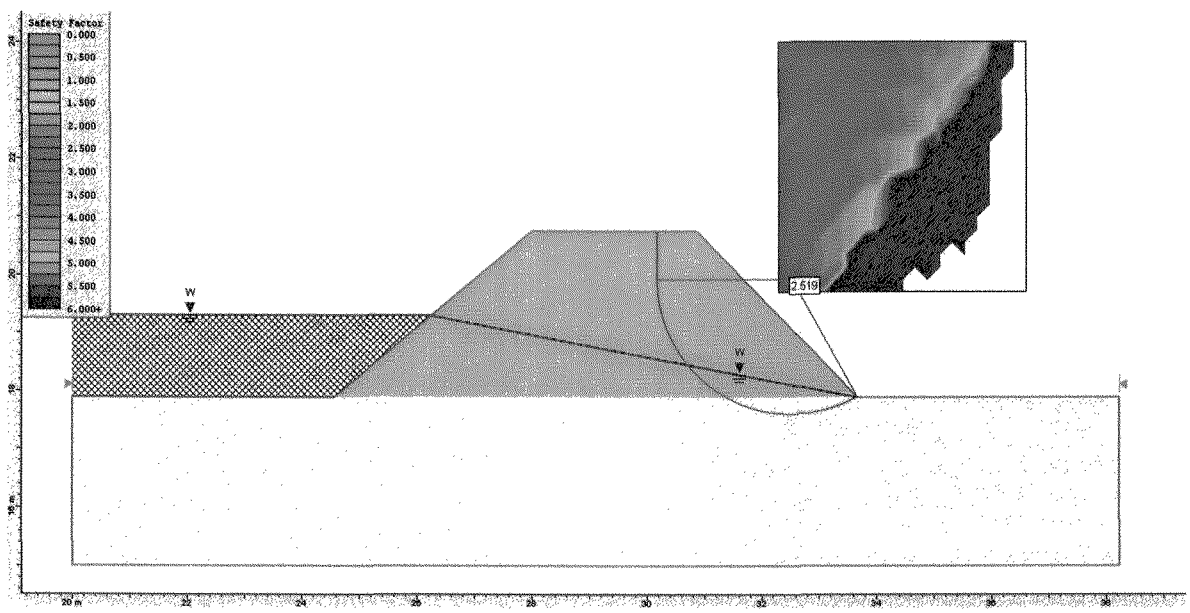


FIGURA 19.4-19
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

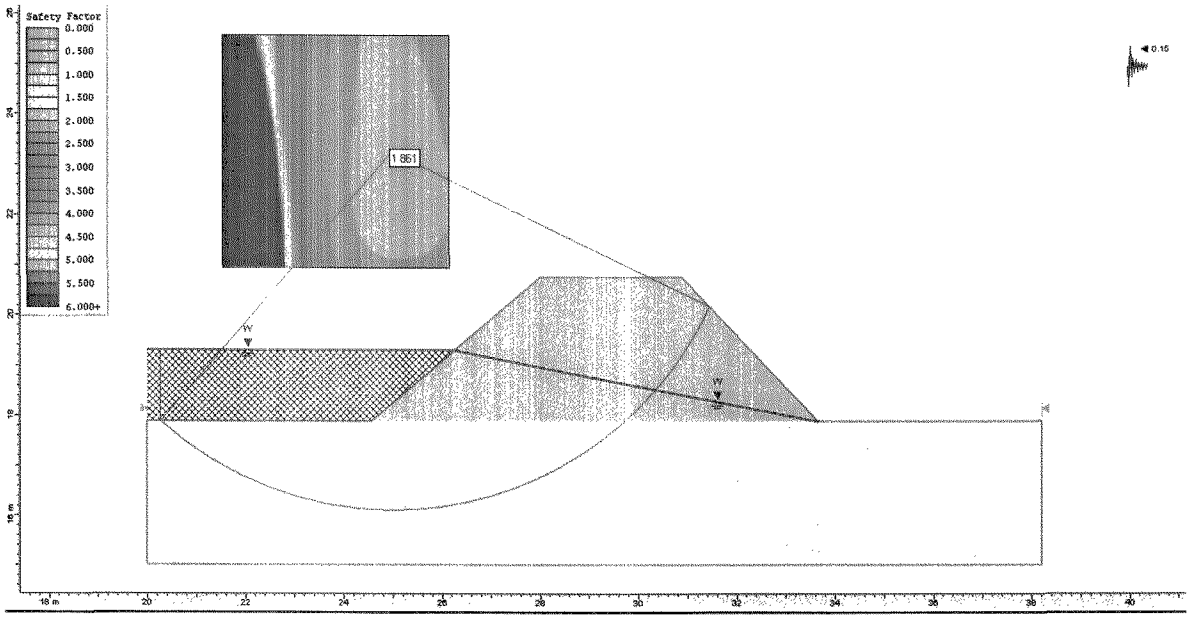


FIGURA 19.4-20
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

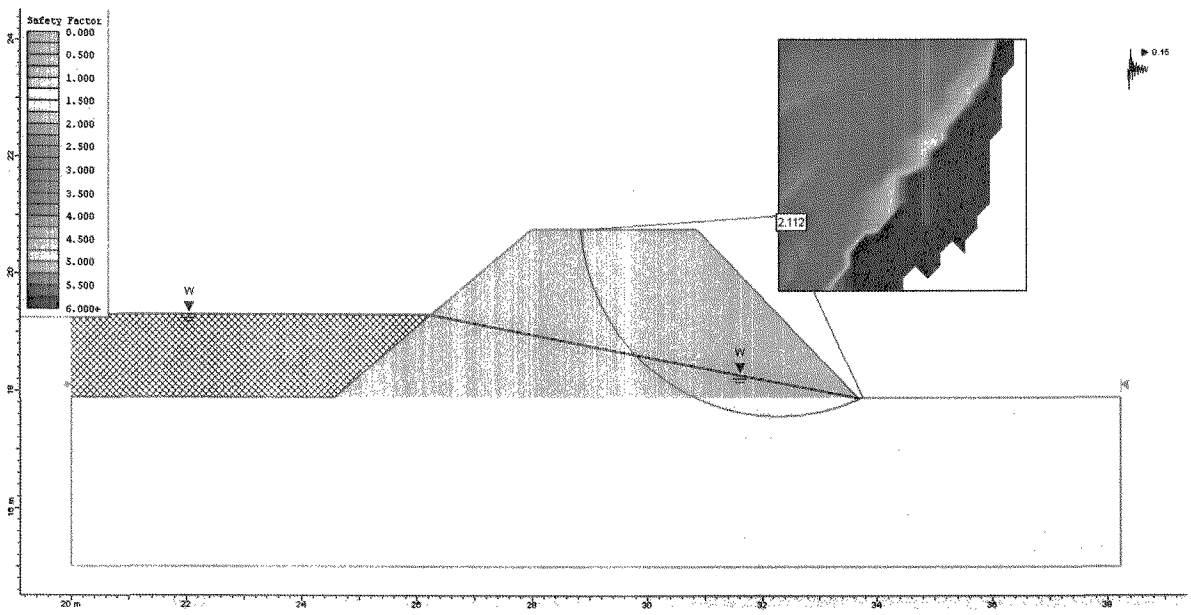


FIGURA 19.4-21
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

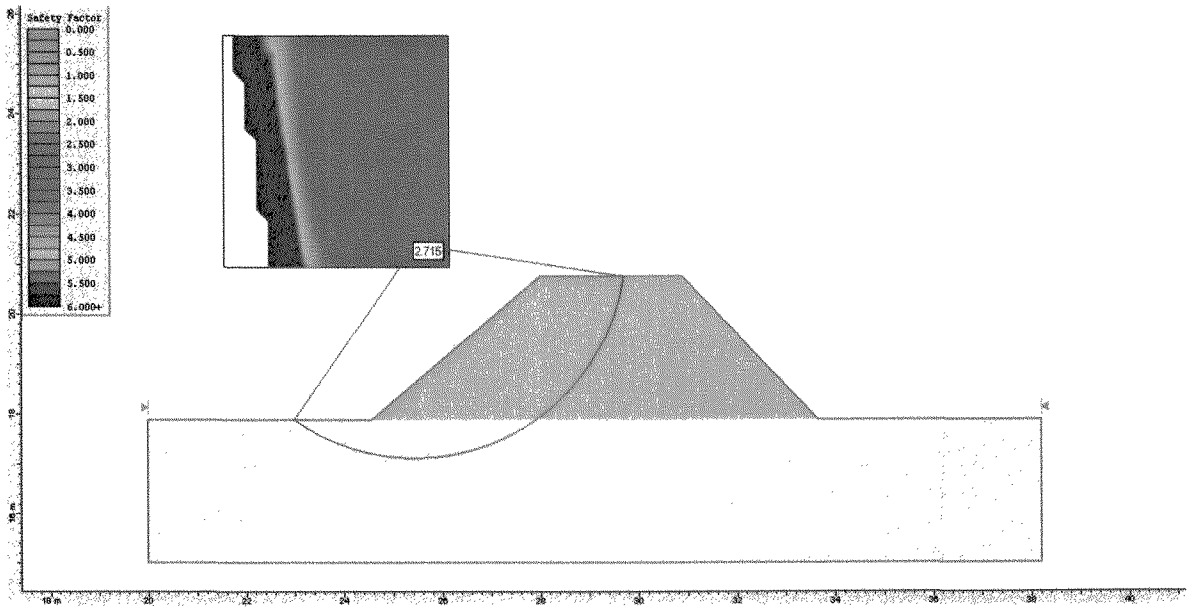


FIGURA 19.4-22
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

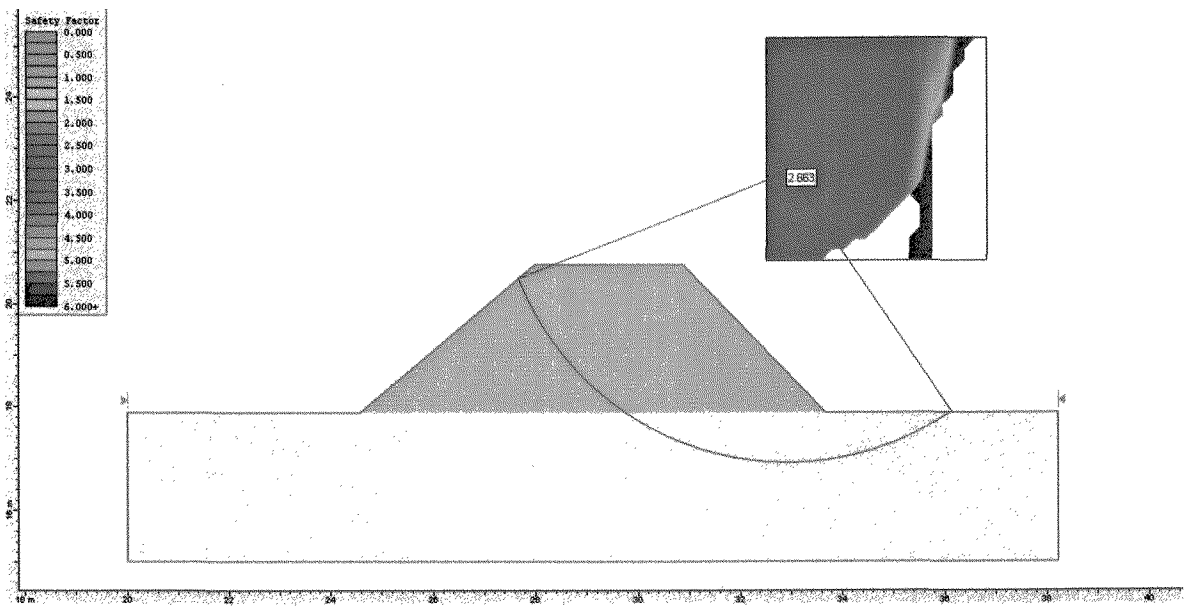


FIGURA 19.4-23
MURO 3 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

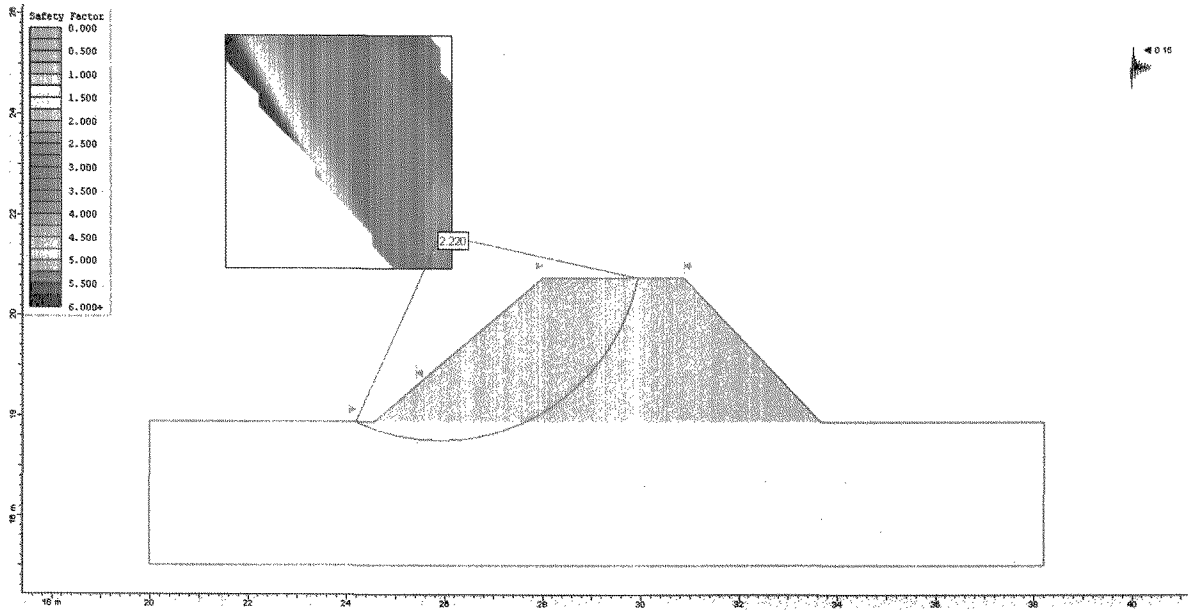
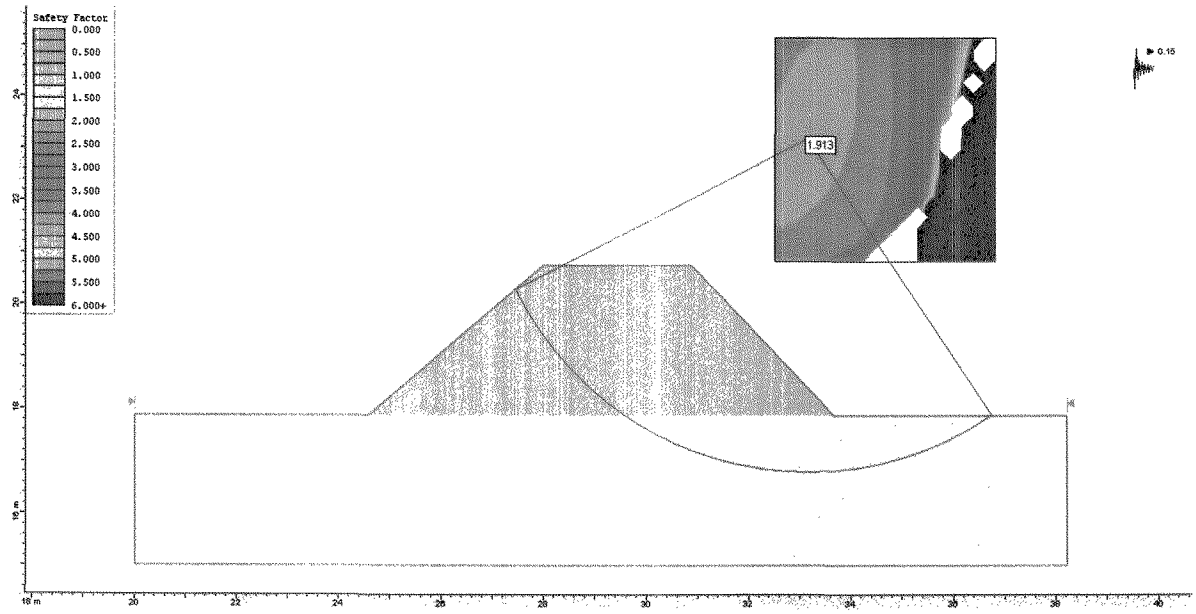


FIGURA 19.4-24
MURO 3 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 19.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES
LOS MAITENES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
Los Maitenes	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Muro 1	2,735	2,456	1,813	1,983
Muro 2	1,861	1,179	1,247	0,931
Muro 3	2,800	2,519	1,861	2,112

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
Los Maitenes	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Muro 1	2,673	2,582	2,045	1,866
Muro 2	1,504	1,352	1,194	1,049
Muro 3	2,715	2,663	2,220	1,913

19.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Los Maitenes***, se tiene:

	MURO 1	MURO 2	MURO 3	
Lh (m) =	11,1	21,5	8,4	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	0	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,70	1,70	1,70	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	1,37	7,03	1,07	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso, para los muros M1 y M3, **SÍ** se cumple la relación, por lo tanto, **NO** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en las tablas siguientes.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
LOS MAITENES M1	11,1	0	3,71	2,9	1,5	1,368	1,70	2,3	Si

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
LOS MAITENES M3	8,4	0	2,82	2,6	1,5	1,071	1,70	1,8	Si

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso, el muro M2 **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
LOS MAITENES M2	21,5	0	7,16	8,5	1,5	7,029	1,70	11,9	No

19.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Los Maitenes.

LOS MAITENES
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	190	0,1181	0,0652
2	36	0,8090	0,6545	228	0,1417	0,0927
3	30	0,8660	0,7500	250	0,1553	0,1165
4	24	0,9135	0,8346	200	0,1243	0,1037
5	18	0,9511	0,9045	208	0,1292	0,1169
6	12	0,9781	0,9568	241	0,1498	0,1433
7	6	0,9945	0,9891	307	0,1908	0,1887
8	0	1,0000	1,0000	394	0,2448	0,2448
9	6	0,9945	0,9891	256	0,1591	0,1573
10	12	0,9781	0,9568	228	0,1417	0,1355
11	18	0,9511	0,9045	219	0,1361	0,1231
12	24	0,9135	0,8346	210	0,1305	0,1089
13	30	0,8660	0,7500	201	0,1249	0,0937
14	36	0,8090	0,6545	176	0,1094	0,0716
15	42	0,7431	0,5523	157	0,0976	0,0539
	Suma	**13,5109**			Suma	**1,8158**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,134 millas
F = 216,29 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,44	0,7451
Molitor	2,34	0,7118
Creager	0,91	0,2781
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **1,50 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

19.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

19.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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		
		Muro 1	Muro 2	Muro 3
No se registra falla para el evento dado	0,05	0,05		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			

19.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**0,8**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,36	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**0,29**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	7,17	0,95	0,00	0
0,002	8,45	0,95	0,00	0
0,0010	9,45	0,95	0,00	0

19.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado		
		Muro 1	Muro 2	Muro 3
Sin humedad al pie	0,05	0,05		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		0,2	
Si existe sistema de drenaje	0			
Si el material es cohesivo	0,05			

19.7.4 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

19.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

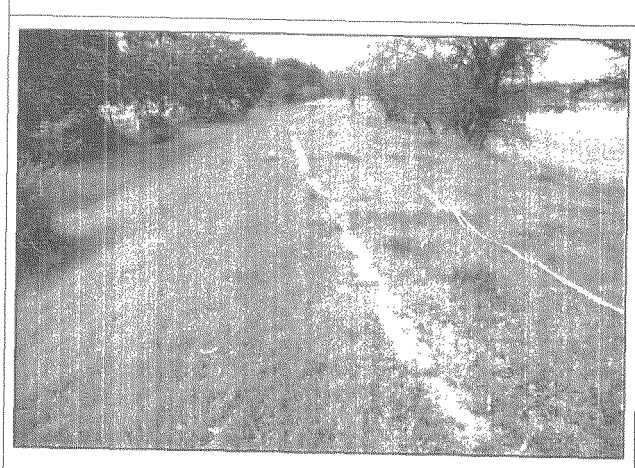
Riesgo	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Muro 1	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	0,50
Muro 2	0,80	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00
Muro 3	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	0,50

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía para los muros 1 y 3, y sísmico en el muro 2.

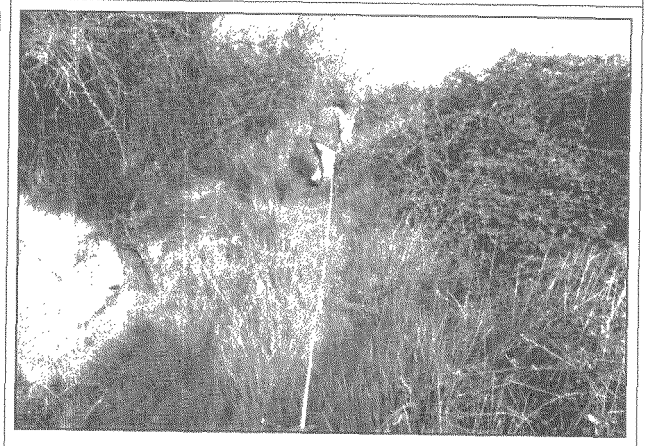
19.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Los Maitenes.

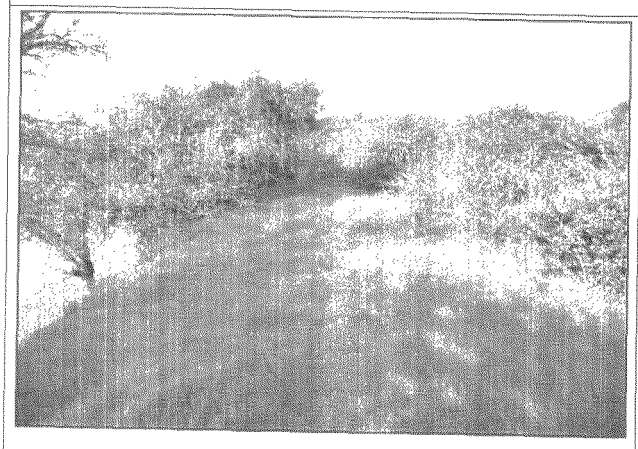
VISTA MURO 1



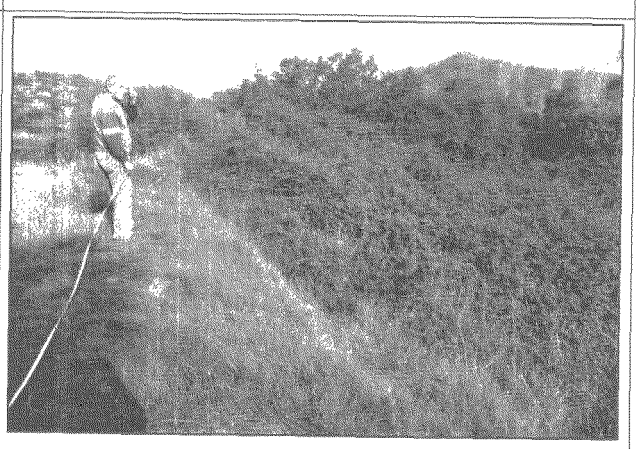
VISTA MURO 2



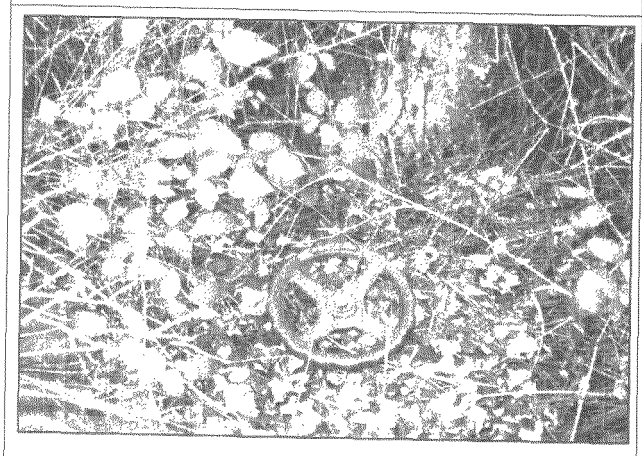
VISTA MURO 3



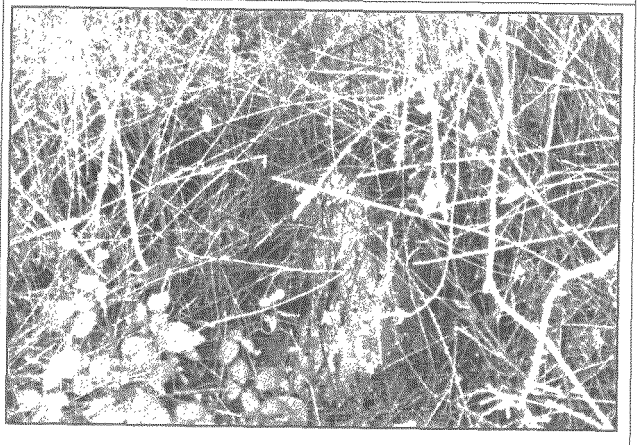
VISTA MURO 2 EN ANGOSTAMIENTO



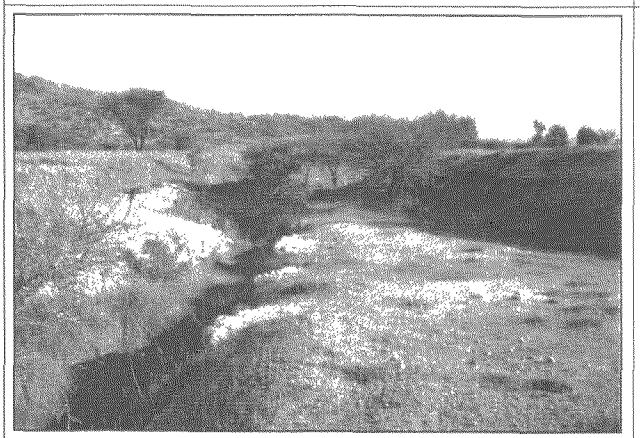
OBRA DE ENTREGA M2



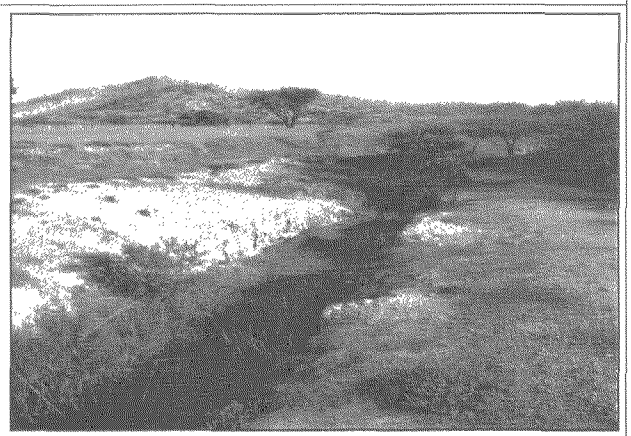
OBRA DE ENTREGA M2



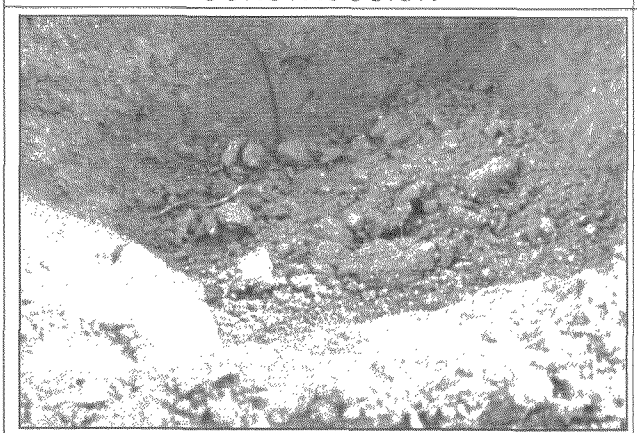
EVACUADOR DE CRECIDAS M3



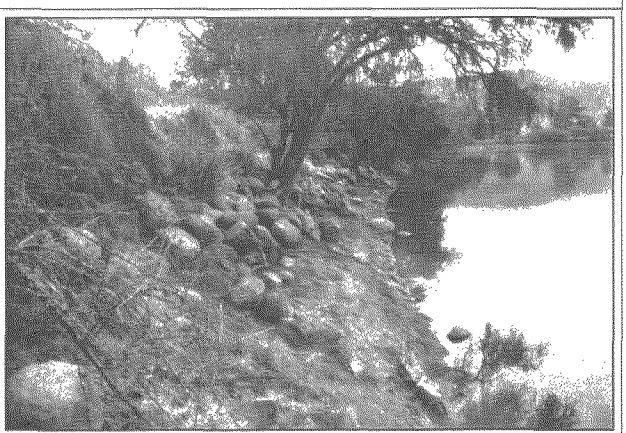
EVACUADOR DE CRECIDAS M3



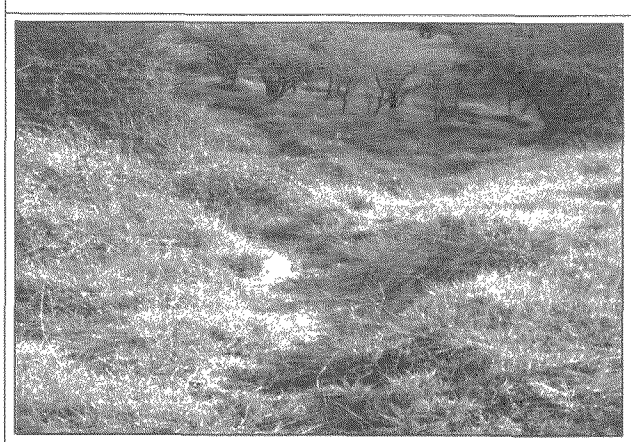
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



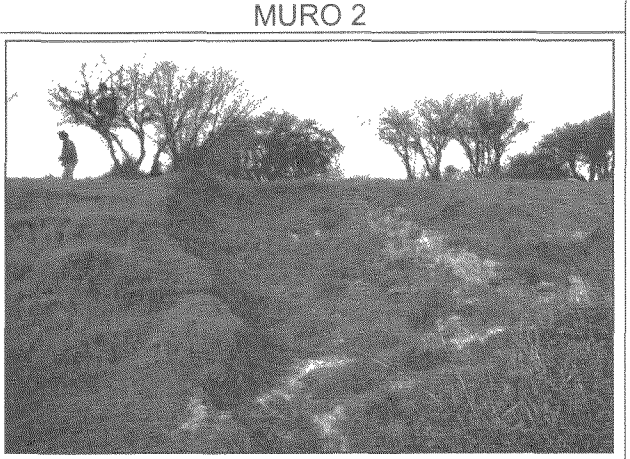
VISTA TALUD MURO 2 AGUAS ARRIBA



VISTA TALUD MURO 2 AGUAS ABAJO



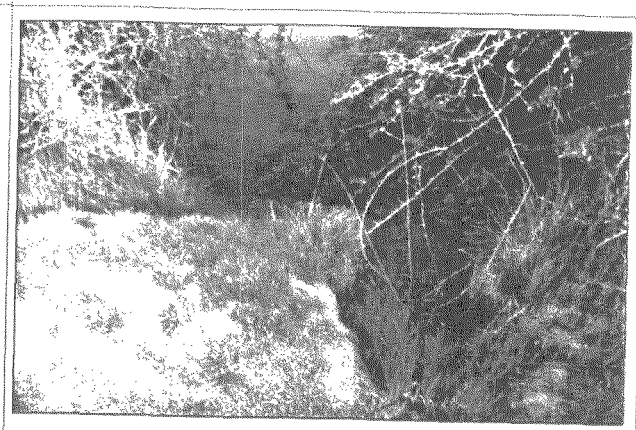
DEPRESIÓN EN TALUD AGUAS ABAJO MURO 2



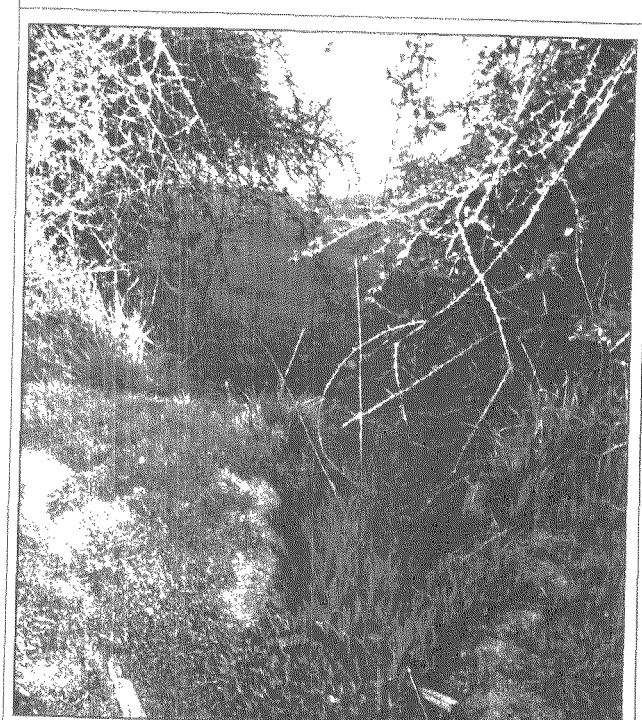
FILTRACIÓN MURO 2



CÁRCAVAS M3



CÁRCAVAS M3



CÁRCAVAS M3



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Los Maitenes M1
Propietario	Paulina Lira San fuentes
RUT Propietario	S/I
Año de construcción	S/I
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Río Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Fuente del recurso	Estero Trinidad

Nº de ficha	19.1
Fecha (dd/mm/año)	02/10/2009
Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.197.171	E= 263.574
Coordenadas UTM Centro	N= 6.197.085	E= 263.499
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.196.973	E= 263.465
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 172 ; C = 169 ;	EI = 170

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	238		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 3,3 ;	C = 3,2 ;	EI = 4,3
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	5,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,5		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 39°;	C = 35°;	EI = 32°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 41°;	C = 36°;	EI = 44°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

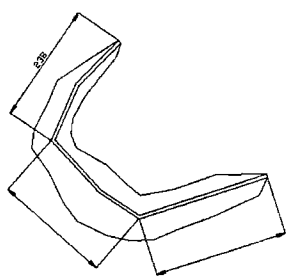
7-8. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Medianamente regular
Compacidad del material estructural	Se midió en el muro central (M2)
Uniformidad de los taludes	Uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se aprecian 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	No se aprecian filtraciones en el talud de aguas abajo en el pie
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

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 1,30%, ancho medio 2,50 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	3,55 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	3,08 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Adyacente
Área de riego servida por el tranque analizado	No riega actualmente

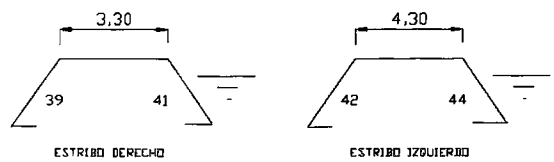
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)



Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



12. OBSERVACIONES

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Los Maitenes M2
Propietario	Paulina Lira San fuentes
RUT Propietario	S/I
Año de construcción	S/I
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Río Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Fuente del recurso	Estero Trinidad

N° de ficha	19.2
Fecha (dd/mm/año)	02/10/2009
Cumplimiento Art. 294 del Código de Aguas	✓
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.196.973	E= 263.465
Coordenadas UTM Centro	N= 6.196.928	E= 263.510
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.196.882	E= 263.581
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 170 ; C = 170 ;	EI = 169

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	147		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 4,3 ;	C = 3,3 ;	EI = 3,5
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	13,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,5		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 42° ;	C = 40° ;	EI = 40°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 44° ;	C = 38° ;	EI = 60°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	8,5
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	7,0
Área estimada o calculada de la poza (m2)	64.000
Ancho máximo de la poza (km)	0,16
Largo de la poza (km)	0,4
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,112

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.196.928 E= 263.510	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Arenosa

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Medianamente regular
Compacidad del material estructural	Medio
Uniformidad de los taludes	Medianamente regular en el talud aguas arriba. Irregular en el talud aguas abajo
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Se aprecian depresiones visibles en el estribo izquierdo del muro 2. Sector con bastante vegetación y donde el muro disminuye su ancho llegando a los 0.5 mts
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles, solo cárcavas en el talud aguas abajo en el estribo izquierdo.
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 en el talud de aguas abajo en el pie en los metros 120 al 130 a partir del estribo derecho del muro 2. Sector con bastante vegetación (ver album fotográfico)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

9. CARACTERISTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGUE DE FONDO

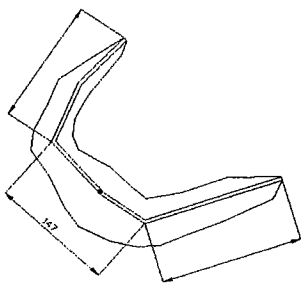
Tipo de estructura	2 tuberías de 10 cms de diámetro que pasan por debajo del tranque y que son controladas por válvulas.
Mediciones estructurales	Tuberías de 10 cms de diámetro
Funcionamiento actual	No están en uso

10. CARACTERIZACION 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 agricolas, pendiente media 1,30%, ancho medio 2,50 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	3,55 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	3,08 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Adyacente
Área de riego servida por el tranque analizado	No riega actualmente

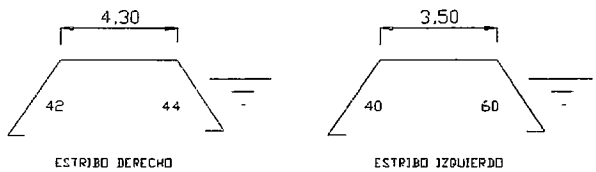
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)

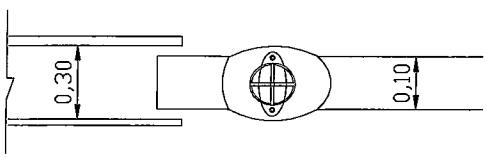


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

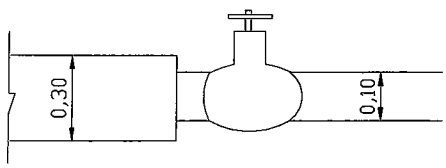
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

La filtración del muro 2 , se encuentra antes del estribo izquierdo en la parte baja del muro en el pie aguas abajo del tranque. En el album fotográfico solo se ve la abundante vegetación la que impide llegar hasta el lugar de la filtración. Según nos comenta el encargado del tranque, la filtración aumenta cuando el tranque esta lleno

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Los Maitenes M3
Propietario	Paulina Lira San fuentes
RUT Propietario	S/I
Año de construcción	S/I
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Río Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Fuente del recurso	Estero Trinidad

Nº de ficha	19.3
Fecha (dd/mm/año)	02/10/2009

Cumplimiento Art. 294 del Código de Aguas	✓
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.196.882	E= 263.581
Coordenadas UTM Centro	N= 6.196.911	E= 263.510
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.196.937	E= 263.581
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 169 ; C = 165 ;	EI = 167

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	x
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	201		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 3,5 ;	C = 3,0 ;	EI = 2,2
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	4.0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1.5		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Angulo talud de aguas abajo	ED = 40° ;	C = 40° ;	EI = 39°
Angulo talud de aguas arriba	ED = 60° ;	C = 42° ;	EI = 35°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Medianamente regular
Compacidad del material estructural	Se midió en el muro central (M2)
Uniformidad de los taludes	Uniforme aguas abajo. Irregular aguas arriba
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	El muro presenta bastantes depresiones entre el coronamiento y el talud aguas abajo (ver album fotográfico)
Grietas visibles y su ubicación	No se aprecian grietas visibles, solo cárcavas en el talud aguas abajo cada 10 mts (ver album fotográfico)
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se aprecian indicios de deslizaminetos
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 en el talud de aguas abajo en el pie
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")
Vertederos frontales	X
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	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	
Vertedero con perfil hidráulico	

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

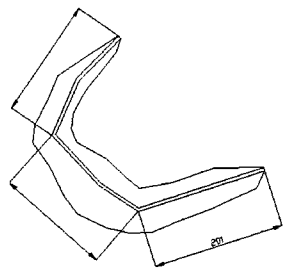
Los datos a consignar son:	
Tipo de vertedero	Canal en Tierra de 1.30 mts de ancho por 0.50 mts de alto
Material constructivo	Tierra
Estado de conservación y operatividad	Operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Carga Maxima 5,76 m3/s

10. CARACTERIZACION 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 agricolas, pendiente media 1,30%, ancho medio 2,50 m
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	3,55 km
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	3,08 km
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	Adyacente
Área de riego servida por el tranque analizado	No riega actualmente

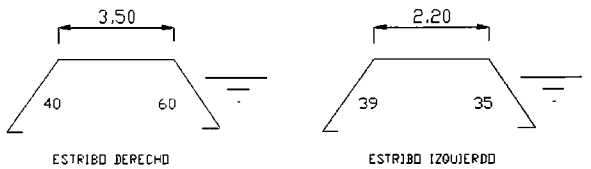
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)

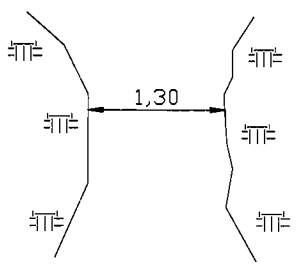


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

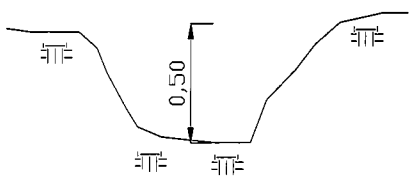
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

EMBALSE SAN GUILLERMO
(SANTA MARTA)

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

20. EMBALSE SAN GUILLERMO (SANTA MARTA)
20.1 Ubicación
20.2 Características Generales
20.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
20.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
20.5 Determinación de Filtraciones
20.6 Verificación del Oleaje
20.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
20.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

20. EMBALSE SAN GUILLERMO (SANTA MARTA)

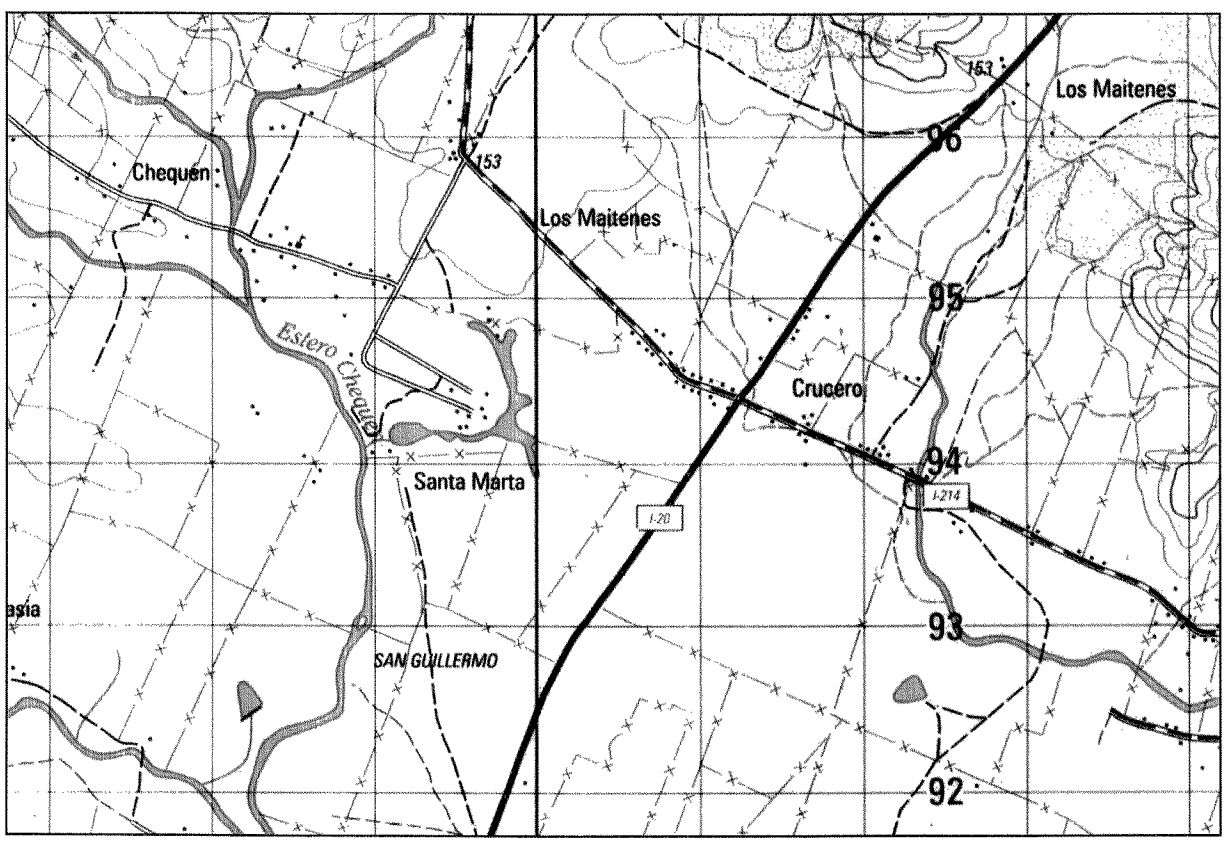
20.1 Ubicación

El embalse San Guillermo se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Colchagua, en las coordenadas UTM 6.194.250 Norte y 259.764 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 143 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Rapel, subcuenca del Río Tinguiririca y la fuente corresponde al estero Chequén.

Al sitio de emplazamiento se puede acceder desde Marchigüe al norte por la ruta I-76 hasta cruce con la ruta I-20, hacia el norponiente aproximadamente 700 m hasta entrada del camino particular al embalse.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 20.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE SAN GUILLERMO



Fuente: Carta IGM

20.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra homogénea perteneciente a Soc. Agrícola Ganadera y Forestal Las Cruces Ltda. El uso y destino del embalse es de riego.

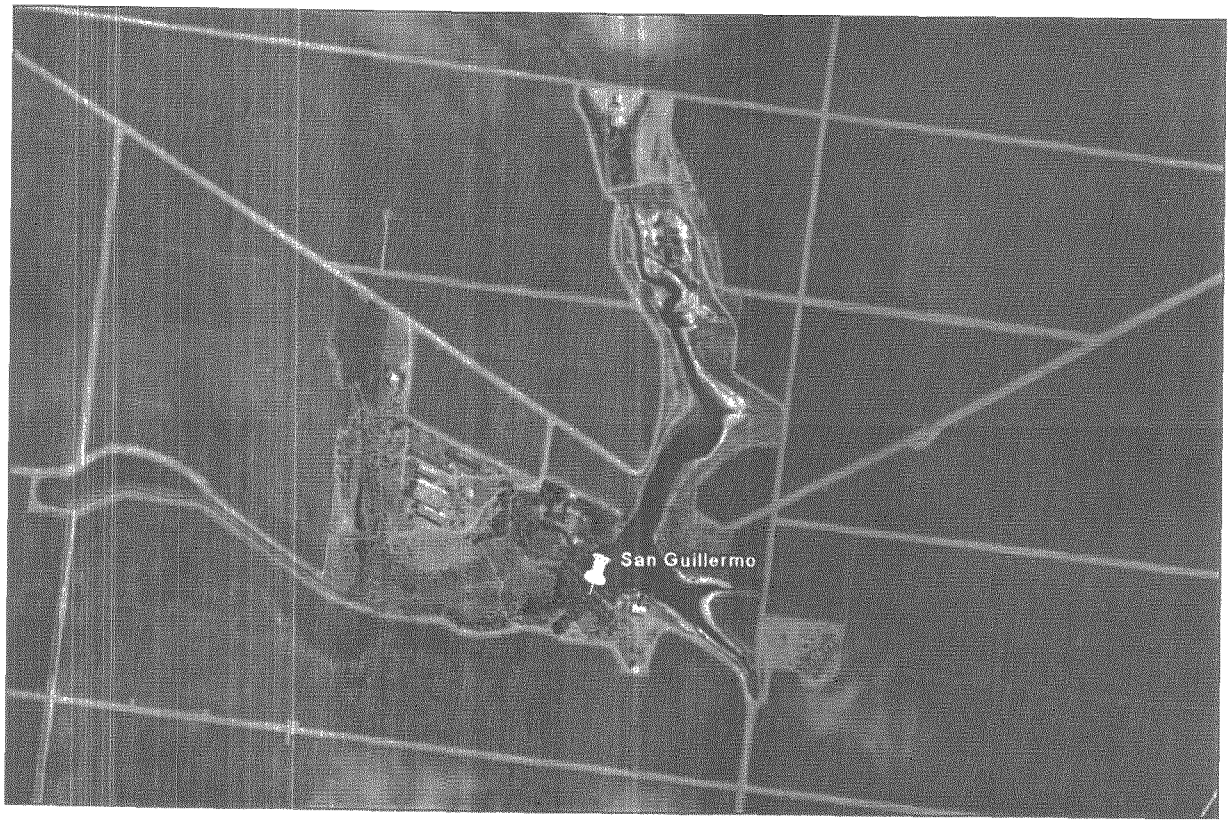
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 0,026 hm^3. La altura máxima del muro es de 5,4 m, con una longitud de coronamiento de 95 m y ancho promedio del coronamiento de 3,3 m y borde libre de 0,7 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,15:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,11:1.

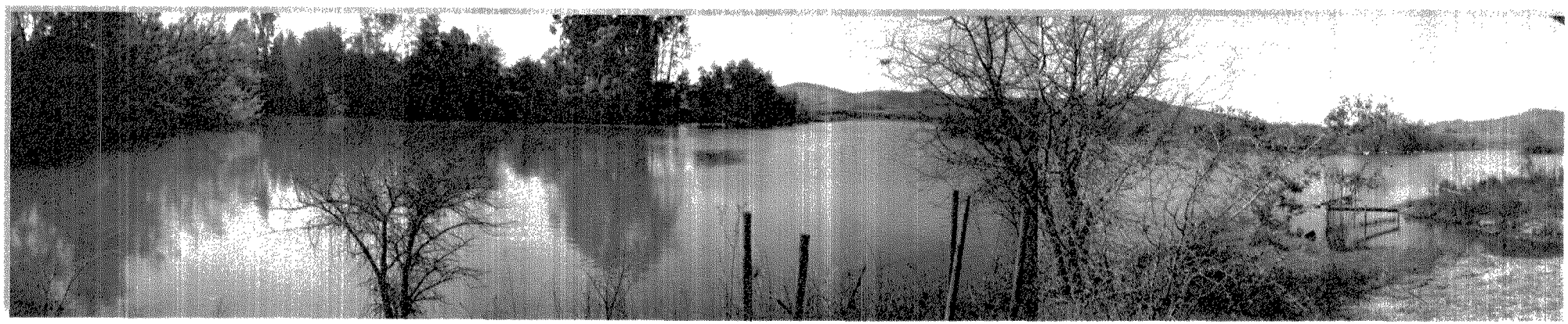
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal de caída libre, de ancho medio de 8,0 m y 2,5 m de alto. No tiene estructura de control. En regular estado de conservación, operativo.

La ***obra de entrega*** corresponde a una casa de bombas con 5 tuberías de 200 mm de diámetro, que conducen el agua a piscinas contenedoras en altura, las que conducen el agua directamente a los predios por gravedad. Las obras están operativas.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 20.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE SAN GUILLERMO





Vista panorámica Embalse San Guillermo (Santa Marta)

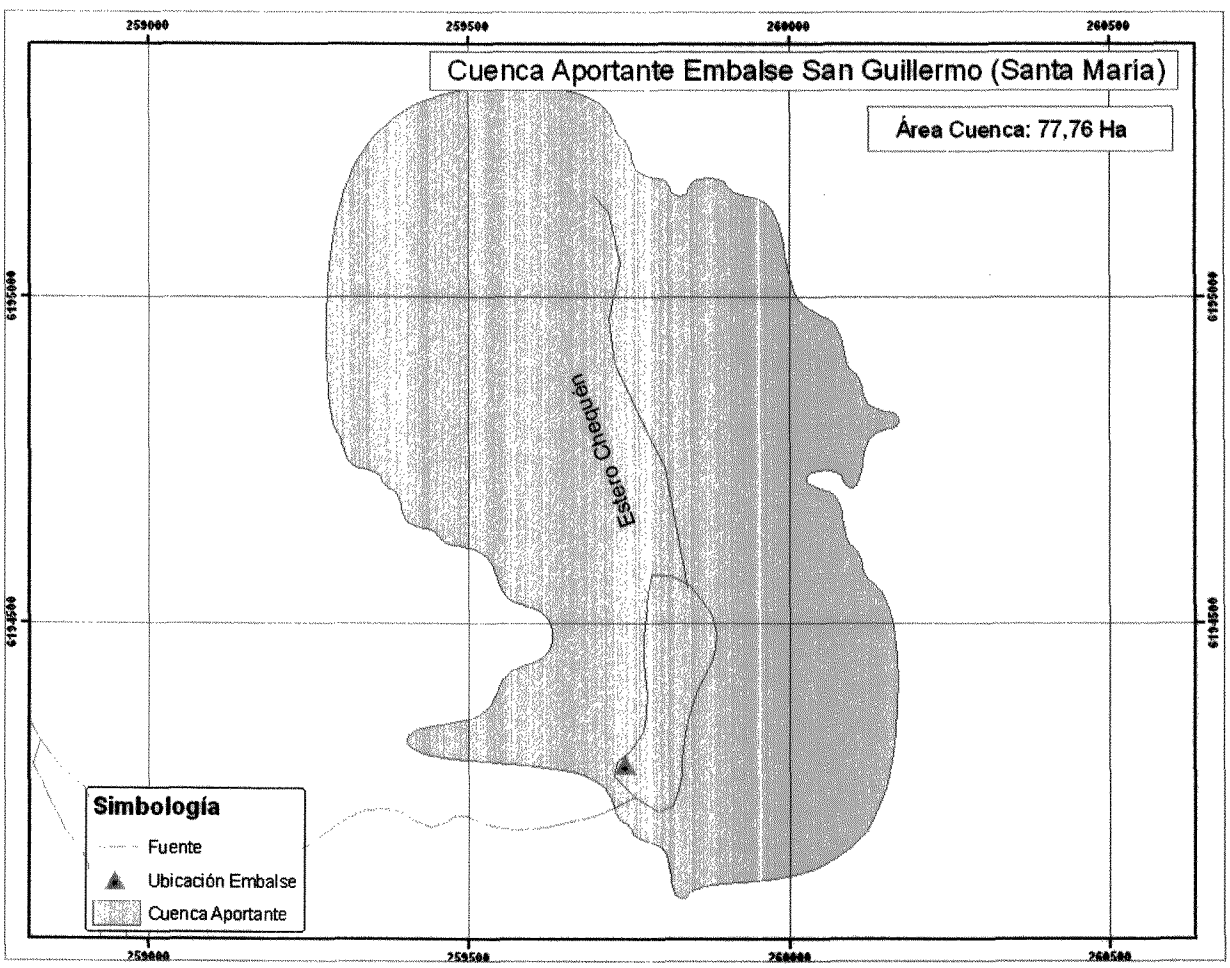
20.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse San Guillermo (Santa Marta) tiene como fuente al estero Chequén, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 0,78 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 20.3-1
CUENCA EMBALSE SAN GUILLERMO



CUADRO 20.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		San Guillermo
SUPERFICIE (ha)	Total	77,8
	Pluvial	77,8
PERÍMETRO (m)	Total	5.220,0
	Pluvial	5.220,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	174,9
	Mínima	148,6
	Diferencia	26,3
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	2,4
	Cauce	4,0
LONGITUD CAUCE (km)	Total	1,40
	Desde centro de gravedad	0,70
CENTROIDE CUENCA	UTM E	259.724
	UTM N	6.194.720
	Altura (msnm)	154,8
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	259.807
	UTM N	6.194.607
	Altura (msnm)	155
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \frac{L}{5,4} \le t_c \le \frac{L}{3,6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
San Guillermo	0,40	2,81	0,02	0,30	0,30

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
San Guillermo	Rapel	0,070	107,1	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
San Guillermo	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	5,3	0,5	1,8
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	7,1	0,7	3,1
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	8,1	1,2	4,0
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	8,8	1,4	4,7
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	9,4	1,6	5,2
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	9,7	1,8	5,6
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	10,9	2,2	6,8
	T=100	1	Cachapoal	1,5	12,0	2,9	8,7

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
San Guillermo	0,20	0,80	1,08	1,24	1,39	1,50	1,86	2,27

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
San Guillermo	3,13	3,70	4,13

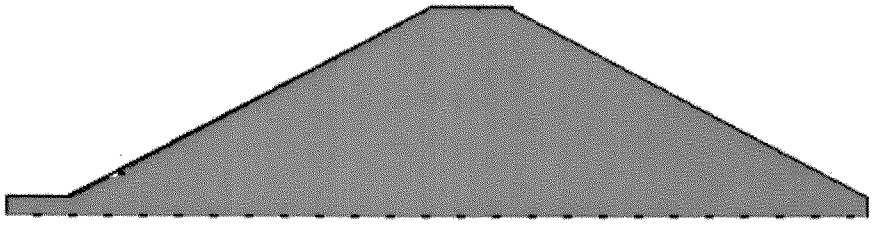
20.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arena arcillo gravosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	5,4 m
Ancho coronamiento	3,3 m
Borde libre	0.70 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,15 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,11 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 20.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 22°	1,8	1,8	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 20.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

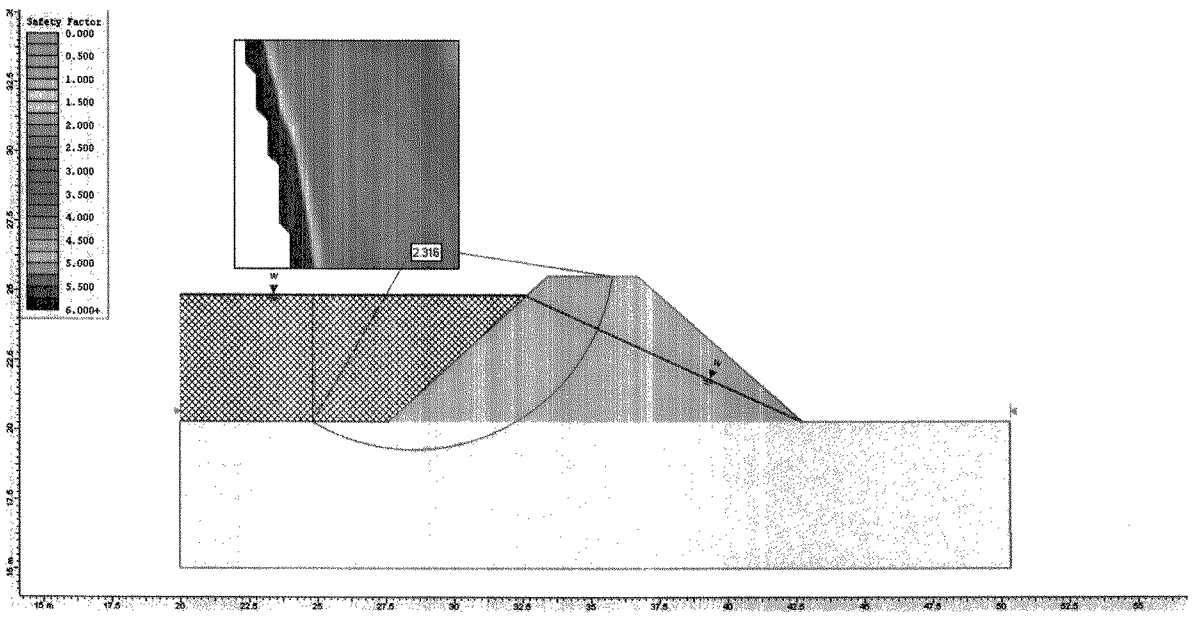


FIGURA 20.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

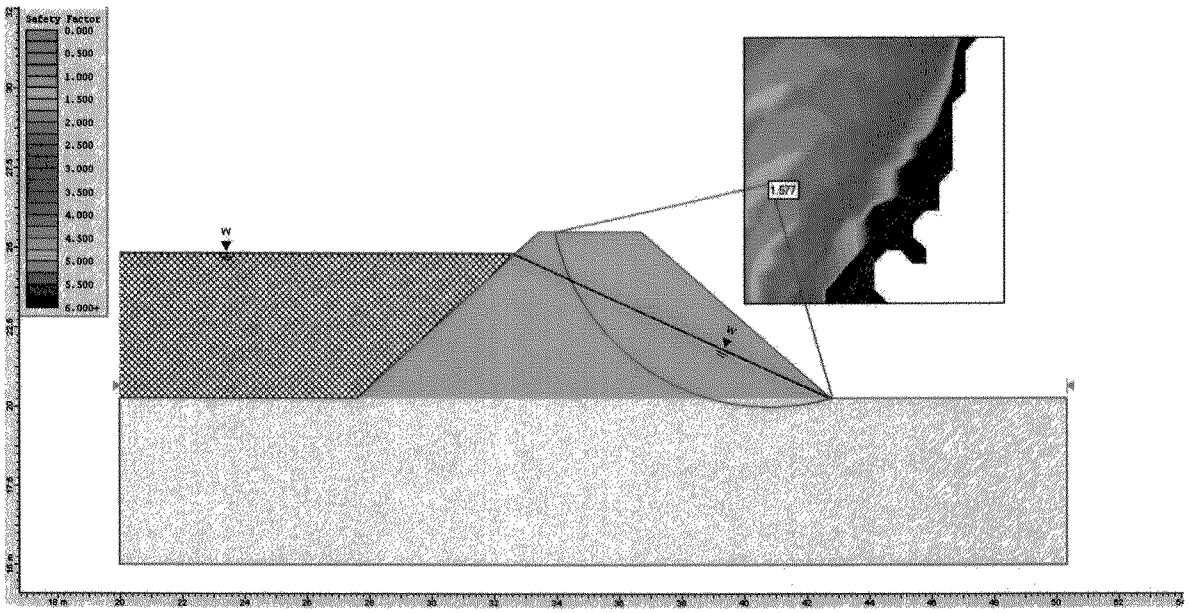


FIGURA 20.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

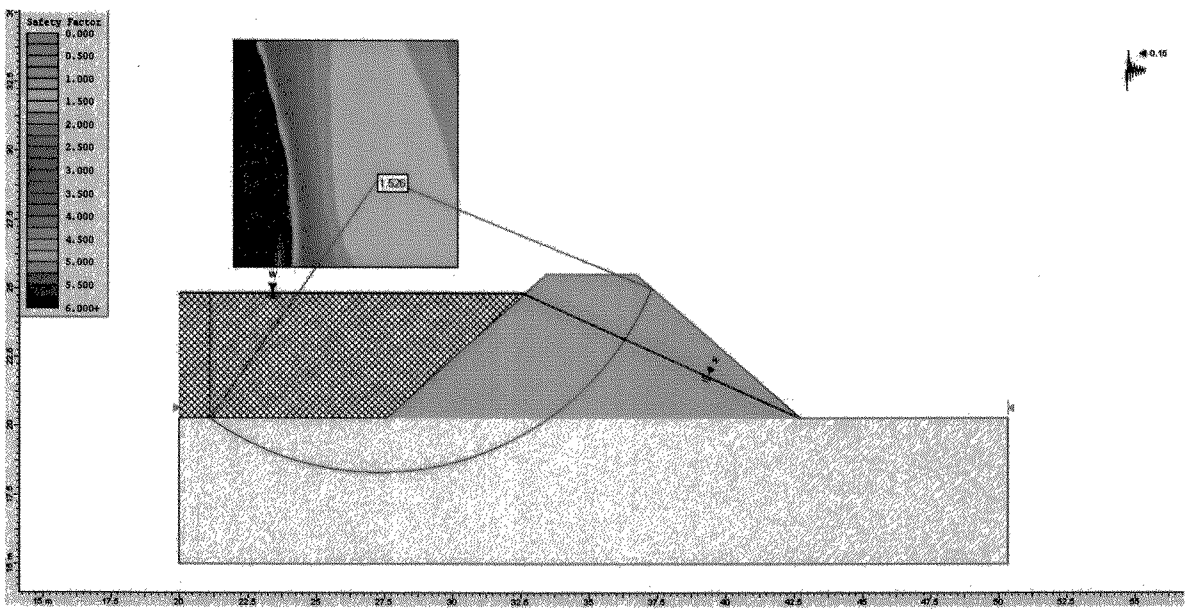


FIGURA 20.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

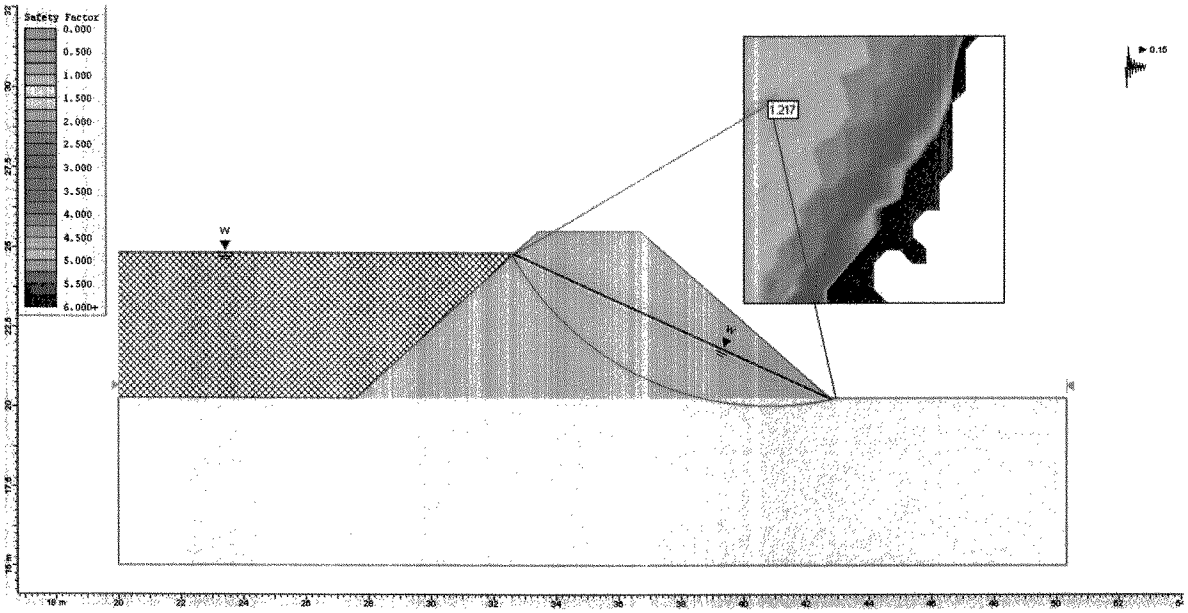


FIGURA 20.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

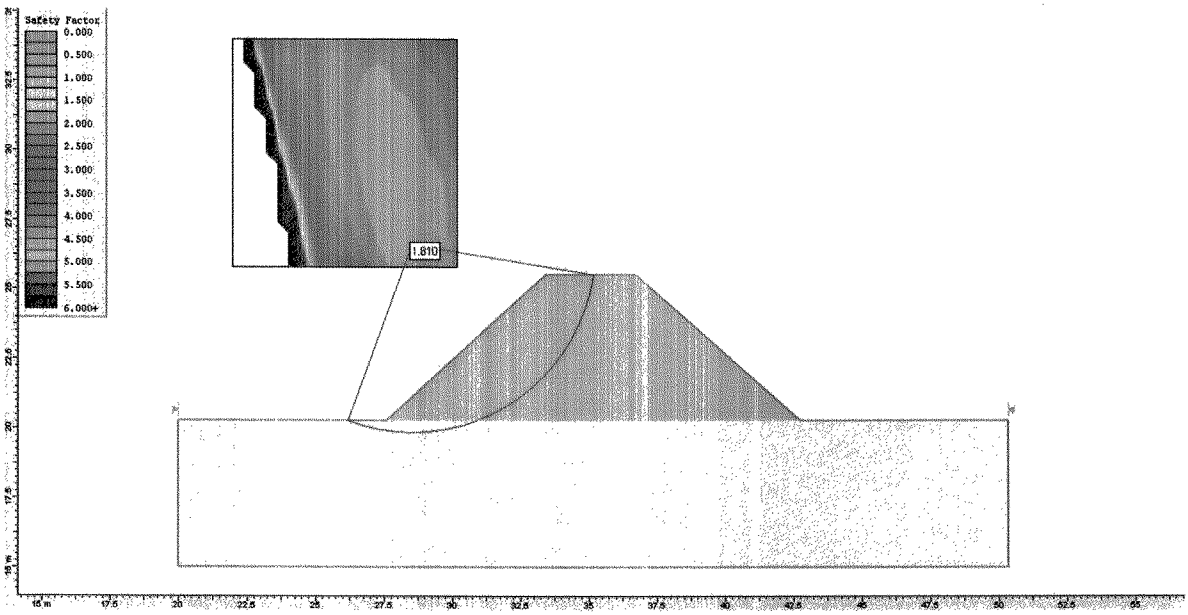


FIGURA 20.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

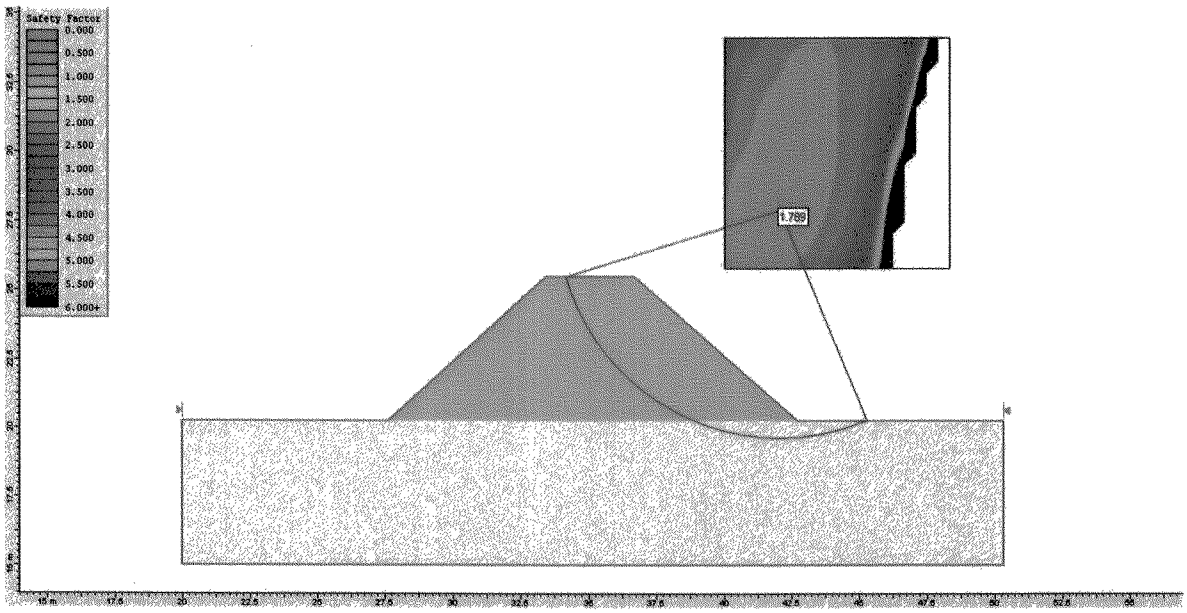


FIGURA 20.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

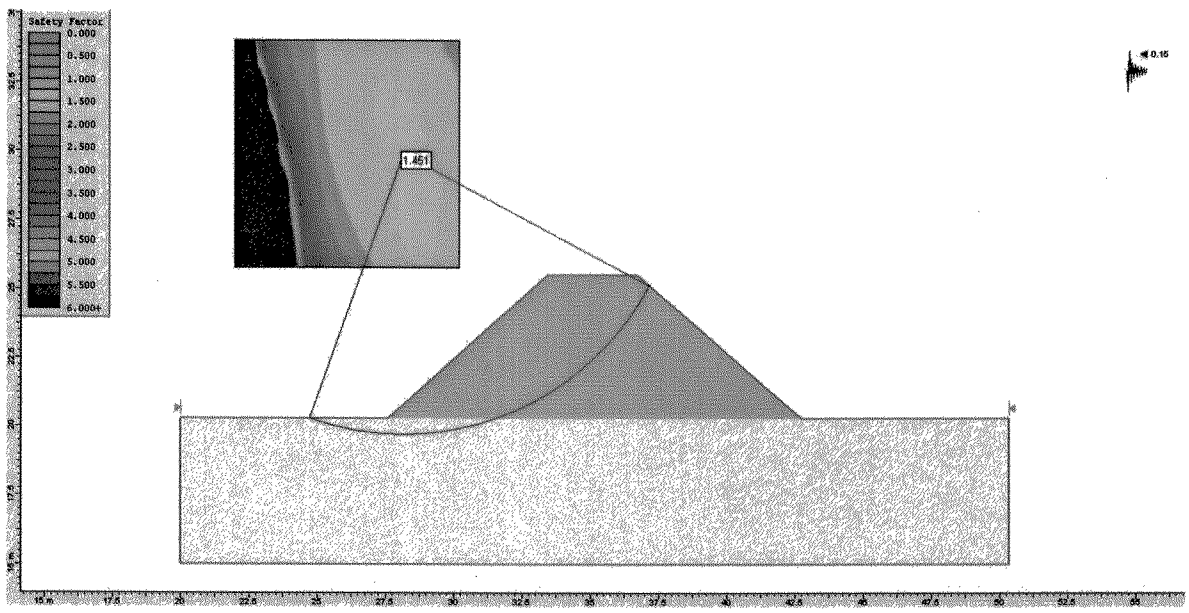
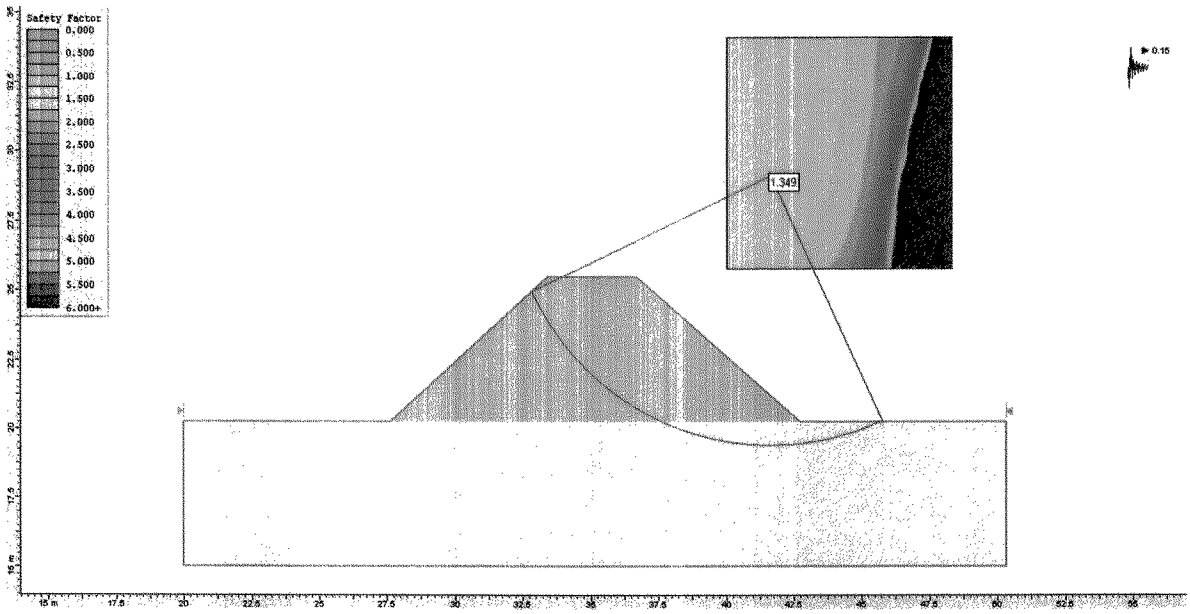


FIGURA 20.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 20.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
San Guillermo	2,316	1,577	1,526	1,217

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
San Guillermo	1,810	1,789	1,451	1,349

20.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***San Guillermo (Santa Marta)***, se tiene:

Lh (m) =	15,4	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	2,5	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	4,65	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
SAN GUILLERMO	15,4	0	5,14	5,4	0,7	4,653	2,50	11,6	No

20.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse San Guillermo (Santa Marta).

SAN GUILLERMO (SANTA MARTA)
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea N°	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	°			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	94	0,0584	0,0323
2	36	0,8090	0,6545	91	0,0565	0,0370
3	30	0,8660	0,7500	86	0,0534	0,0401
4	24	0,9135	0,8346	86	0,0534	0,0446
5	18	0,9511	0,9045	87	0,0541	0,0489
6	12	0,9781	0,9568	101	0,0628	0,0600
7	6	0,9945	0,9891	138	0,0857	0,0848
8	0	1,0000	1,0000	270	0,1678	0,1678
9	6	0,9945	0,9891	233	0,1448	0,1432
10	12	0,9781	0,9568	58	0,0360	0,0345
11	18	0,9511	0,9045	55	0,0342	0,0309
12	24	0,9135	0,8346	51	0,0317	0,0264
13	30	0,8660	0,7500	45	0,0280	0,0210
14	36	0,8090	0,6545	41	0,0255	0,0167
15	42	0,7431	0,5523	41	0,0255	0,0141
	Suma	**13,5109**			Suma	**0,8022**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,059 millas
F = 95,56 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,37	0,7229
Molitor	2,30	0,7008
Creager	0,67	0,2056
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **0,70 m**, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

20.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

20.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

20.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**22,3**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,36	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**8,03**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	3,13	0,05	0,00	0
0,002	3,70	0,05	0,00	0
0,0010	4,13	0,05	0,00	0

20.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

20.7.4 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

20.7.5 Riesgo

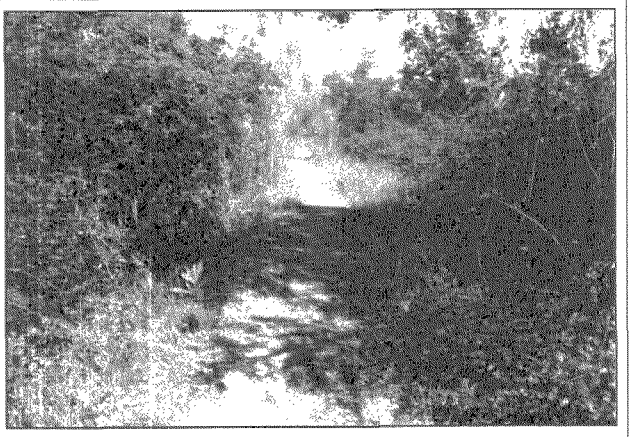
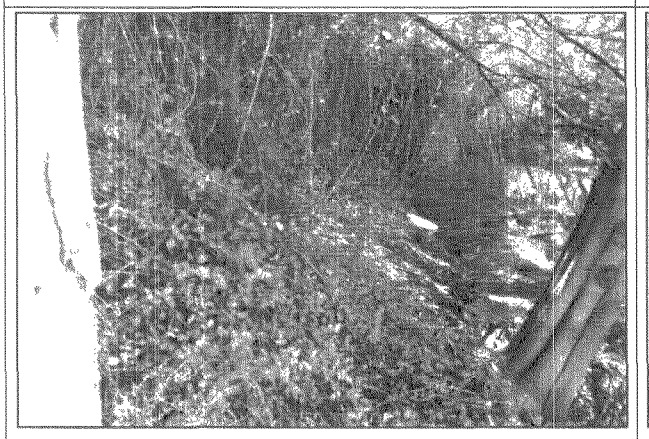
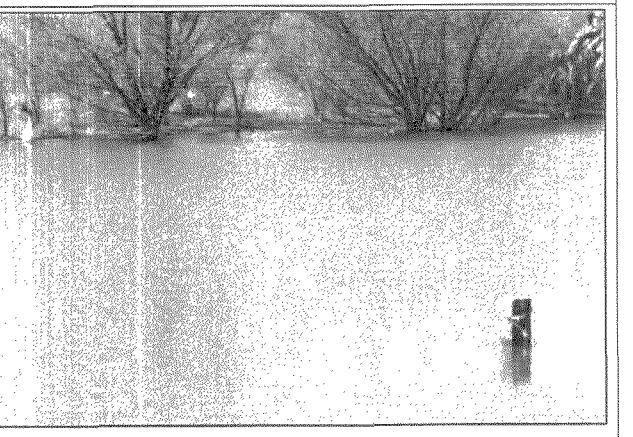
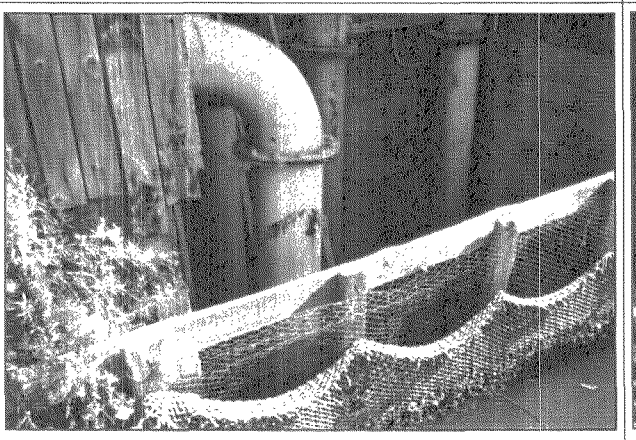
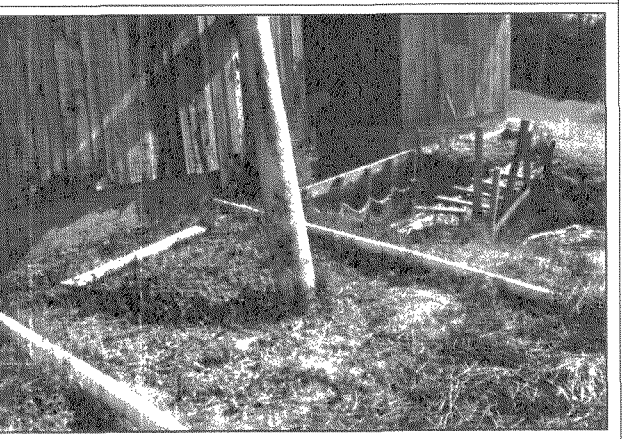
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,20	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	2,00

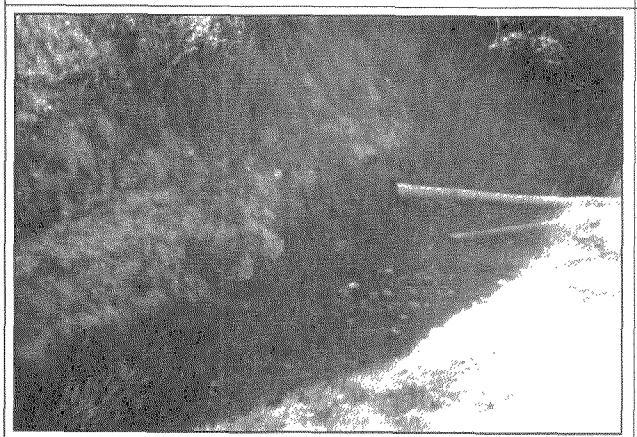
Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

20.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse San Guillermo (Santa Marta).

VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO	VISTA MURO DESDE ESTRIBO IZQUIERDO
	
VISTA TALUD AGUAS ARRIBA	VISTA ESPEJO DE AGUA
	
OBRA DE ENTREGA	OBRA DE ENTREGA
	

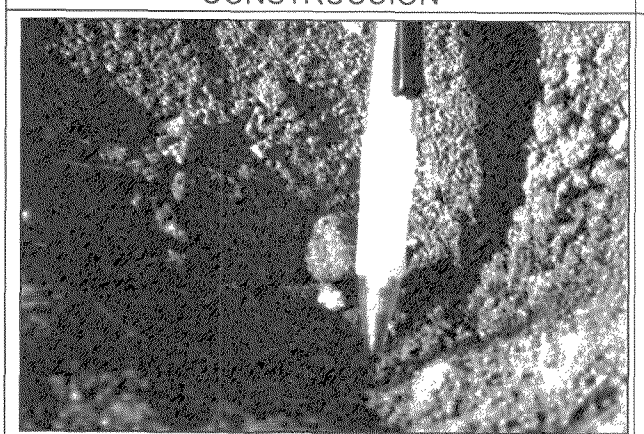
EVACUADOR DE CRECIDAS



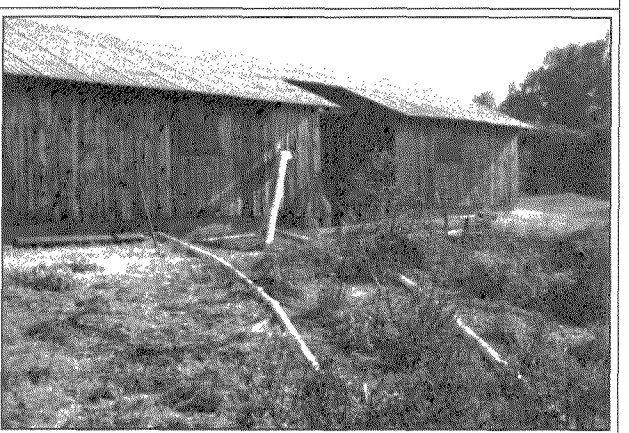
EVACUADOR DE CRECIDAS



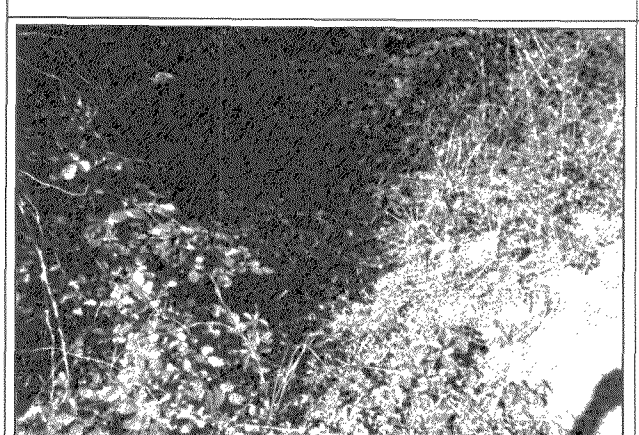
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



CASA DE BOMBAS



VEGETACION MURO AGUAS ARRIBA



VISTA CASA DE BOMBAS



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	San Guillermo (Santa Marta)
Propietario	Soc. Agrícola, Ganadera y Forestal Las Cruces Ltda.
RUT Propietario	78.791.770-4
Año de construcción	S/I (Nuevos dueños - Se desconoce)
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Río Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Tinguiririca 2°
Fuente del recurso	Estero Chequen

Nº de ficha	20
Fecha (dd/mm/año)	05/10/2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.194.292	E= 259.728
Coordenadas UTM Centro	N= 6.194.250	E= 259.764
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.194.237	E= 259.782
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 147; C = 143;	EI = 145

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

	("x")
Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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 (m)	95		
Ancho del coronamiento (m)	ED =3,6	C = 2,2	EI = 4,0
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	8,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,7		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 39°	C = 37°	EI = 50°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 35°	C = 43°	EI = 44°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	5.4
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	4.7
Área estimada o calculada de la poza (m2)	22.200
Ancho máximo de la poza (km)	0.06
Largo de la poza (km)	0.37
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0.026

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	✓
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.194.250 E= 259.764	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arena Arcillo Gravosa

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 aguas abajo e irreguiares aguas arriba
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se presentan depresiones
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se presentan filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	("x")
Vertederos frontales	X
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	X
Vertederos controlados por compuertas	

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:	
Vertedero de pared delgada	X
Vertedero de pared gruesa	
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	Vertedero de canal en tierra
Material constructivo	Tierra
Estado de conservación y operatividad	Regular-funcionando
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Carga Máxima 0,43 m3/s; Ancho: 8.0 mts; Alto: 2,5 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

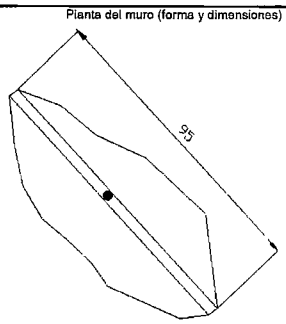
Tipo de estructura	Casa de bombas con 5 tuberías de 20 cms de diámetro, que conducen el agua a piscinas contenedoras en altura, las que conducen el agua directamente a los predios por gravedad
Mediciones estructurales	Tuberías: 20 cms de diámetro
Funcionamiento actual	Operativo

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	Canal en tierra, terrenos agrícolas, pendiente media 1,2%, ancho medio cauce 8,0 mts
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	4,86
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	3,06
Densidad de población en las cercanías del tranque	Alta
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	2,76
Área de riego servida por el tranque analizado	15 ha

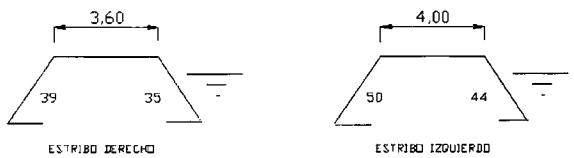
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)

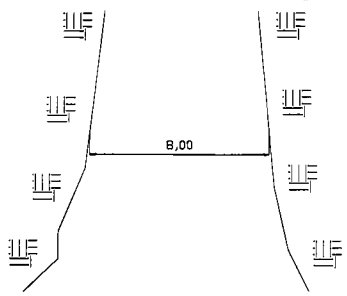


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

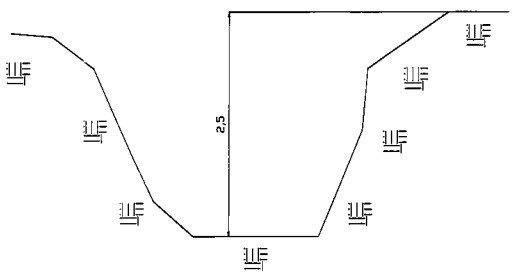
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



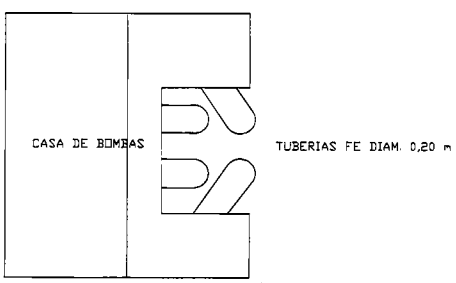
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



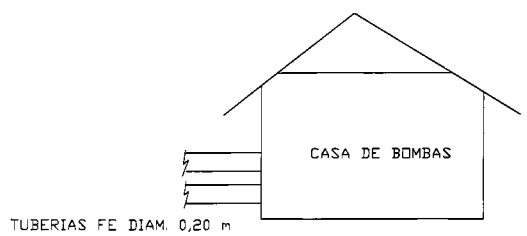
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El tranque es de paso, por esta razón permite regar tantas hectáreas, ya que es llenado y vaciado constantemente

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	San Guillermo (Santa Marta)
Propietario	Soc. Agricola, Ganadera y Forestal Las Cruces Ltda
RUT Propietario	78.791.770-4
Año de construcción	S/I (Nuevos dueños - Se desconoce)
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Río Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Tinguiririca 2°
Fuente del recurso	Estero Chequen

N° de ficha	20
Fecha (dd/mm/año)	05-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACION DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.194.292	E= 259.728
Coordenadas UTM Centro	N= 6.194.250	E= 259.764
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.194.237	E= 259.782
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 147; C = 143;	EI = 145

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)		95	
Ancho del coronamiento (m)	ED =3,6	C = 2,2	EI = 4,0
Desarrollo del talud aguas abajo (m)		8,0	
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)		0,7	
Paramentos verticales		NO	
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 39°	C = 37°	EI = 50°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 35°	C = 43°	EI = 44°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométrcas en caso de no poder medir directamente) (m)	5,4
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	4,7
Área estimada o calculada de la poza (m2)	22.200
Ancho máximo de la poza (km)	0,06
Largo de la poza (km)	0,37
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,026

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.194.250 E= 259.764	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arena Arcillo Gravosa

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 aguas abajo e irregulares aguas arriba
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se presentan depresiones
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se presentan filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
Vertederos libres, sin control	X
Vertederos controlados por compuertes	

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:	
Vertedero de pared delgada	X
Vertedero de pared gruesa	
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	Vertedero de canal en tierra
Material constructivo	Tierra
Estado de conservación y operatividad	Regular-funcionando
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Carga Máxima 0,43 m3/s, Ancho: 8,0 mts, Alto: 2,5 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

Tipo de estructura	Casa de bombas con 5 tuberías de 20 cms de diámetro, que conducen el agua a piscinas contenedoras en altura, las que conducen el agua directamente a los predios por gravedad
Mediciones estructurales	Tuberías: 20 cms de diámetro
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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, terrenos agricolas, pendiente media 1,2%, ancho medio cauce 8,0 mts
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	4,86
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	3,06
Densidad de población en las cercanías del tranque	Alta
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	2,76
Área de riego servida por el tranque analizado	15 ha

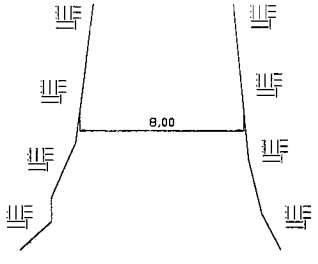
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

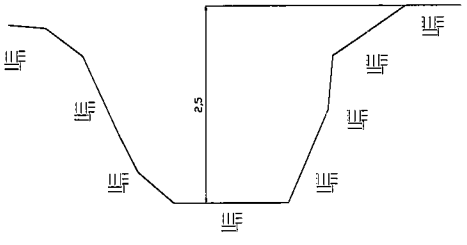
Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes

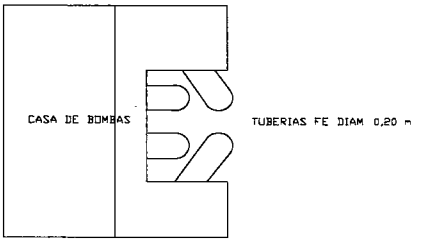
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



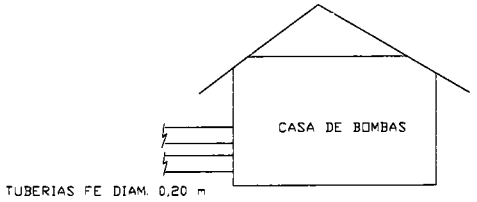
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El tranque es de paso, por esta razón permite regar tantas hectáreas, ya que es llenado y vaciado constantemente

EMBALSE POROTAL

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

21. EMBALSE POROTAL
21.1 Ubicación
21.2 Características Generales
21.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
21.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
21.5 Determinación de Filtraciones
21.6 Verificación del Oleaje
21.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
21.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

21. EMBALSE POROTAL DE ALCONES

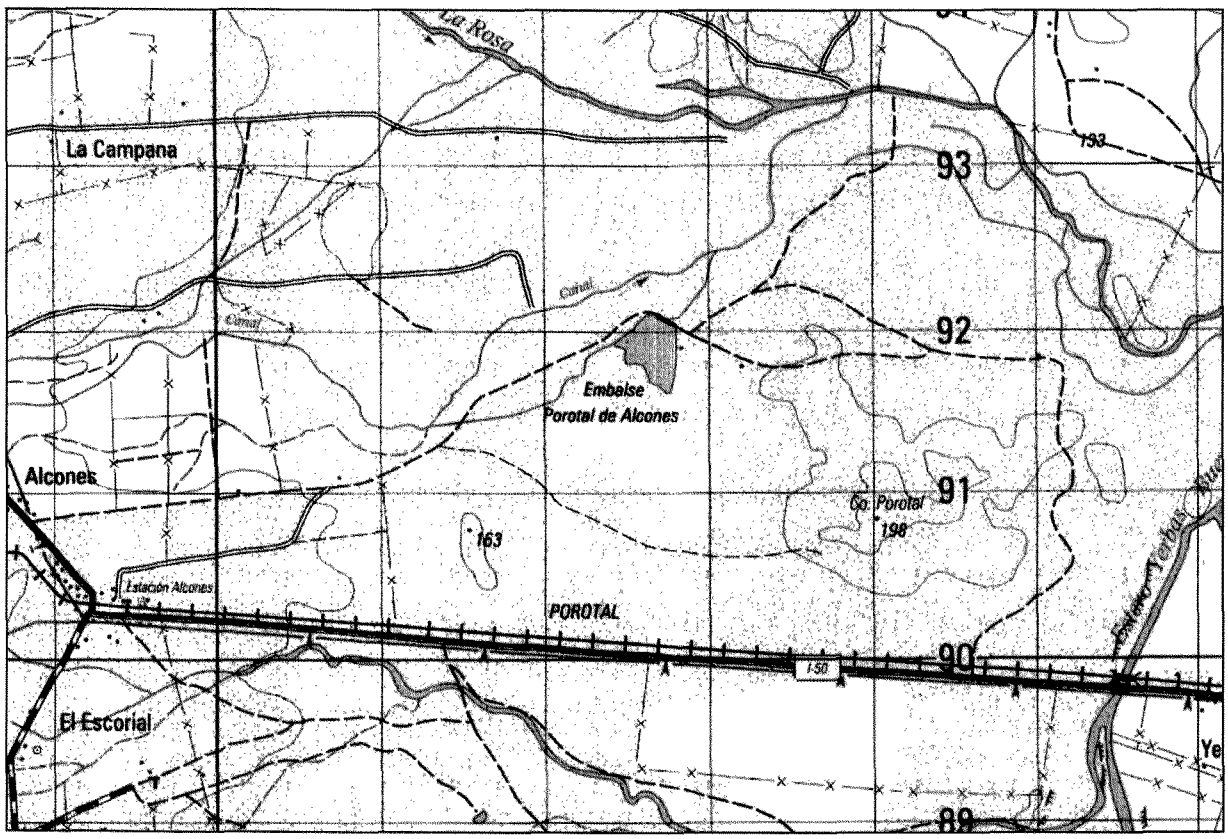
21.1 Ubicación

El embalse Porotal de Alcones se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Colchagua, en las coordenadas UTM 6.192.137 Norte y 252.772 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 140 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Tinguiririca, subcuenca del estero Las Cadenas y la fuente corresponde a la quebrada Porotal.

Este sitio de embalse se localiza al este de la comuna, a 4 km de la comuna de Pichilemu, desde Alcones 500 m al sur por ruta I-50 entrada a camino particular.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 21.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE POROTAL DE ALCONES



Fuente: Carta IGM

21.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Agrícola Alcones Ltda. El uso y destino del embalse es de riego y control de crecidas.

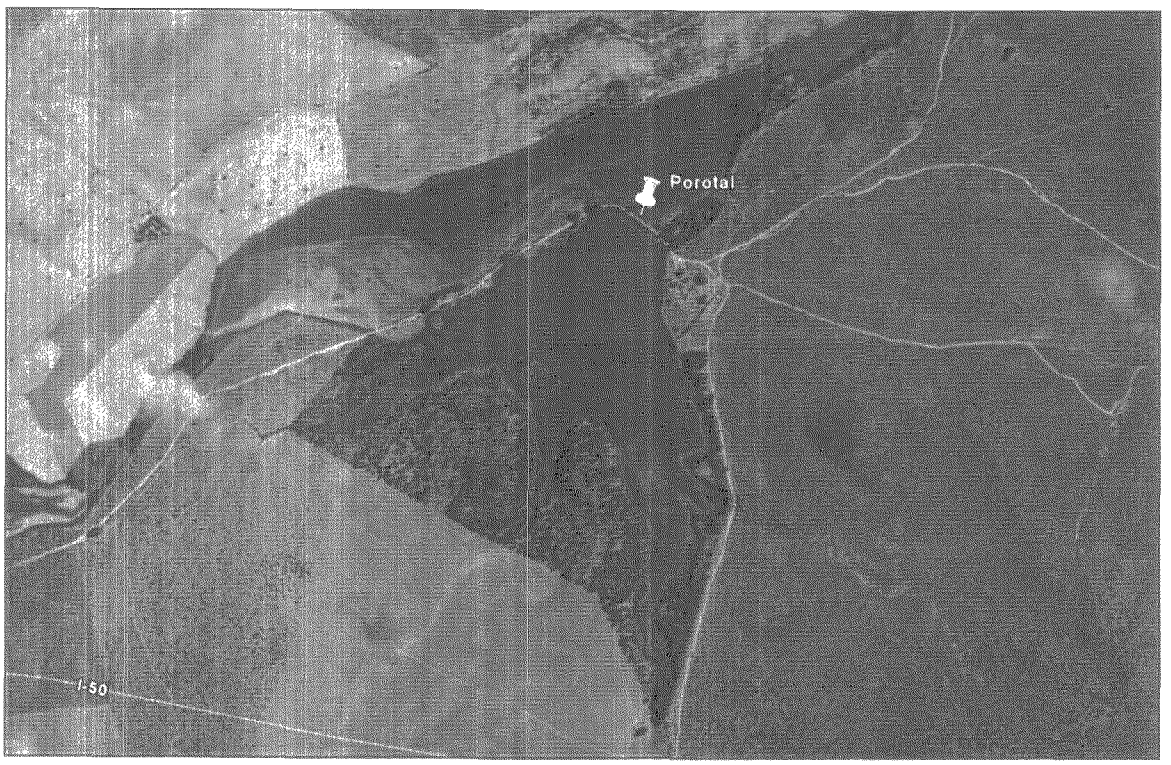
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 0,179 hm^3. La altura máxima del muro es de 2,1 m, con una longitud de coronamiento de 238 m y ancho promedio del coronamiento de 4,9 m y borde libre de 0,4 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,23:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,60:1.

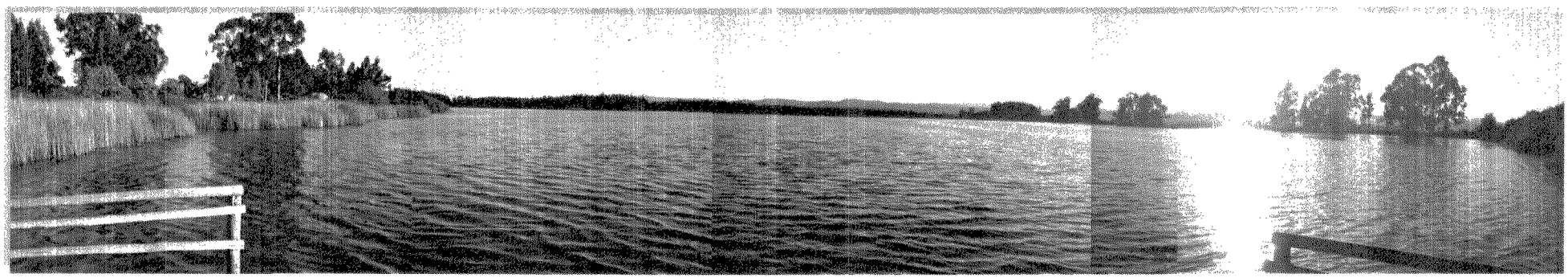
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a uno vertedero de caída libre, que se le agrego unas compuertas para enaltarlo con un ancho medio de 6,7 m y 2 m de alto. Tiene controladores por compuertas. Buen estado de mantención y operación.

La ***obra de entrega*** corresponde a dos entregas. Obra 1: Válvula de volante que envía agua por medio de una tubería de 25 cm de diámetro a canal en tierra, se ubica cercana al estribo derecho Obra 2: 2 válvulas pequeñas con salida a tuberías de 20 cm de diámetro ubicadas en el estribo izquierdo. La salida es a canal en tierra que conduce las aguas directamente hasta los predios. La obra se encuentra en buen estado de mantención y operación.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 21.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE POROTAL DE ALCONES





Vista panorámica Embalse Porotal de Alcones

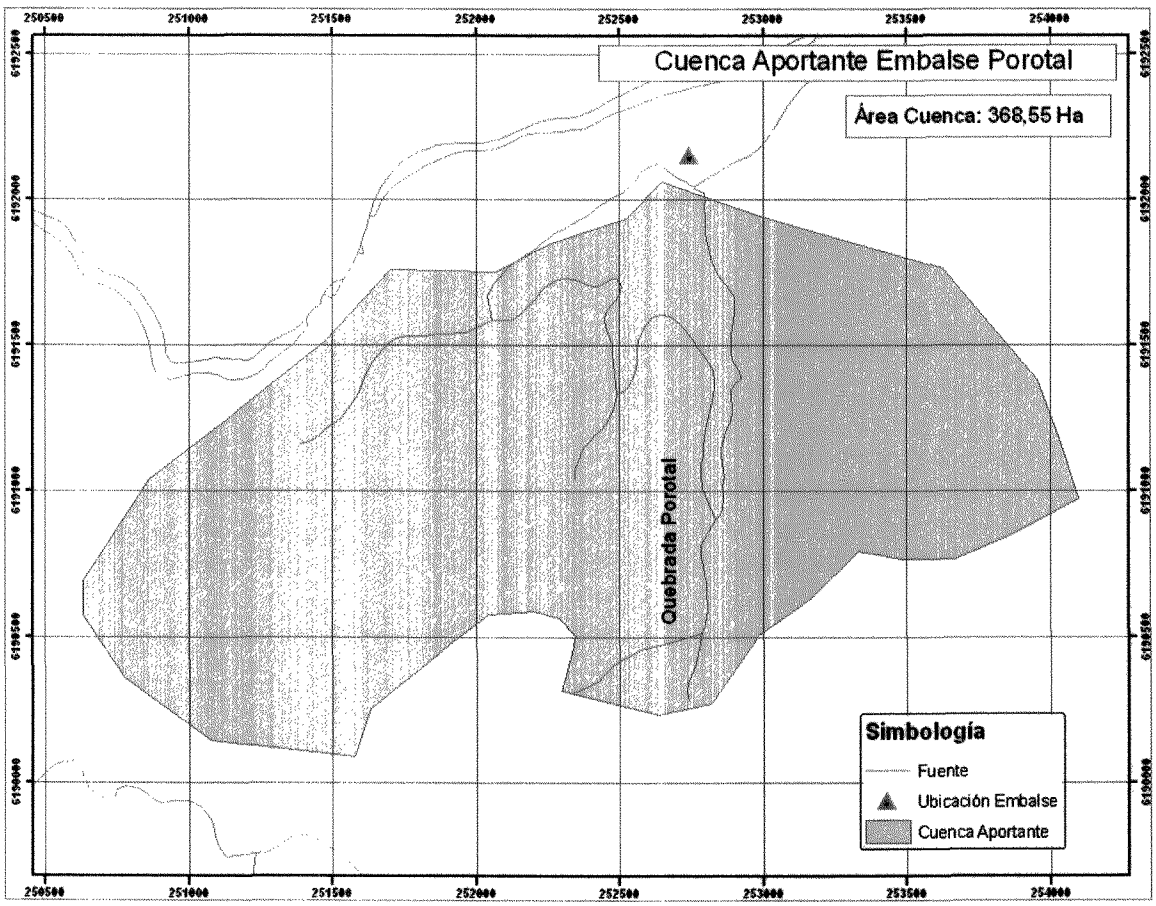
21.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Porotal de Alcones tiene como fuente a la quebrada Porotal, la cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 3,69 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 21.3-1
CUENCA EMBALSE POROTAL



CUADRO 21.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Porotal
SUPERFICIE (ha)	Total	368,6
	Pluvial	368,6
PERÍMETRO (m)	Total	12.240,0
	Pluvial	12.240,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	201,3
	Mínima	148,6
	Diferencia	52,7
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	2,1
	Cauce	6,6
LONGITUD CAUCE (km)	Total	2,21
	Desde centro de gravedad	1,11
CENTROIDE CUENCA	UTM E	252.306
	UTM N	6.191.068
	Altura (msnm)	156,3
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	252.991
	UTM N	6.191.179
	Altura (msnm)	155
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Porotal	0,52	4,97	0,04	0,38	0,38

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Porotal	Rapel	0,082	90	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Porotal	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	5,2	1,6	6,6
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	7,0	2,3	11,2
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	8,0	3,9	14,5
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	8,7	4,6	17,0
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	9,2	5,2	18,9
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	9,5	5,6	20,4
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	10,6	7,1	24,8
	T=100	1	Cachapoal	1,5	11,8	9,2	31,6

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Porotal	0,46	1,56	2,10	2,41	2,71	2,92	3,62	4,42

➢ Extrapolación de caudales

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Porotal	9,93	11,73	13,09

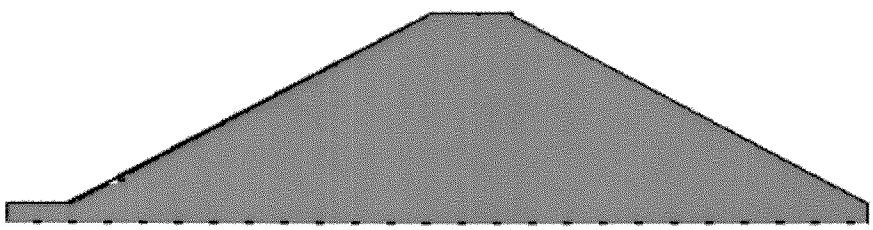
21.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla arenosa con algunas gravas, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	2,1 m
Ancho coronamiento	4,9 m
Borde libre	0.40 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,23 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1, 60 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 21.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 22°	2,2	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 21.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

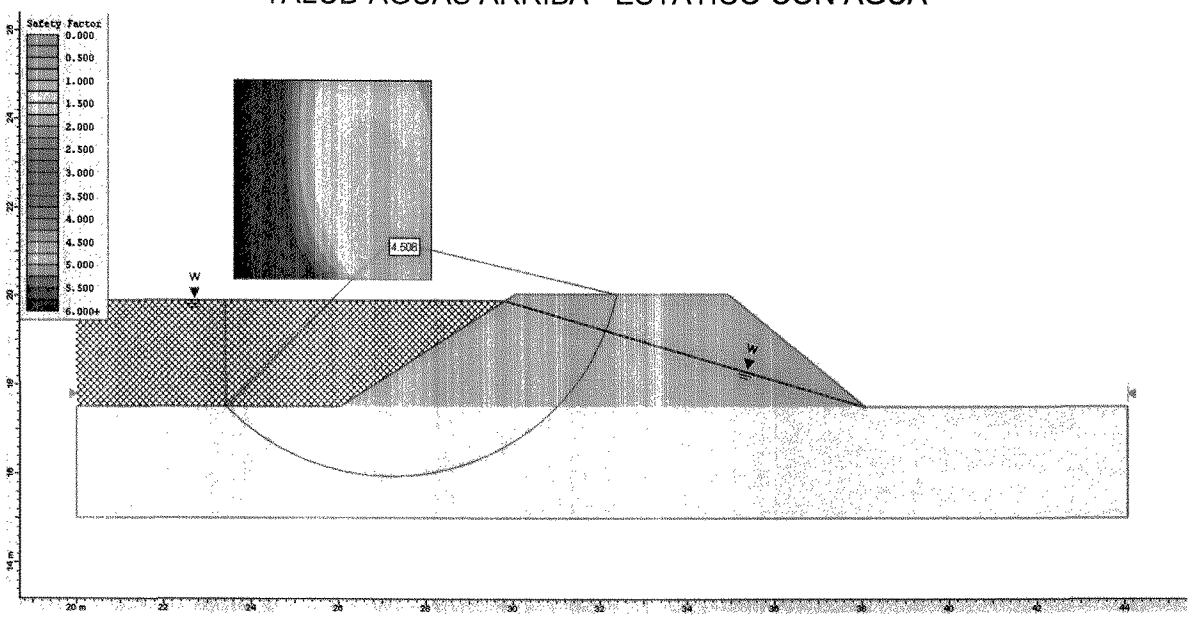


FIGURA 21.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

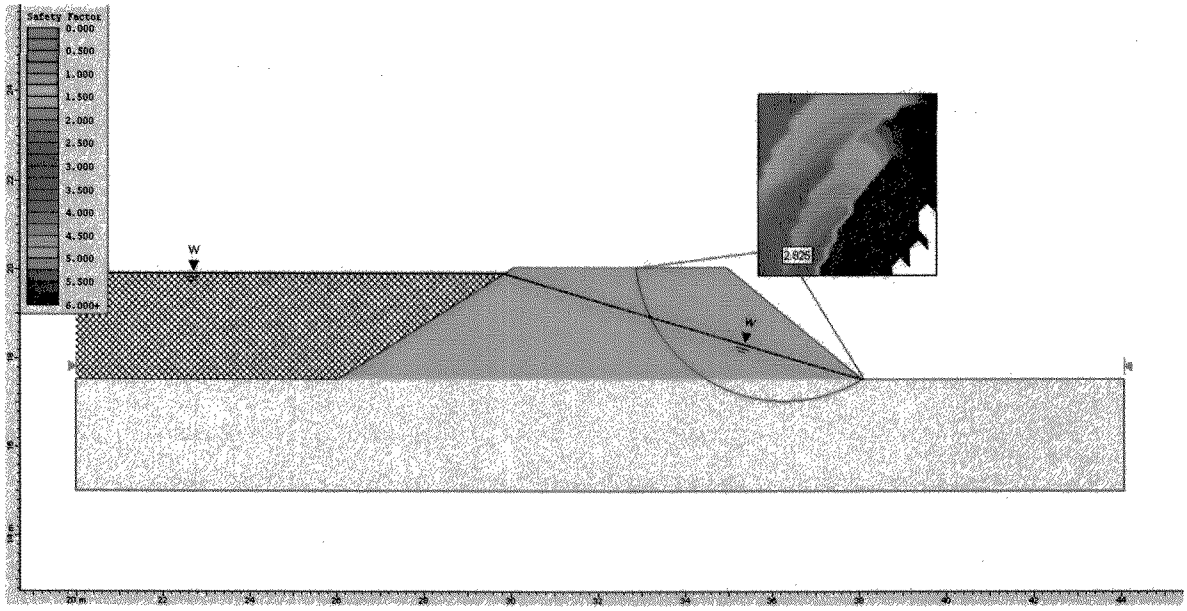


FIGURA 21.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

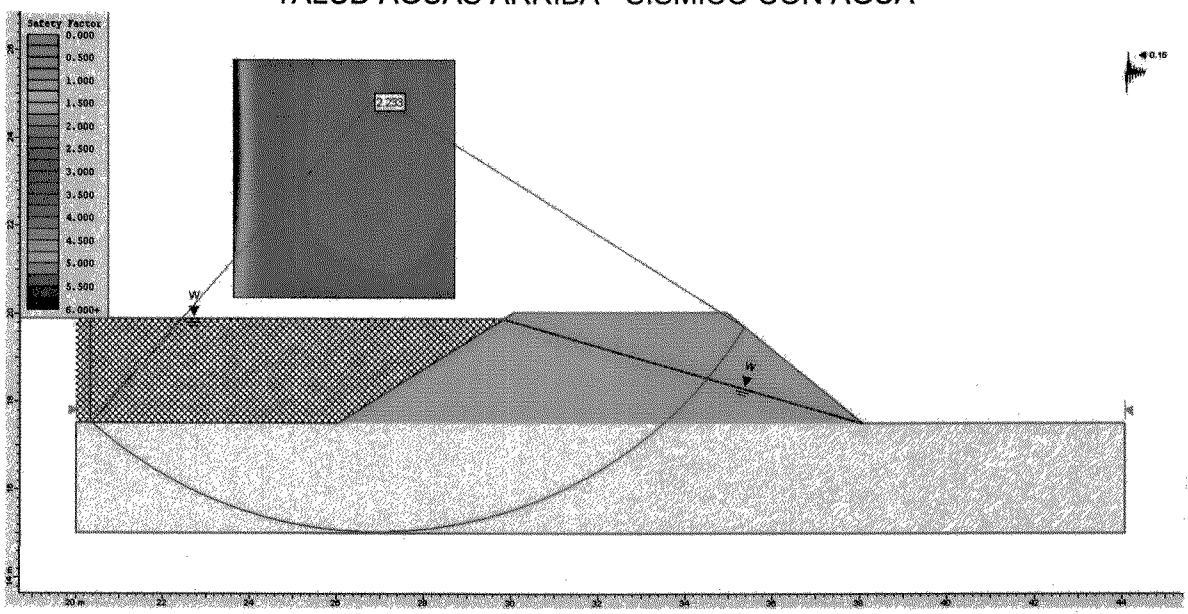


FIGURA 21.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

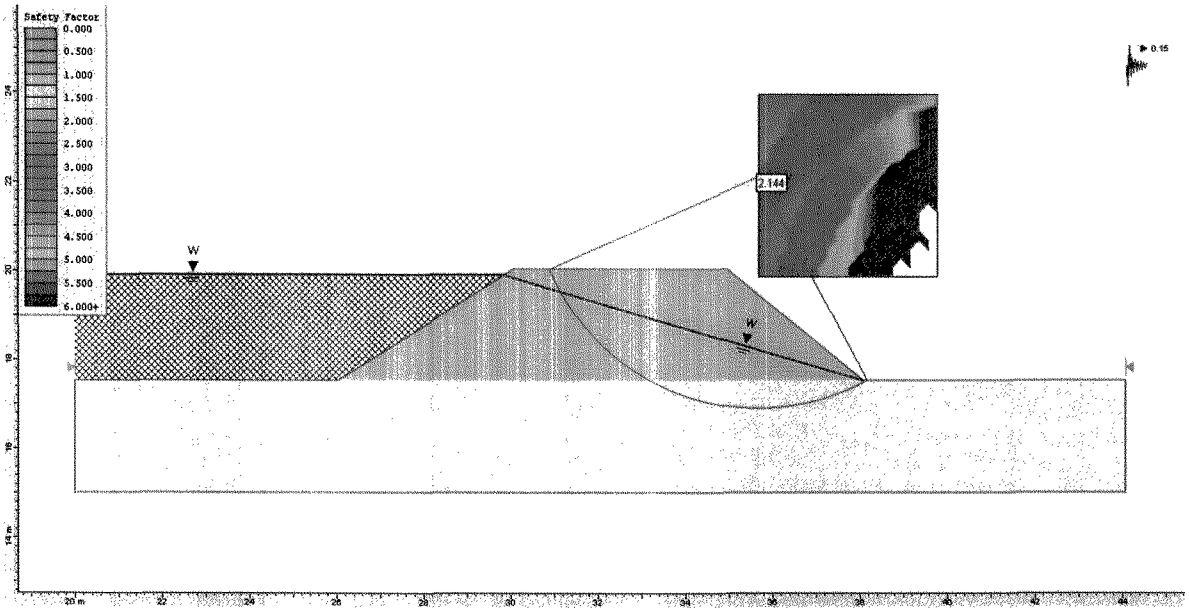


FIGURA 21.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

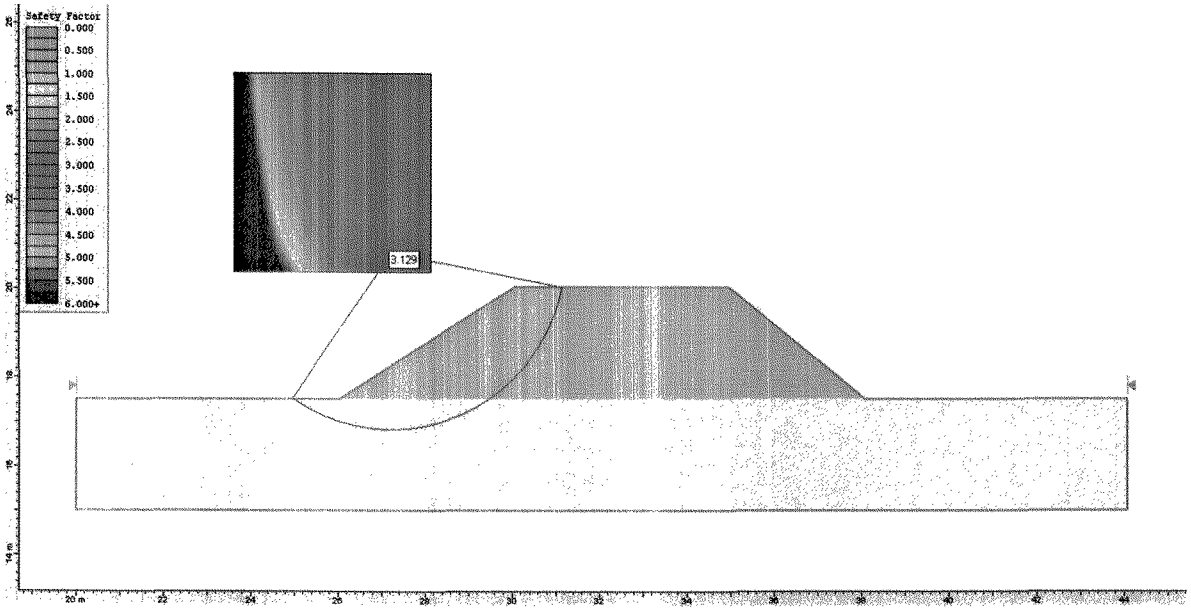


FIGURA 21.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

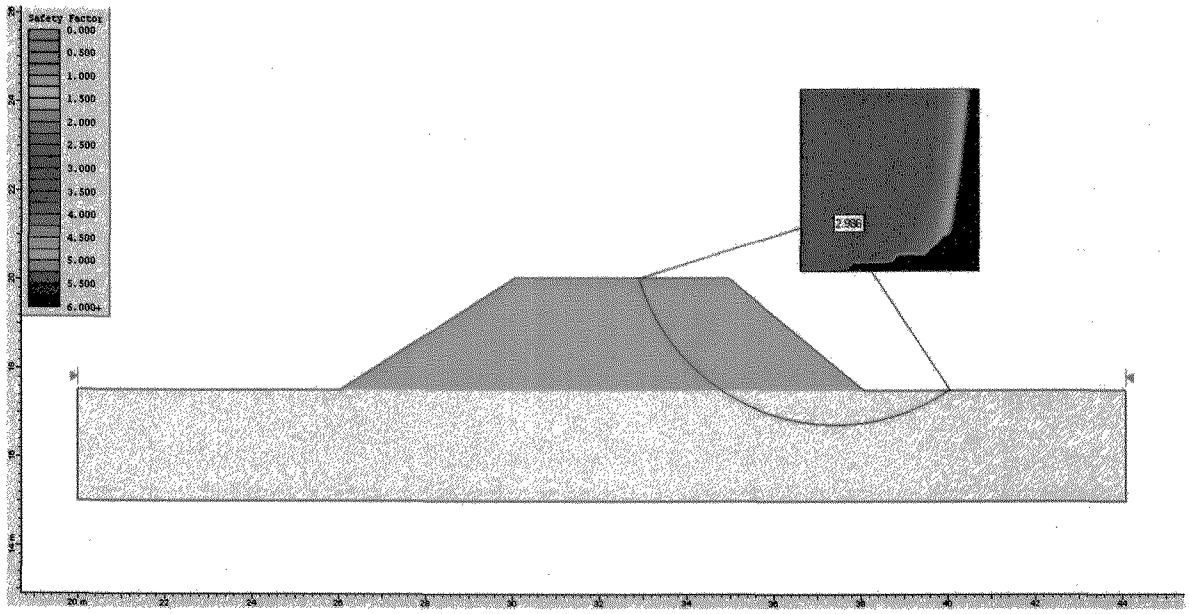


FIGURA 21.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

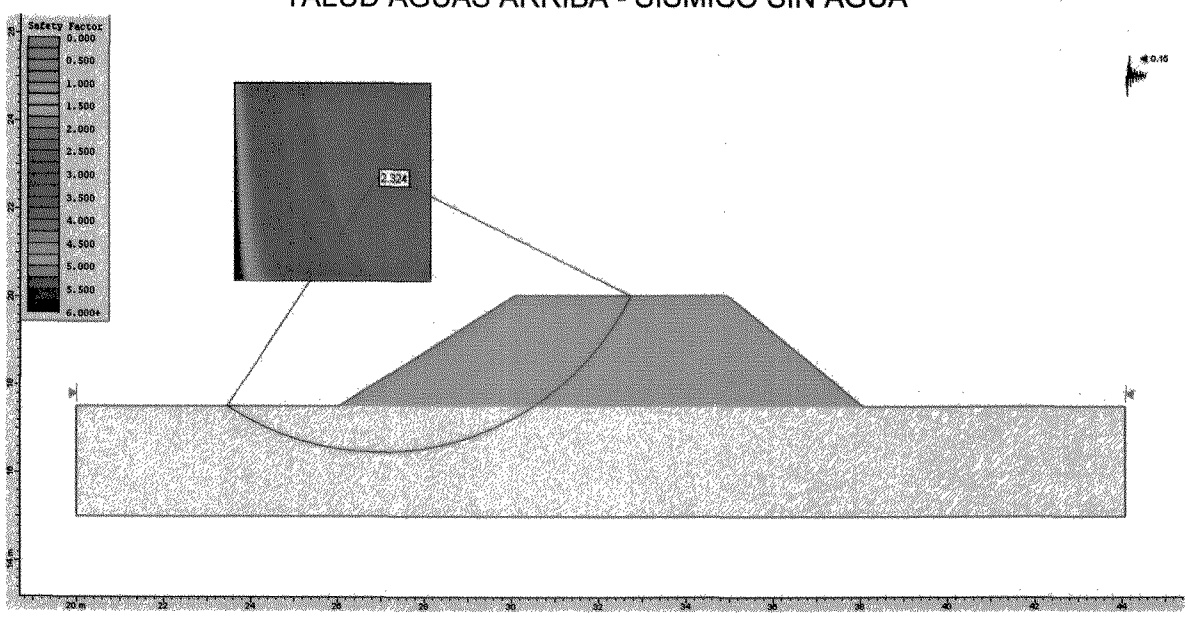
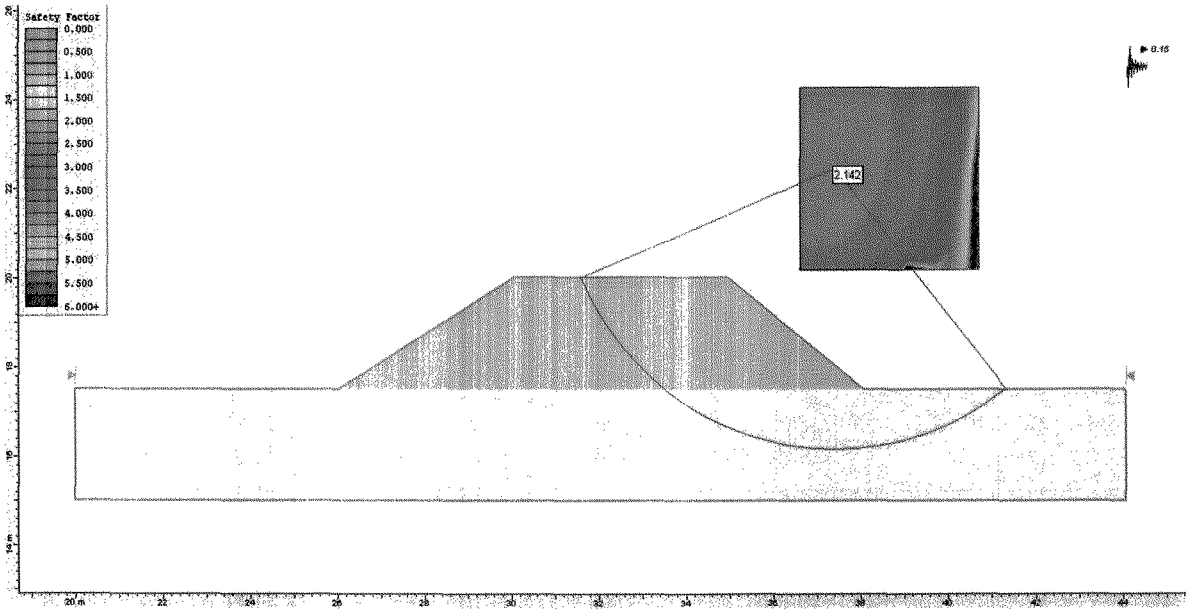


FIGURA 21.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 21.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Porotal	4,508	2,825	2,233	2,144

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Porotal	3,129	2,986	2,324	2,142

21.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Porotal de Alcones***, se tiene:

Lh (m) =	10,9	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	2,4	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	1,720	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
POROTAL	10,9	0	3,64	2,1	0,4	1,720	2,40	4,1	No

21.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Porotal de Alcones.

POROTAL DE ALCONES
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	425	0,2641	0,1458
2	36	0,8090	0,6545	836	0,5195	0,3400
3	30	0,8660	0,7500	749	0,4654	0,3491
4	24	0,9135	0,8346	572	0,3554	0,2966
5	18	0,9511	0,9045	558	0,3467	0,3136
6	12	0,9781	0,9568	569	0,3536	0,3383
7	6	0,9945	0,9891	594	0,3691	0,3651
8	0	1,0000	1,0000	693	0,4306	0,4306
9	6	0,9945	0,9891	543	0,3374	0,3337
10	12	0,9781	0,9568	552	0,3430	0,3282
11	18	0,9511	0,9045	688	0,4275	0,3867
12	24	0,9135	0,8346	806	0,5008	0,4180
13	30	0,8660	0,7500	735	0,4567	0,3425
14	36	0,8090	0,6545	230	0,1429	0,0935
15	42	0,7431	0,5523	178	0,1106	0,0611
	Suma	**13,5109**			Suma	**4,5428**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,336 millas
F = 541,11 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,61	0,7950
Molitor	2,44	0,7424
Creager	1,28	0,3905
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **0,40 m**, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

21.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

21.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

21.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**4,9**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,36	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**1,76**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	9,93	0,95	0,00	0
0,002	11,73	0,95	0,00	0
0,0010	13,09	0,95	0,00	0

21.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

21.7.4 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

21.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

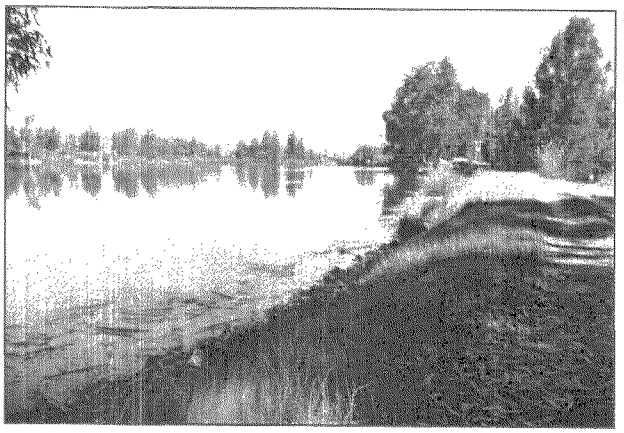
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	1,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía.

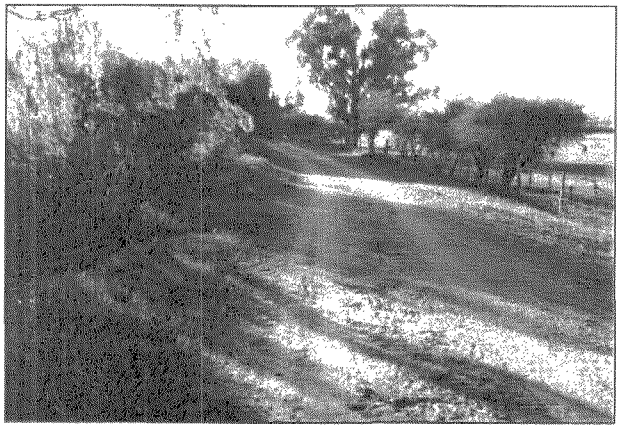
21.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Porotal de Alcones.

VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO



VISTA MURO HACIA ESTRIBO IZQUIERDO



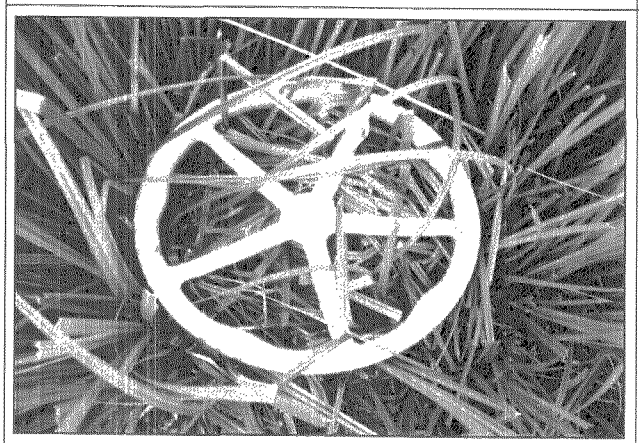
EVACUADOR DE CRECIDAS



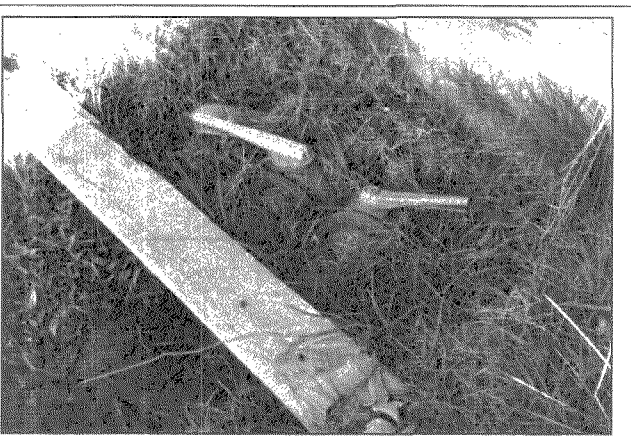
EVACUADOR DE CRECIDAS

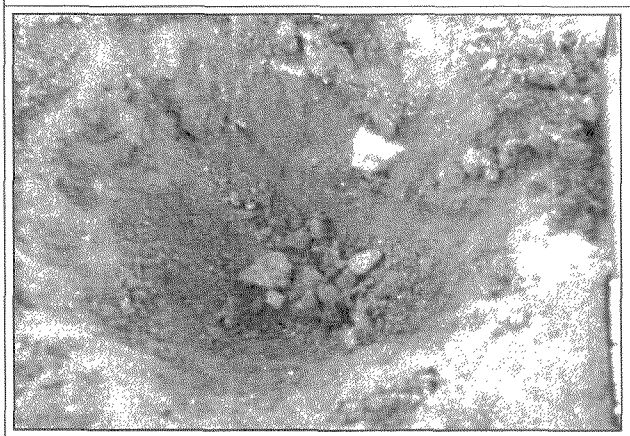
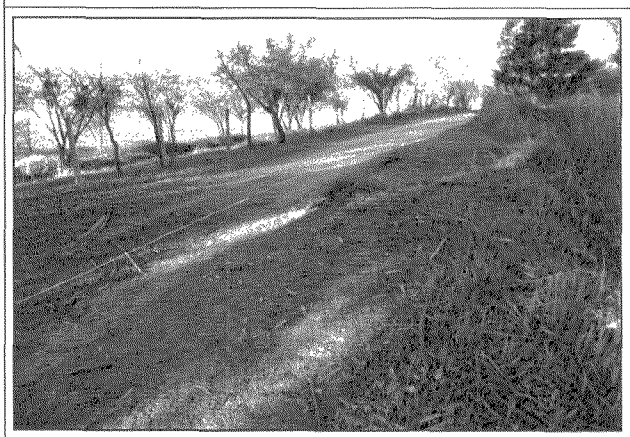
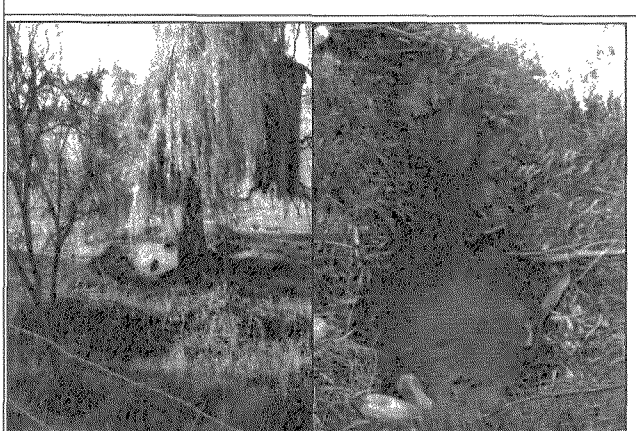
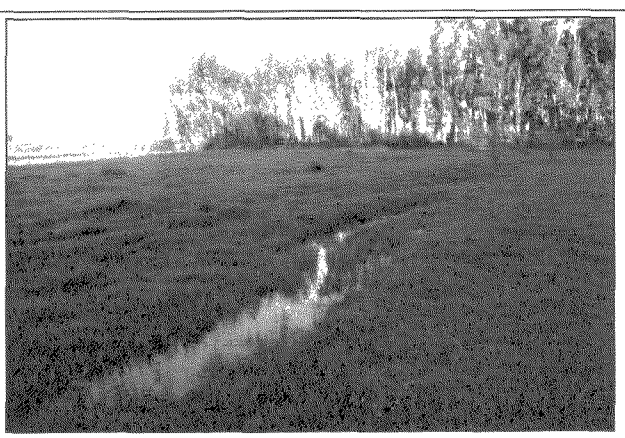


OBRA DE ENTREGA 1



OBRA DE ENTREGA 2



CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	CANAL DE SALIDA DEL EVACUADOR DE CRECIDAS
	
DEPRESIÓN VISIBLE EN EL METRO 90	SECTOR SATURADO EN EL METRO 60
	
FILTRACIÓN EN EL METRO 10 Y 150	FILTRACIÓN EN EL METRO 70 AL 100
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Porotal de Alcones
Propietario	Agrícola Alcones Ltda.
RUT Propietario	84.442.100-1
Año de construcción	S/I
Reparación (SI) (NO)	S/I
Año de reparación	S/I
Cuenca / Código DGA	Rio Tinguiririca
Subcuenca / Código DGA	Estero Las Cadenas
Fuente del recurso	Quebrada Porotal

Nº de ficha	21
Fecha (dd/mm/año)	29-05-2009

Cumplimiento Art. 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.192.060	E= 252.845
Coordenadas UTM Centro	N= 6.192.137	E= 252.772
Coordenadas UTM Estribo izquierdo	N= 6.192.152	E= 252.623
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 142; C = 140;	EI = 140

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable / saneamiento	
Relaves	
Sedimentación	
Control de crecidas	X
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

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	236		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 5,30	C = 3,90	EI = 5,40
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	4,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	0,4		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Angulo talud de aguas abajo	ED = 38°	C = 38°	EI = 23°
Angulo talud de aguas arriba	ED = 41°	C = 37°	EI = 38°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	2,10
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	1,70
Área estimada o calculada de la poza (m2)	420.000
Ancho máximo de la poza (km)	0,70
Largo de la poza (km)	0,60
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,179

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.192.137 E= 252.772	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arcilla Arenosa con algunas graves

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN

	Describir
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Alto
Uniformidad de los taludes	El talud aguas arriba no se pudo apreciar bien, dado que el embalse esta en su máxima capacidad. El talud aguas abajo es medianamente regular
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Se presentan depresión visible en el metro 90 a partir del estribo derecho (ver álbum fotográfico)
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	Se presenta un sector saturado en el metro 60 (ver álbum fotográfico)
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Se presentan filtraciones en el estribo derecho en los pies del muro desde el metro 10, luego en el metro 70 al 100 y en el metro 150 con una altura de agua desde 1 a 15 cms (ver álbum fotográfico)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
Vertederos libres, sin control	
Vertederos controlados por compuertas	X

Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:	
Vertedero de pared delgada	X
Vertedero de pared gruesa	
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	Vertedero de caída libre, que se le agrego unas compuertas para enaltarlo
Material constructivo	Estructura de hormigón y las compuertas son de fierro (ver álbum fotográfico)
Estado de conservación y operatividad	En buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Carga Máxima 4,5 m3/s; Ancho: 8,7; Largo: 0,2 mts; Alto: 2,0 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

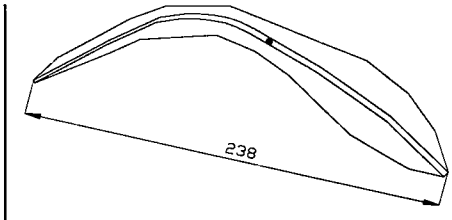
Tipo de estructura	Existen 2 obras de entrega. Obra 1: Válvula de volante que envía agua por medio de una tubería de 25 cms de diámetro a canal en tierra, se ubica cercana al estribo derecho Obra 2: 2 válvulas pequeñas con salida a tuberías de 20 cms de diámetro ubicadas en el estribo izquierdo. La salida es a canal en tierra que conduce las aguas directamente hasta los predios
Mediciones estructurales	Obra 1: Válvula de 25 cms de diámetro, entrega a canal grande Obra 2: 2 válvulas de 20 cms de diámetro entrega a canal pequeño
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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 de tierra, terrenos agrícolas, pendiente media 0,4%, ancho medio cauce 3,0 mts
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	8,29 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	6,53 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	8,29 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	50 ha

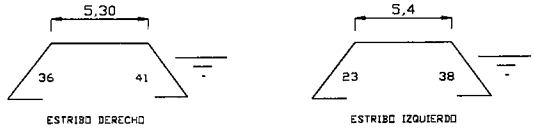
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

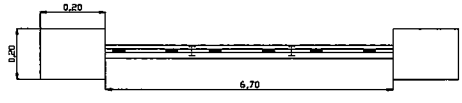


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

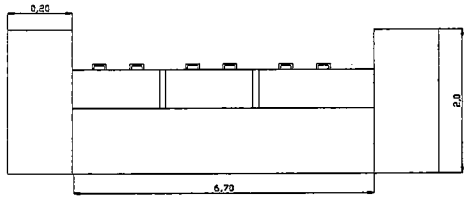
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



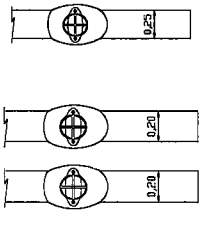
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



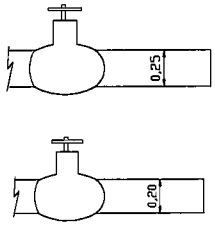
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El Tranque se encuentra en su capacidad máxima, con el vertedero vertiendo, se observa que a lo largo de todo el coronamiento existe una inclinación desde el talud aguas arriba, sobretodo en el metro 180 al 210 desde el estribo derecho el muro desciende

Existe un canal de contorno desde el estribo derecho al estribo izquierdo en el talud aguas abajo por el muro en el pie

Este tranque es considerado de paso ya que se llena con las aguas del Embalse Alcones, de todas formas sirve para riego

EMBALSE YERBAS BUENAS (SANTA JULIA)

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

22. EMBALSE YERBAS BUENAS (SANTA JULIA)
22.1 Ubicación
22.2 Características Generales
22.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
22.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
22.5 Determinación de Filtraciones
22.6 Verificación del Oleaje
22.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
22.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

22. EMBALSE YERBAS BUENAS (SANTA JULIA)

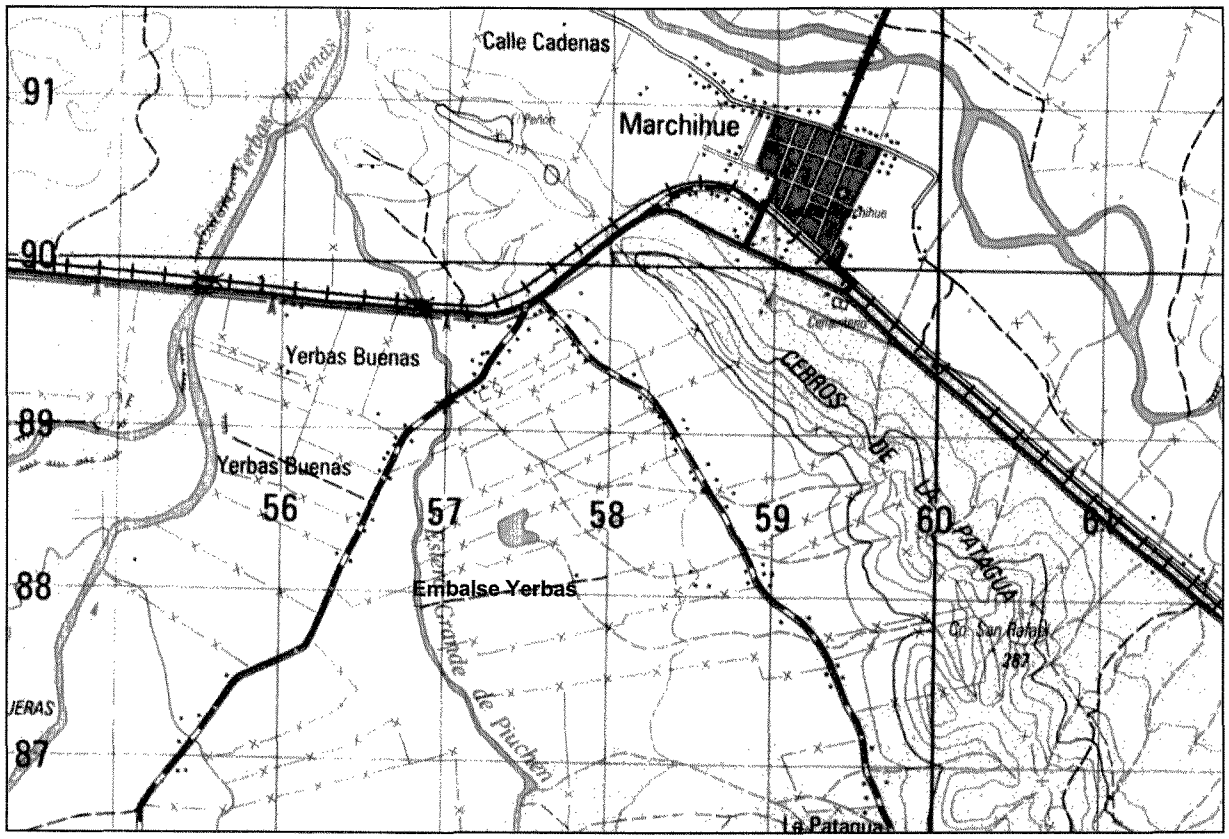
22.1 Ubicación

El embalse Yerbas Buenas (Santa Julia) se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.188.470 Norte y 254.996 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 140 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Tinguiririca, subcuenca del estero Las Cadenas y la fuente corresponde a la quebrada Las Pataguas.

Este sitio de embalse se localiza a 2,8 km de la localidad de Yerbas Buenas y a 1 km del estero del mismo nombre Desde Marchigüe por ruta I-50 hacia Alcones, aproximadamente 7,6 km entrada camino particular a embalse

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 22.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE YERBAS BUENAS (SANTA JULIA)



Fuente: Carta IGM



Vista panorámica Embalse Yerbas Buenas (Santa Julia)

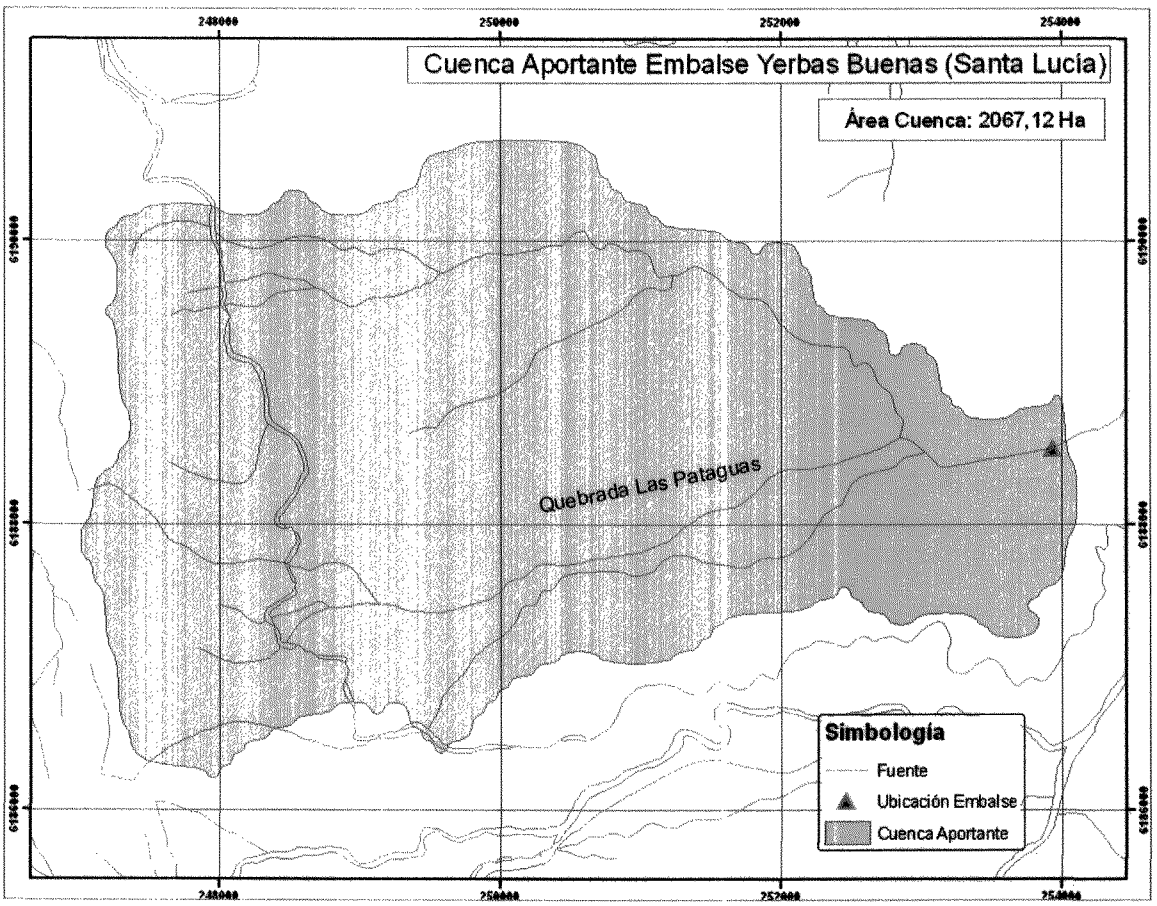
22.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Yerbas Buernas (Santa Julia) tiene como fuente a la quebrada Las Pataguas, la cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 20,67 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 22.3-1
CUENCA EMBALSE YERBAS BUENAS



CUADRO 22.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Santa Julia (Yerbas Buenas)
SUPERFICIE (ha)	Total	2.067,1
	Pluvial	2.067,1
PERÍMETRO (m)	Total	27.180,0
	Pluvial	27.180,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	343,0
	Mínima	145,4
	Diferencia	197,6
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	3,8
	Cauce	1,0
LONGITUD CAUCE (km)	Total	8,62
	Desde centro de gravedad	4,31
CENTROIDE CUENCA	UTM E	250.559
	UTM N	6.188.920
	Altura (msnm)	162,2
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	251.935
	UTM N	6.189.596
	Altura (msnm)	154
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ **Tiempo de Concentración**

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Yerbas Buenas	1,49	9,50	0,22	1,50	1,50

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HRS EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Yerbas buenas	Rapel	0,192	122,5	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno

P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años

Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Yerbas Buenas	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	16,6	10,6	29,9
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	22,2	15,1	50,9
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	25,3	25,7	65,9
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	27,5	30,7	77,0
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	29,2	34,8	86,0
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	30,2	37,7	92,5
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	33,8	47,2	112,6
	T=100	1	Cachapoal	1,5	37,4	61,5	143,3

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

Q_{10} Caudal medio diario máximo con período de retorno de 10 años (m^3/s)

$P_{24}^{T=10}$ Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años (mm)

Ap Área Pluvial de la cuenca (km^2)

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Yerbas Buenas	6,35	15,47	20,90	23,92	26,96	29,05	35,95	43,90

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Yerbas Buenas	66,33	78,37	87,48

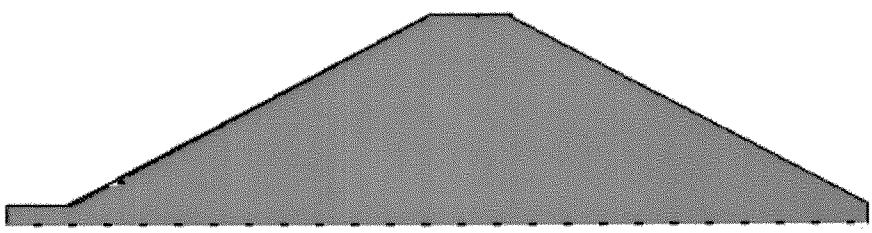
22.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arena arcillosa con gravas, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

MURO 1	
Altura:	7,8 m
Ancho coronamiento	5,0 m
Borde libre	1,5 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,43 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,33 : 1
MURO 2	
Altura:	2,1 m
Ancho coronamiento	3,8 m
Borde libre	1,0 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,73 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 2,14 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 22.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 22°	2,0	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 22.4-1
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

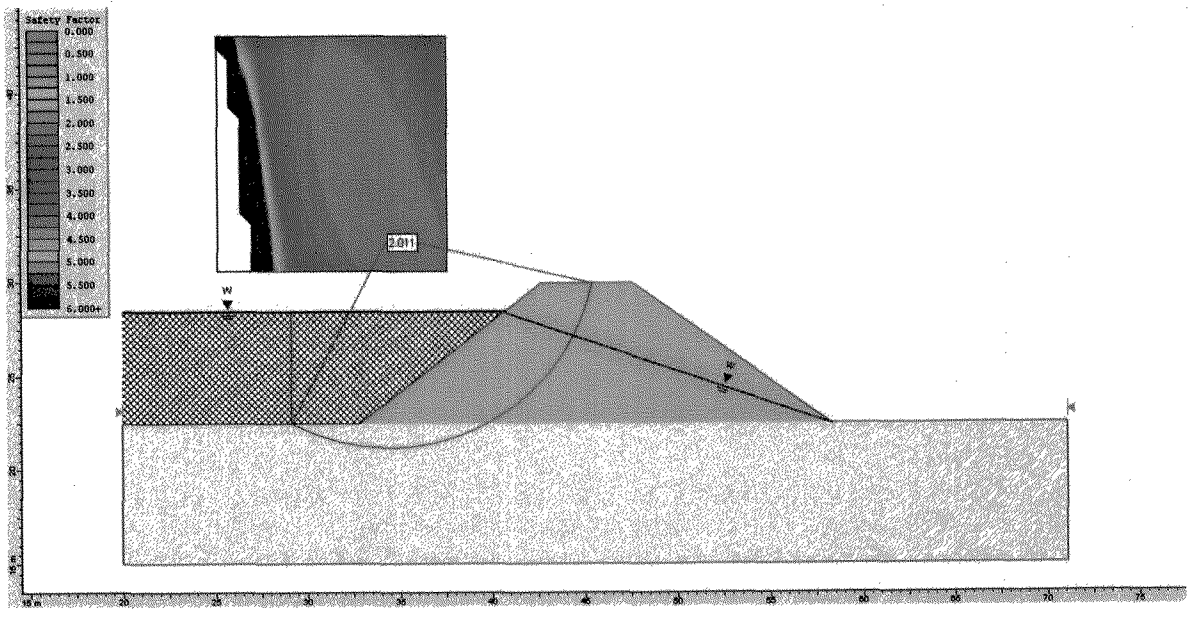


FIGURA 22.4-2
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

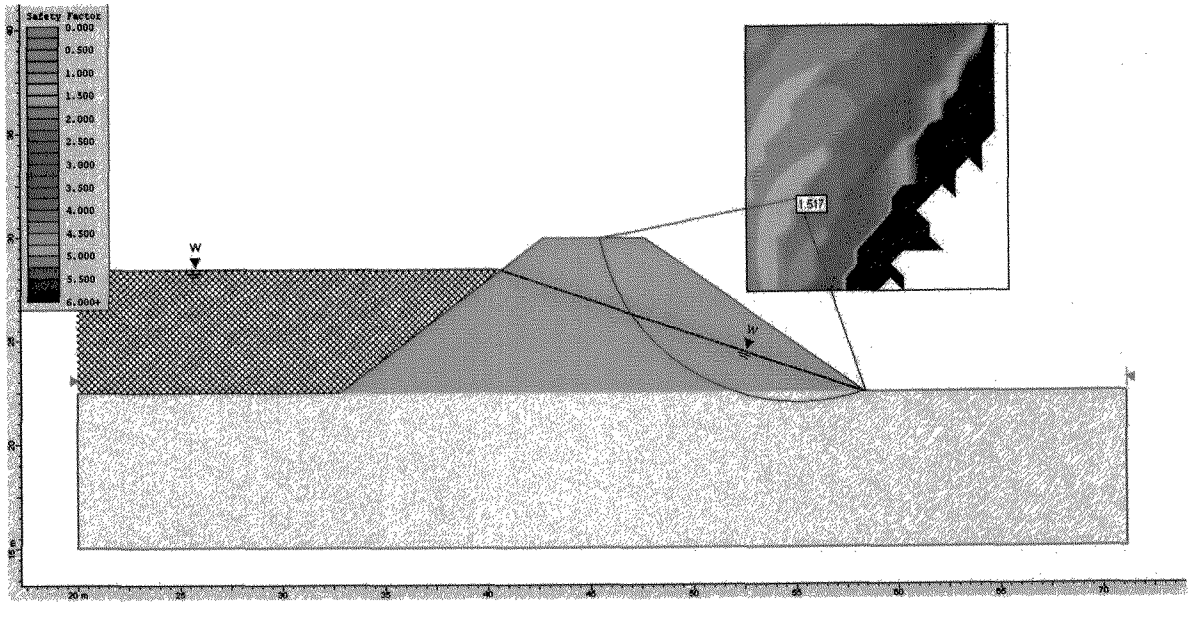


FIGURA 22.4-3
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

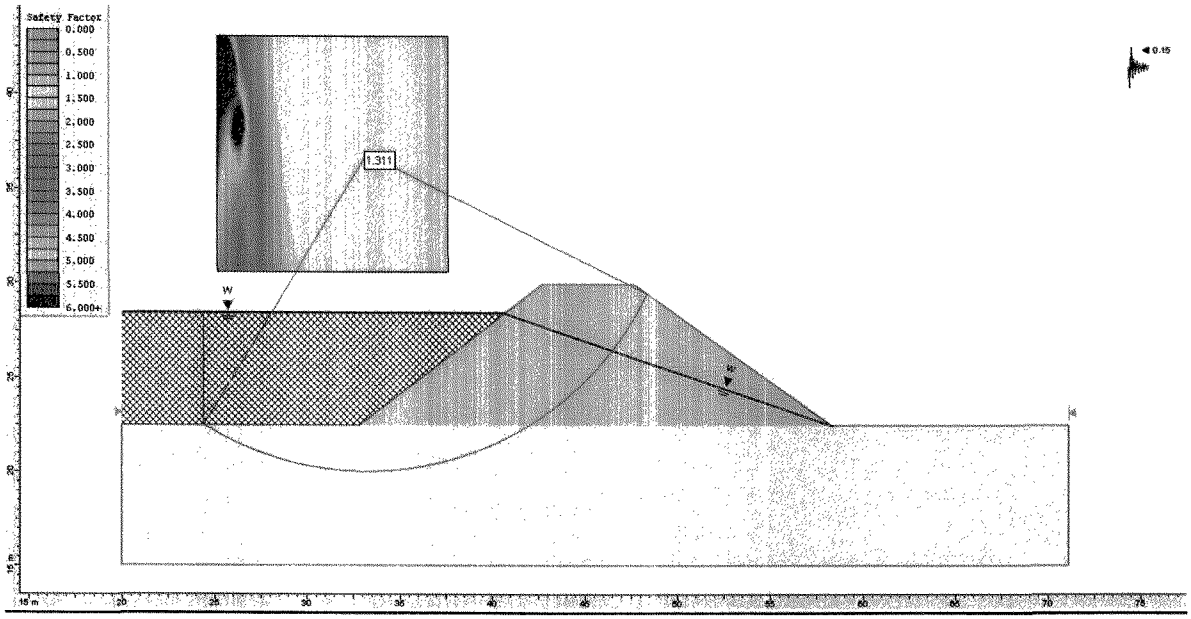


FIGURA 22.4-4
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

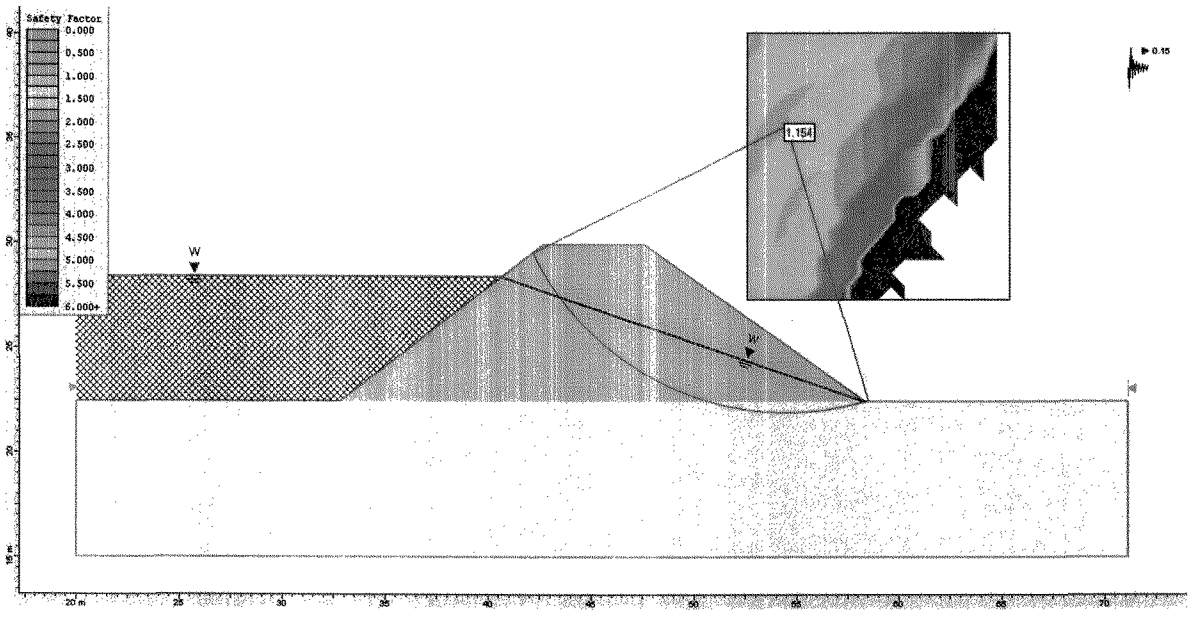


FIGURA 22.4-5
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

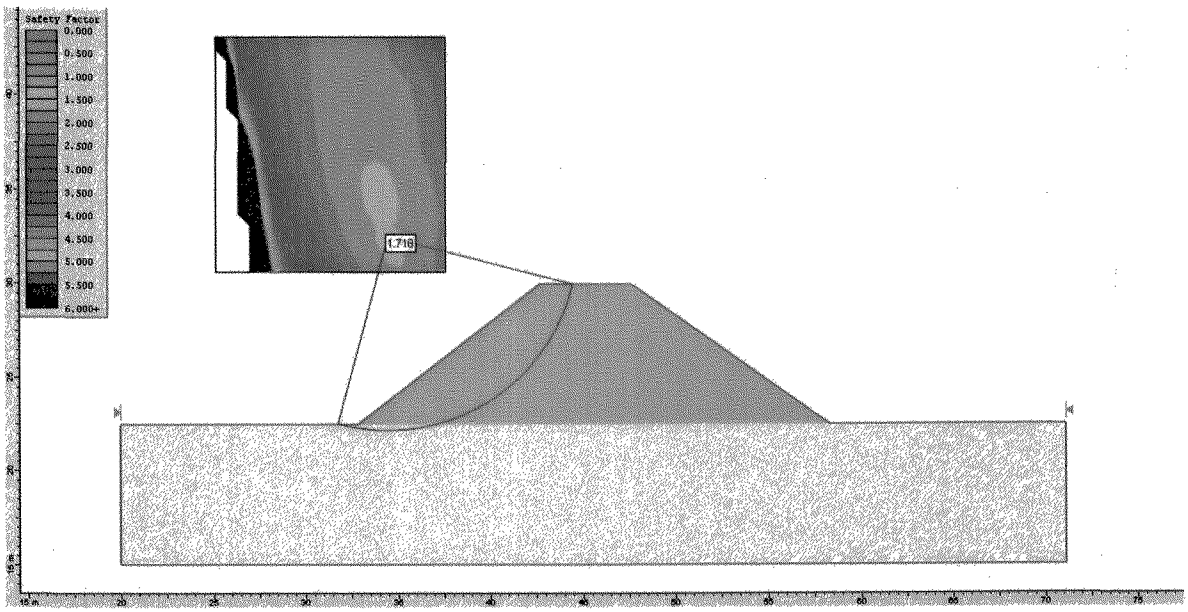


FIGURA 22.4-6
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

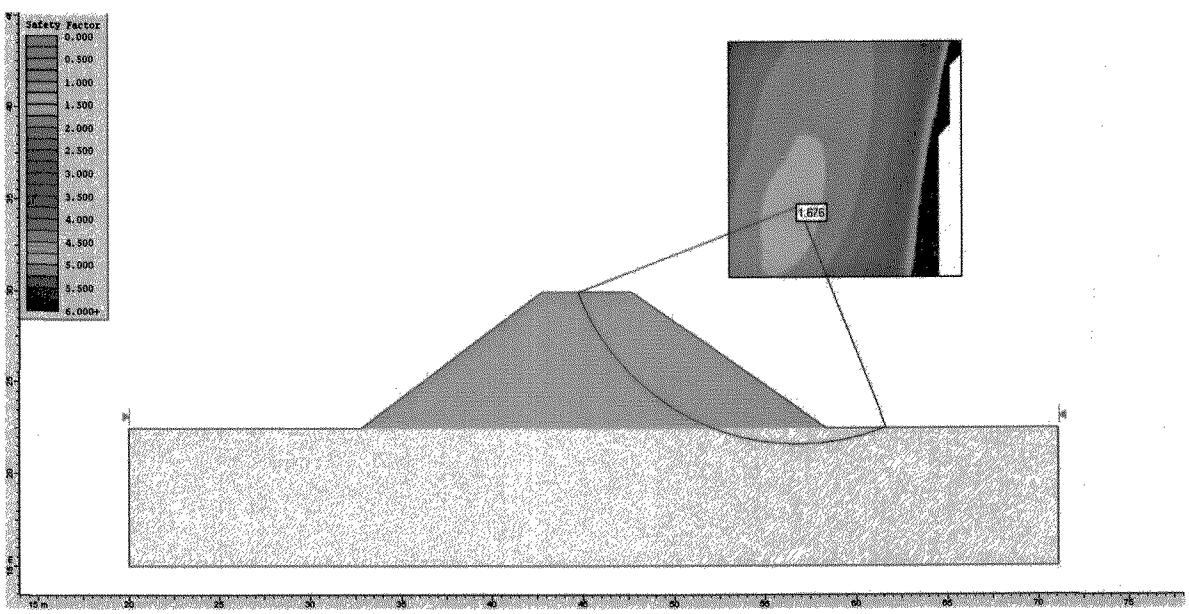


FIGURA 22.4-7
MURO 1 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

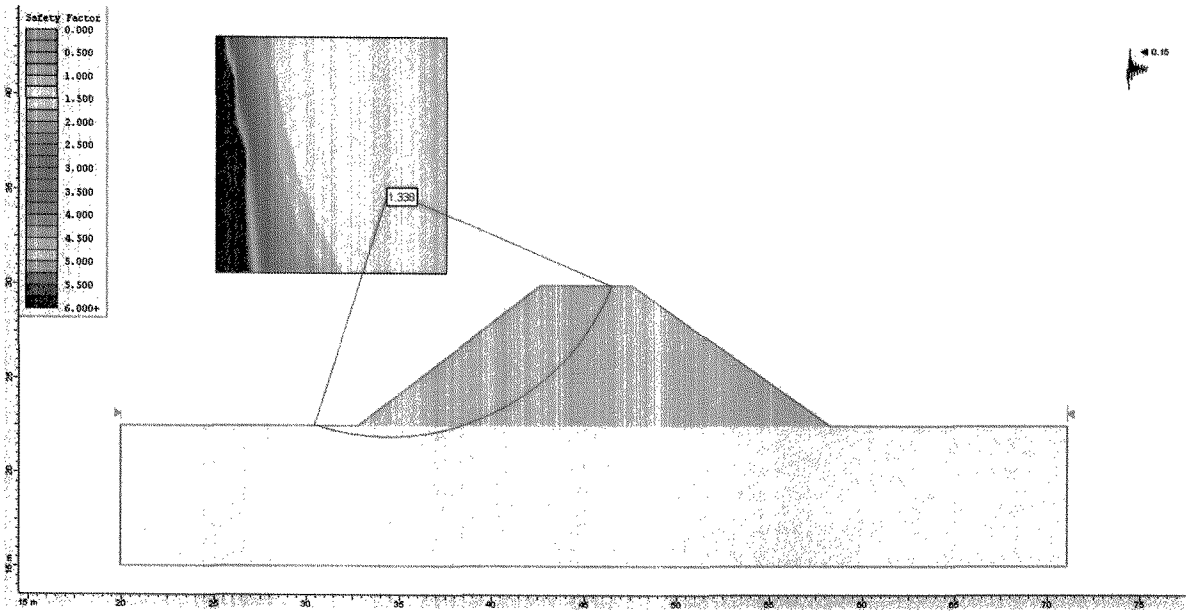


FIGURA 22.4-8
MURO 1 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA

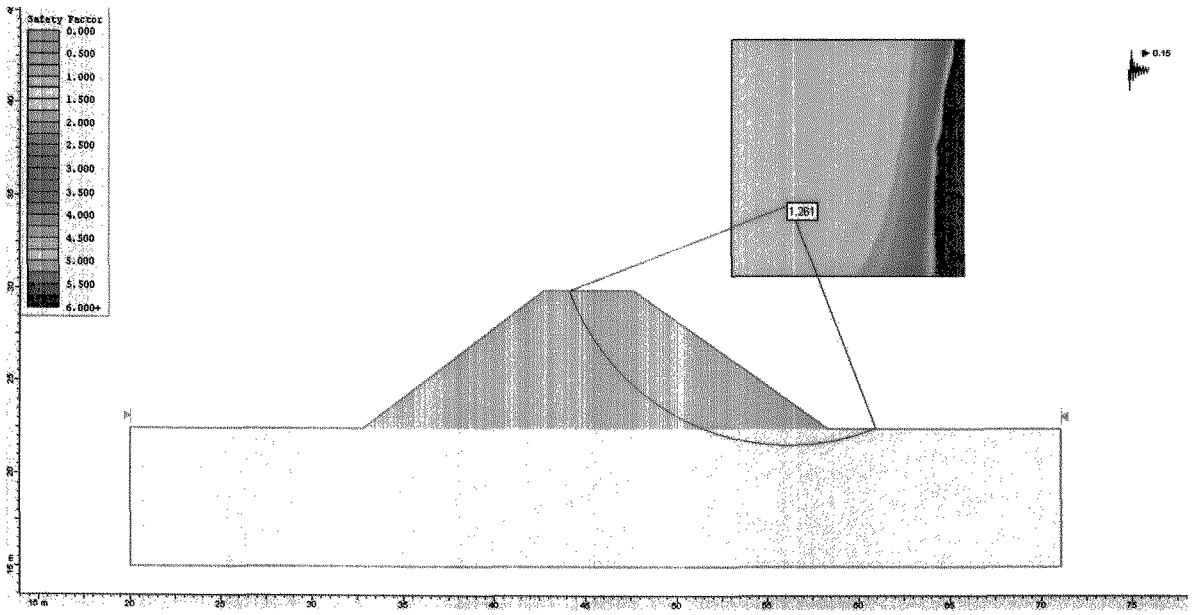


FIGURA 22.4-9
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

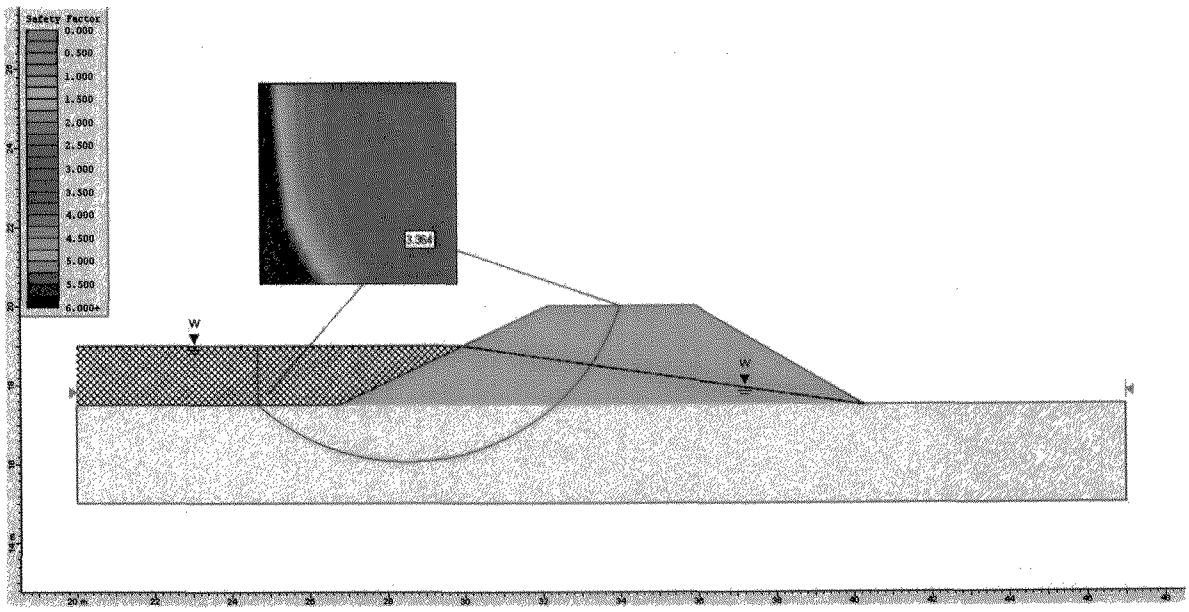


FIGURA 22.4-10
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

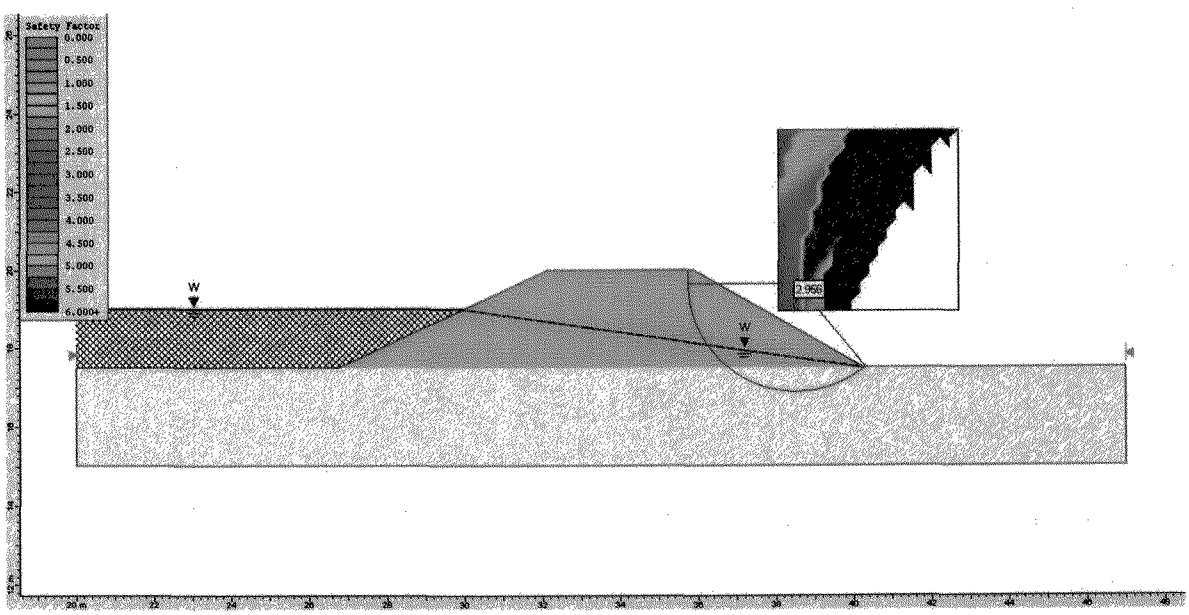


FIGURA 22.4-11
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

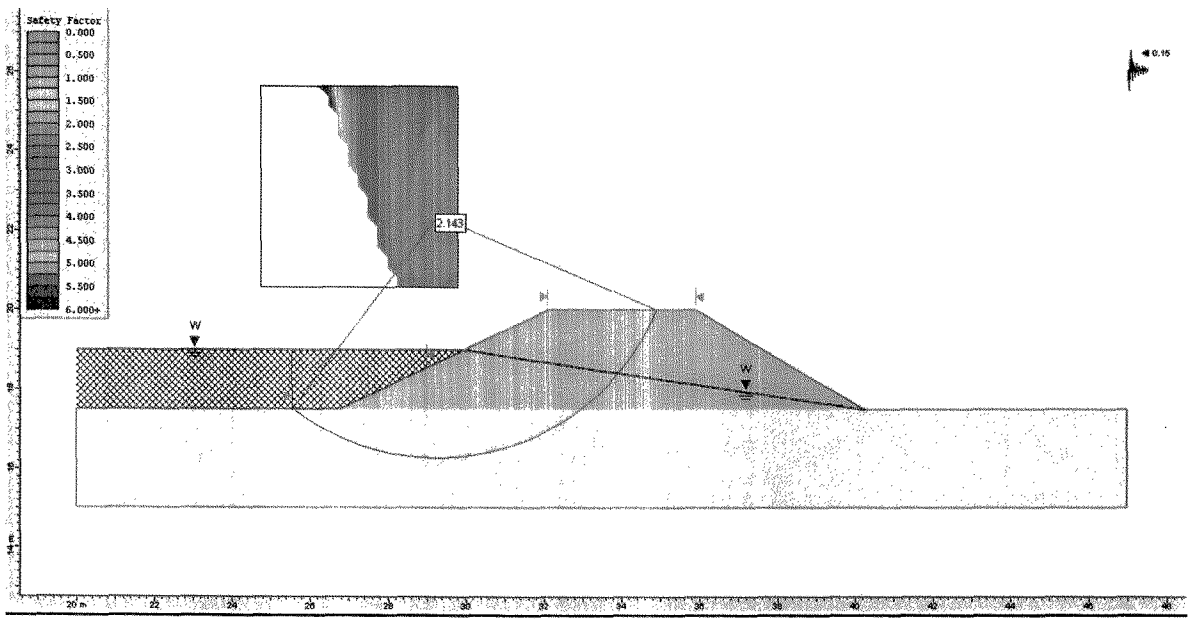


FIGURA 22.4-12
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

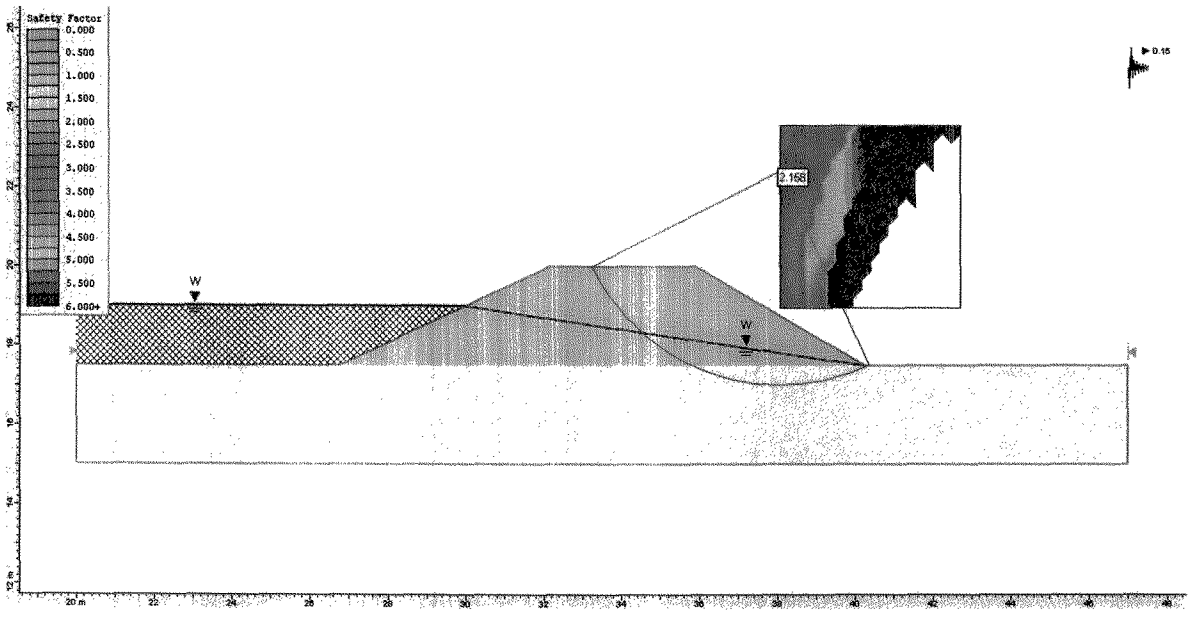


FIGURA 22.4-13
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

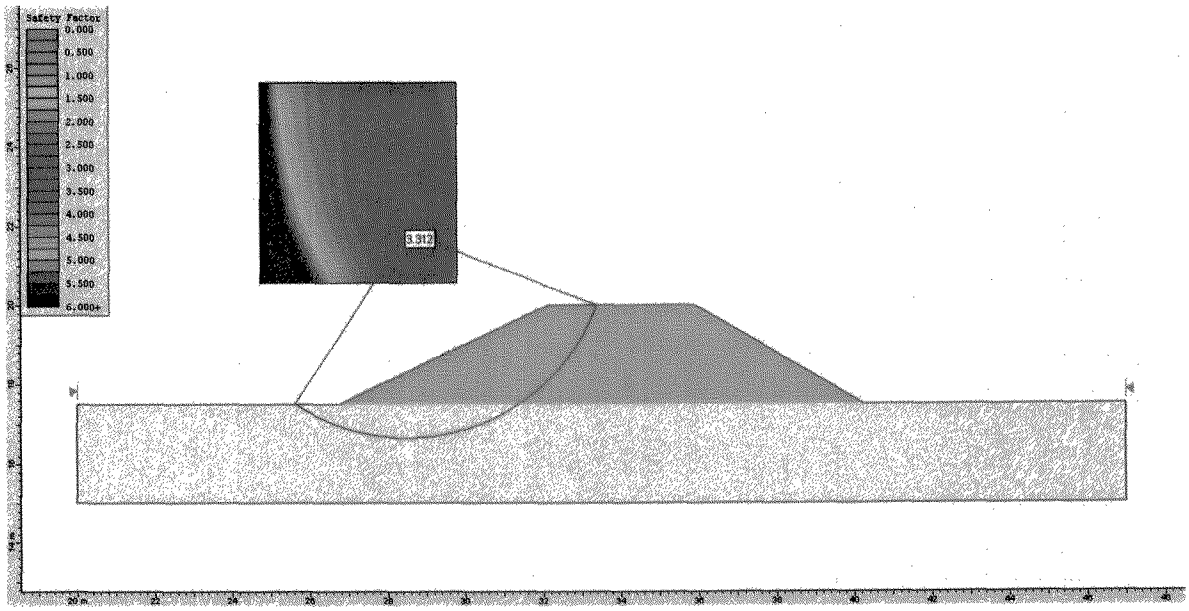


FIGURA 22.4-14
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

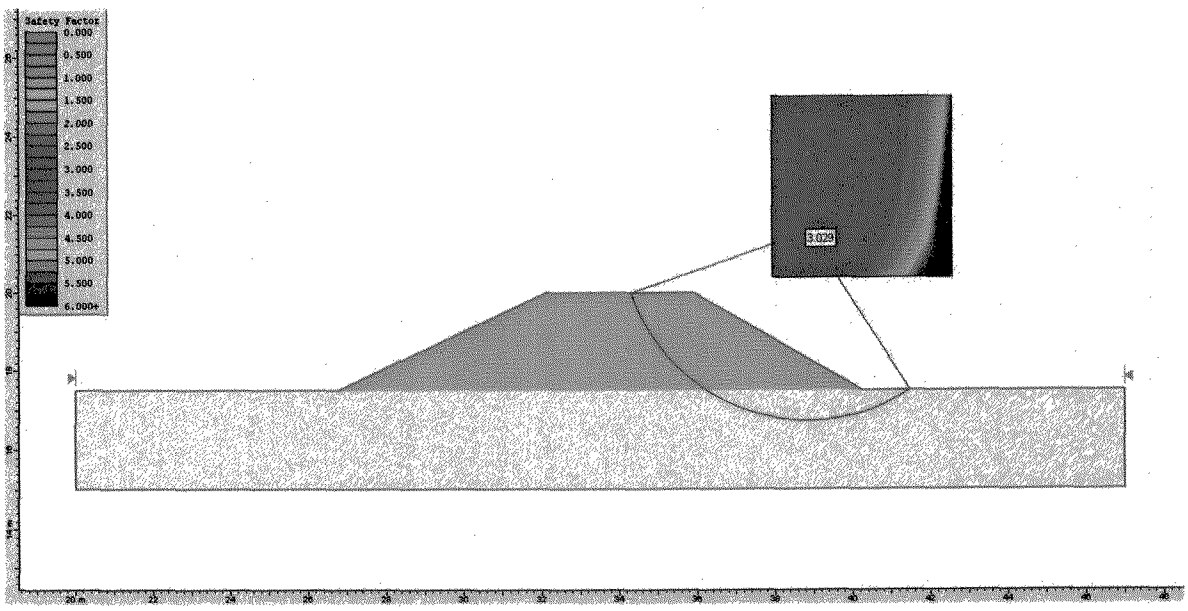


FIGURA 22.4-15
MURO 2 TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

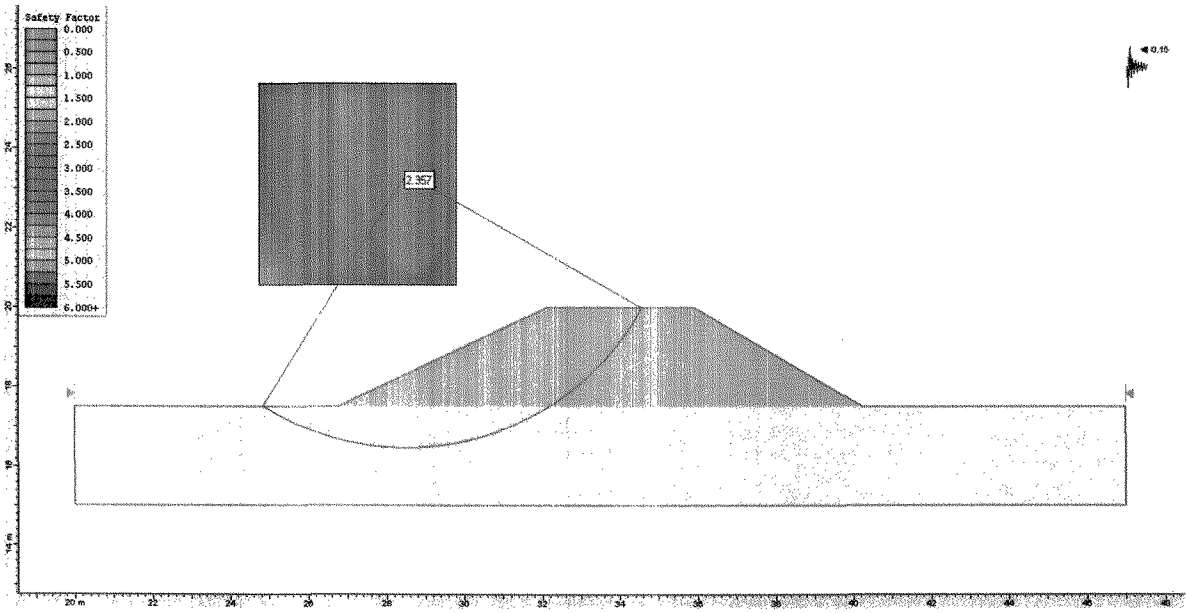
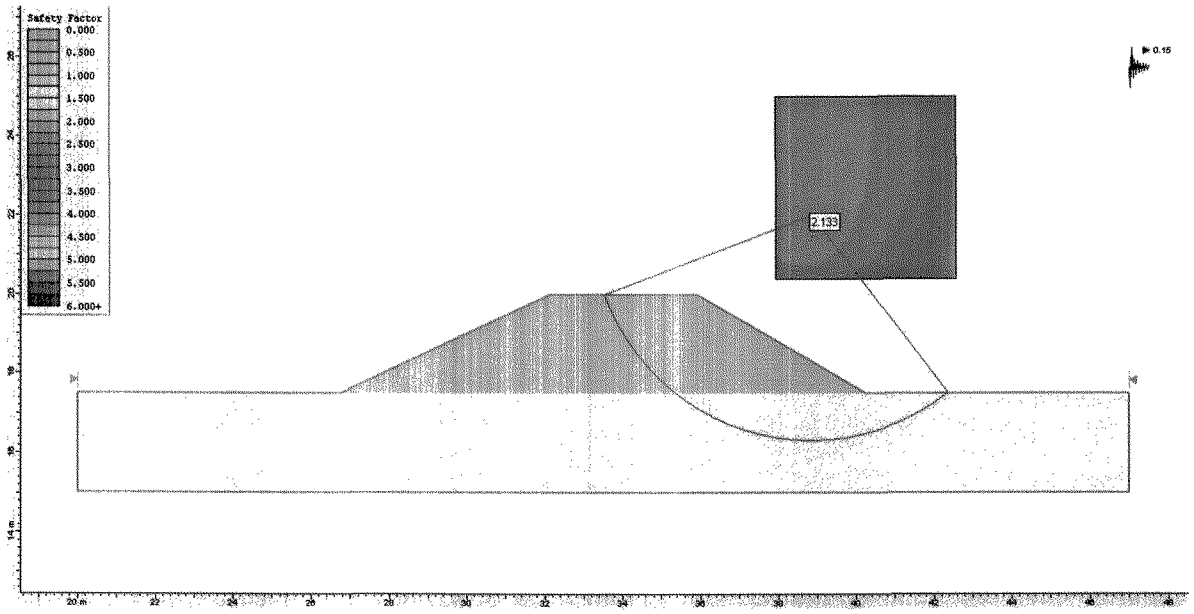


FIGURA 22.4-16
MURO 2 TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 22.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES
YERBAS BUENAS (SANTA JULIA)

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
Yerbas Buenas (Santa Julia)	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Muro 1	2,011	1,517	1,311	1,154
Muro 2	3,364	2,956	2,143	2,158

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
Yerbas Buenas (Santa Julia)	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Muro 1	1,718	1,676	1,338	1,261
Muro 2	3,312	3,029	2,357	2,133

22.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Yerbas Buenas (Santa Julia)***, se tiene:

	Muro 1	**Muro 2**	
Lh (m) =	26,6	12,0	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	2,0	2,0	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	6,32	1,11	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso, para M1, **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	**Lh**	**Lv**	**L'**	**Ht**	**bl**	**h**	**C'**	**(C' h)**	Cumple Condición
YERBAS BUENAS SANTA JULIA M1	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
	26,6	0	8,85	7,8	1,5	6,324	2,00	12,6	No

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso, para M2, **SÍ** se cumple la relación, por lo tanto, **NO** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	**Lh**	**Lv**	**L'**	**Ht**	**bl**	**h**	**C'**	**(C' h)**	Cumple Condición
YERBAS BUENAS SANTA JULIA M2	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
	12,0	0	4,00	2,1	1,0	1,113	2,00	2,2	Si

22.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Santa Julia (Yerbas Buenas).

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **1,50 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

SANTA JULIA (YERBAS BUENAS)
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea N°	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	°			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	279	0,1734	0,0957
2	36	0,8090	0,6545	299	0,1858	0,1216
3	30	0,8660	0,7500	582	0,3616	0,2712
4	24	0,9135	0,8346	1096	0,6810	0,5684
5	18	0,9511	0,9045	1002	0,6226	0,5632
6	12	0,9781	0,9568	872	0,5418	0,5184
7	6	0,9945	0,9891	881	0,5474	0,5414
8	0	1,0000	1,0000	892	0,5543	0,5543
9	6	0,9945	0,9891	809	0,5027	0,4972
10	12	0,9781	0,9568	874	0,5431	0,5196
11	18	0,9511	0,9045	922	0,5729	0,5182
12	24	0,9135	0,8346	813	0,5052	0,4216
13	30	0,8660	0,7500	852	0,5294	0,3971
14	36	0,8090	0,6545	828	0,5145	0,3367
15	42	0,7431	0,5523	673	0,4182	0,2309
	Suma	**13,5109**			Suma	**6,1555**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,456 millas
F = 733,21 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,69	0,8202
Molitor	2,49	0,7589
Creager	1,43	0,4370
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

22.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

22.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	
		Muro 1	Muro 2
No se registra falla para el evento dado	0,05	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		

22.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación: **25,0** m^3/s
Coeficiente capacidad 0,36 C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva **9,0** m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	66,33	0,95	0,00	0
0,002	78,37	0,95	0,00	0
0,0010	84,48	0,95	0,00	0

22.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado	
		Muro 1	Muro 2
Sin humedad al pie	0,05		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	0,2	
Si existe sistema de drenaje	0		
Si el material es cohesivo	0,05		

22.7.4 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

22.7.5 Riesgo

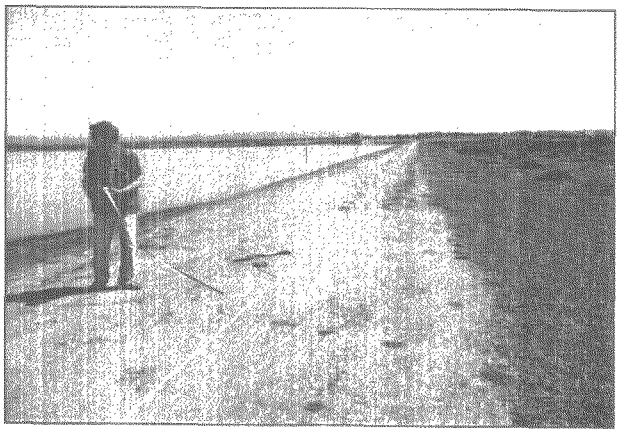
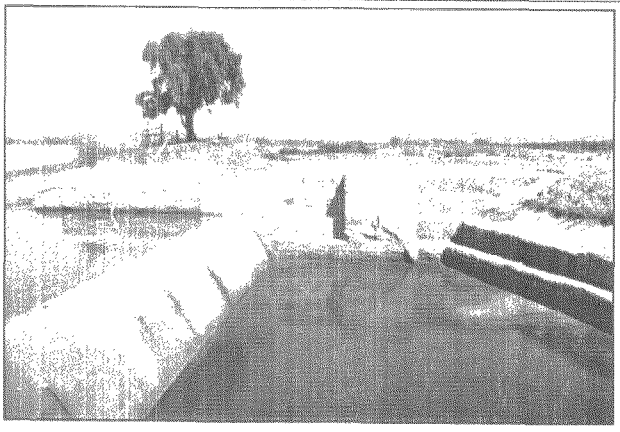
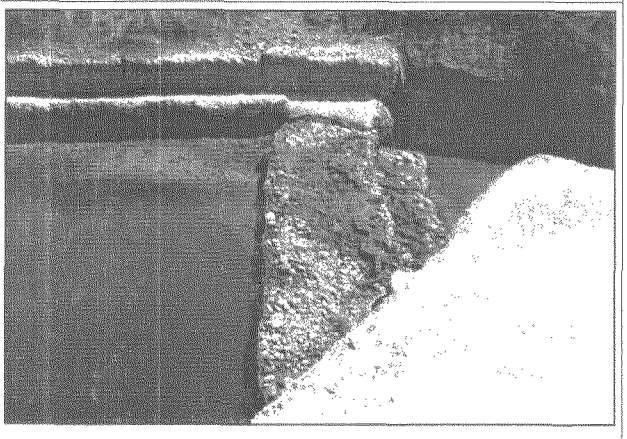
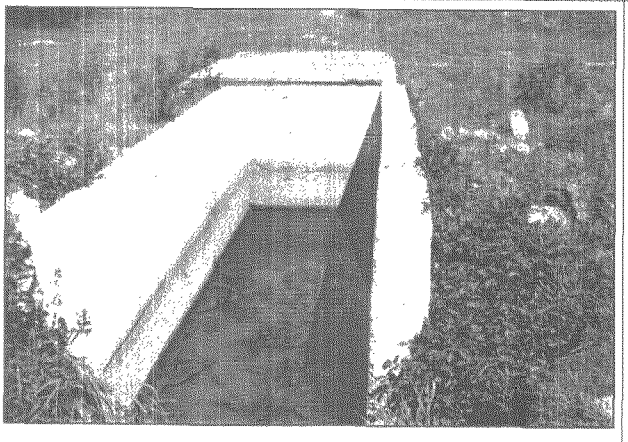
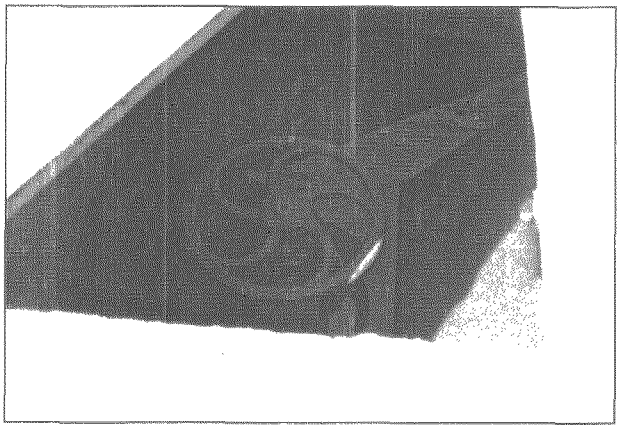
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

Riesgo	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Muro 1	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00
Muro 2	0,20	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	0,50

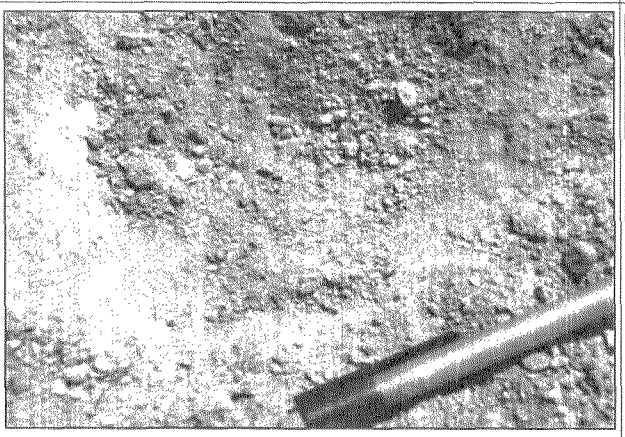
Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo por escorrentía.

22.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

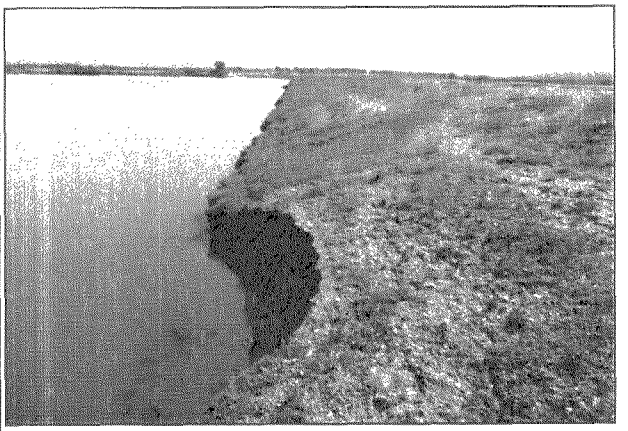
A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Yerbas Buenas (Santa Julia).

VISTA MURO 1 DESDE ESTRIBO DERECHO	VISTA MURO 1 DESDE ESTRIBO IZQUIERDO
	
EVACUADOR DE CRECIDAS M1	EVACUADOR DE CRECIDAS M1
	
OBRA DE ENTREGA M1	OBRA DE ENTREGA M1
	

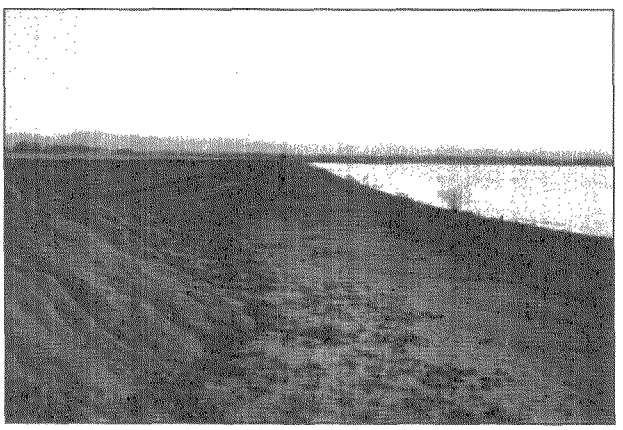
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN M1



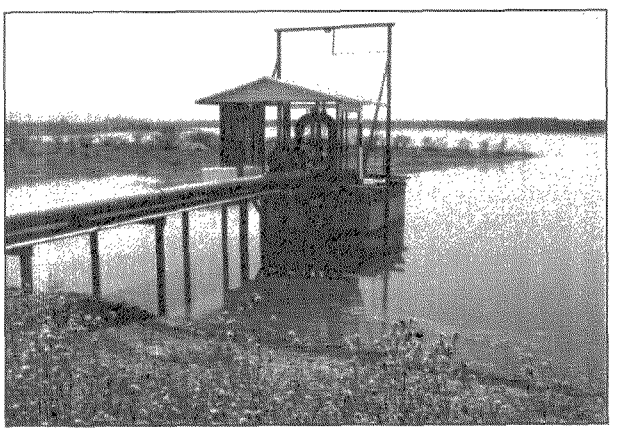
SOCAVACIÓN POR OLEAJE MURO 1



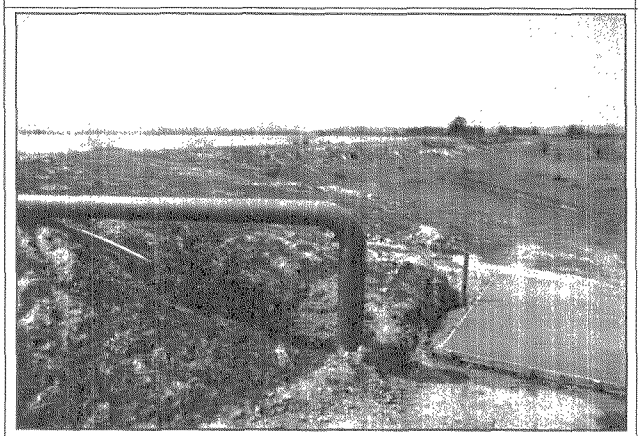
VISTA MURO 2



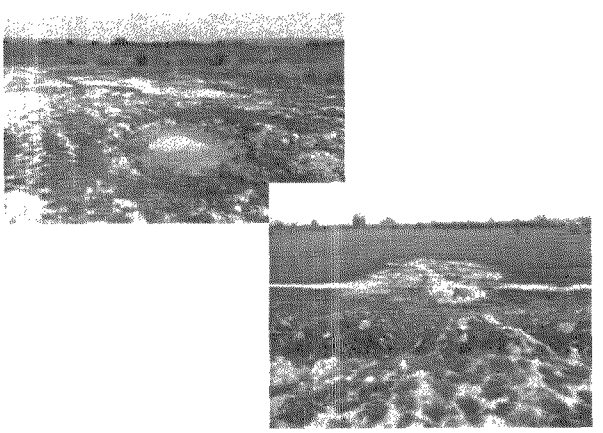
OBRA DE ENTREGA MURO 2



OBRA DE ENTREGA MURO 2



SATURACIÓN EN MURO 2 EN LOS METROS 80 Y 433



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Yerbas buenas M1 (Santa Julia)
Propietario	Agrícola Alcones
RUT Propietario	84.442.100-1
Año de construcción	2001
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Subcuenca / Código DGA	Estero Las Cadenas
Fuente del recurso	Quebrada Las Pataguas

N° de ficha	22.1
Fecha (dd/mm/año)	30-09-2009

Cumplimiento Art. 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.188.349	E= 254.084
Coordenadas UTM Centro	N= 6.188.470	E= 254.996
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.188.682	E= 253.839
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 134; C = 140; EI = 142	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	413		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 5,40	C =4,60	EI = 5,0
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	13,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,5		
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 35°	C = 42°	EI = 34°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 35°	C = 35°	EI = 33°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	7,80
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	6,30
Área estimada o calculada de la poza (m2)	459,0
Ancho máximo de la poza (km)	0,54
Largo de la poza (km)	0,85
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,723

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.188.470 E= 254.996	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arena Arcillosa con Gravas

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Regular
Compacidad del material estructural	Muy Alto
Uniformidad de los taludes	Uniforme en ambos taludes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se presentan depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se presentan filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
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	Vertedero de caída libre
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	En buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Ancho: 13,0 mts; Alto: 4,0 mts ; Largo 20 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

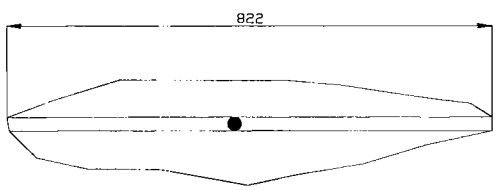
Tipo de estructura	La obra de entrega (M1) se encuentra en el metro 109, bajo el agua, a partir del estribo derecho. El agua es recibida por una tubería de 60 cms de diámetro. la que entrega a estructura de hormigón con salida a canal en tierra. (ver álbum fotográfico)
Mediciones estructurales	Ancho: 3,10 mts; Alto 2,0 mts
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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, terrenos agrícolas, pendiente media 0,4%, ancho medio cauce Ancho: 13,0 m.
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	8,72 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	5,24 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	0,35 Km.
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	2,11 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	5 ha

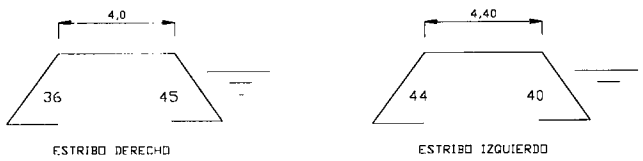
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

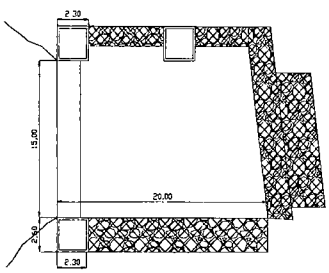


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

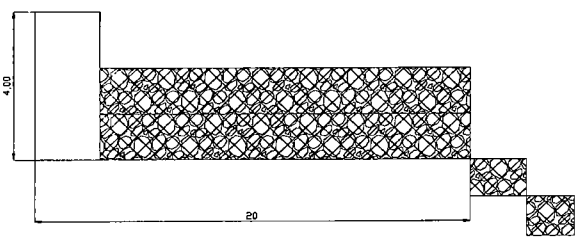
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



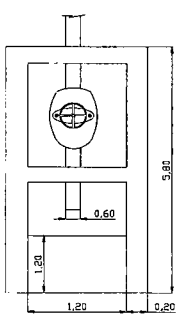
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



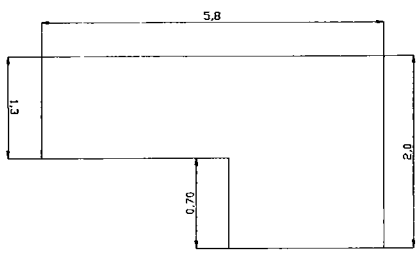
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El tranque se encuentra en buen estado, dado a que es relativamente nuevo, el muro 1, talud aguas arriba, presenta una socavación por oleaje (ver álbum fotográfico)

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Yerbas buenas M2 (Santa Julia)
Propietario	Agrícola Alcones Ltda
RUT Propietario	84.442.100-1
Año de construcción	2001
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Subcuenca / Código DGA	Estero Las Cadenas
Fuente del recurso	Quebrada Las Pataguas

N° de ficha	22.2
Fecha (dd/mm/año)	30-09-2009

Cumplimiento Art, 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.187.929	E= 253.209
Coordenadas UTM Centro	N= 6.187.937	E= 253.479
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.187.935	E= 253.962
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 140; C = 141; EI = 141	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)		754	
Ancho del coronamiento (m)	ED = 3,8	C =3,5	EI = 4,1
Desarrollo del talud aguas abajo (m)		5,0	
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)		1,0	
Paramentos verticales		NO	
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 26°	C = 26°	EI = 24°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 26°	C = 30°	EI = 33°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Regularidad media
Compacidad del material estructural	Muy Alto
Uniformidad de los taludes	Aguas arriba uniforme, aguas abajo irregular (ver álbum fotográfico)
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se presentan depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles, solo cárcavas a lo largo de todo el muro en el talud aguas abajo del muro 2
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	Se presentan sectores saturados en los metros 85 y 433 desde el estribo derecho del muro 2, ambos con una altura de agua de 5 cms (ver álbum fotográfico)
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se presentan filtraciones visibles
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

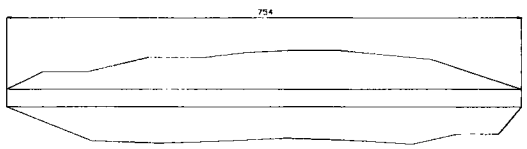
Tipo de estructura	Obra de entrega M2: Tubería de 25 cms de diámetro la que por medio de bombas saca el agua del tranque y la conduce a pivote de regadío. Esta obra de entrega se ubica en el metraje 115 desde el estribo derecho del muro 2. En este mismo metraje existe piscina contenedora de 4,5 mts de diámetro (ver álbum fotográfico)
Mediciones estructurales	Ancho: 3,10 mts; Alto 2,0 mts
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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, terrenos agrícolas, pendiente media 0,4%, ancho medio cauce Ancho: 13,0 m.
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	8,72 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	5,24 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	0,35 Km.
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	2,11 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	5 ha

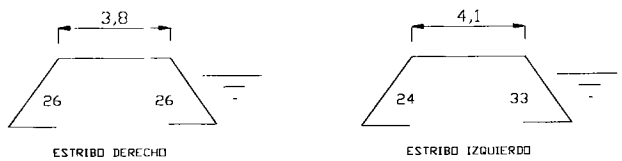
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

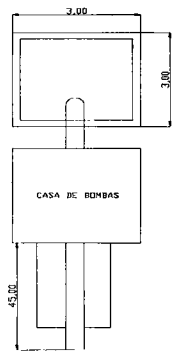


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

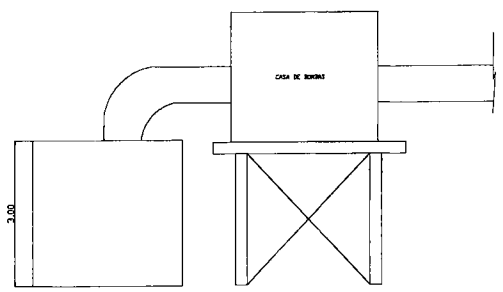
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El muro 2 tiene un ancho variable sobretodo en el sector donde se ubica la obra de entrega

EMBALSE CARRIZAL

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

23. EMBALSE CARRIZAL
23.1 Ubicación
23.2 Características Generales
23.3 Crecidas Afluentes al Embalse
  a) Características de la cuenca
  b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos
23.4 Análisis de Estabilidad
  a) Taludes del embalse
  b) Modelación de la presa
  c) Parámetros de resistencia al corte
  d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
  e) Factores de seguridad
23.5 Determinación de Filtraciones
23.6 Verificación del Oleaje
23.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
23.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

23. EMBALSE CARRIZAL

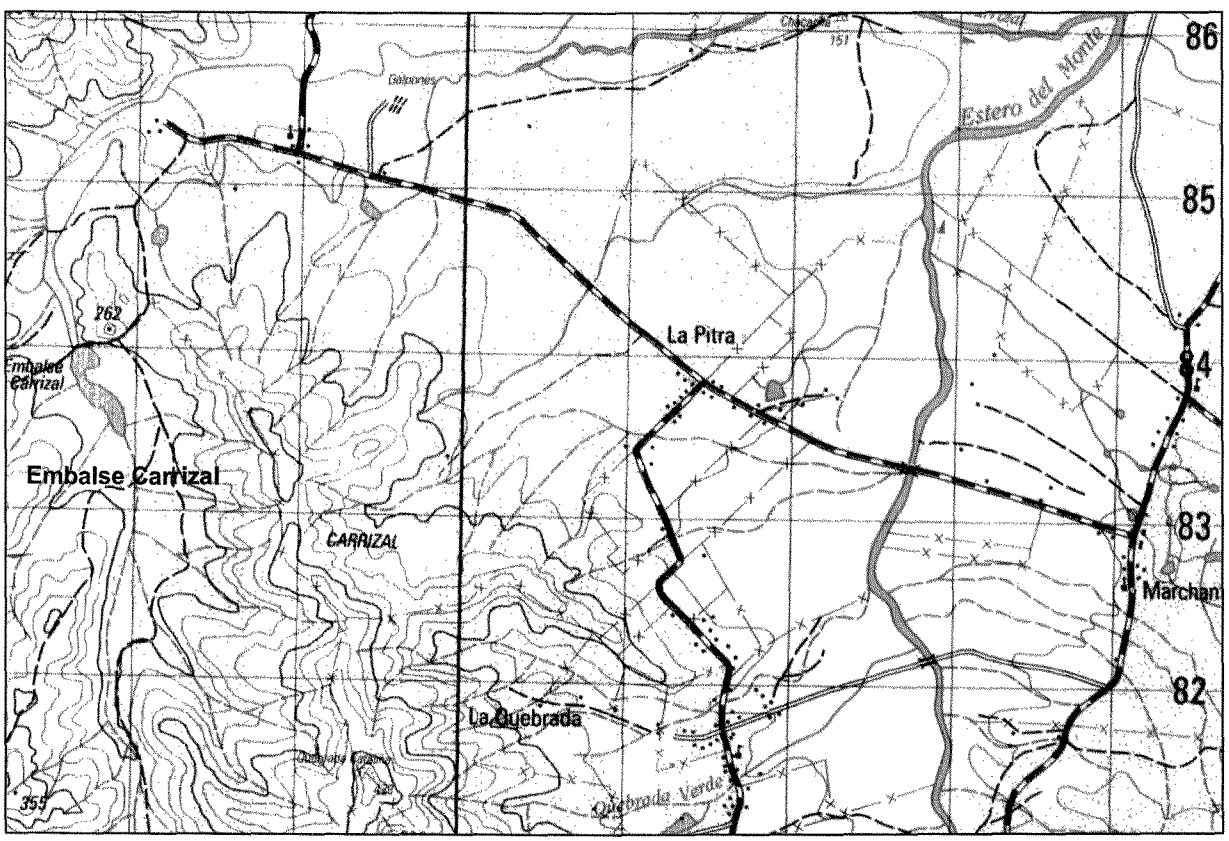
23.1 Ubicación

El embalse Carrizal se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.183.922 Norte y 247.530 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 198 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Tinguiririca, subcuenca del estero Las Cadenas y la fuente corresponde a la quebrada El Durazno.

El embalse se ubica al suroeste de la comuna, desde Marchigüe por ruta I-50 hacia Alcones, hasta el cruce con ruta I-674 hacia el sur hasta el cruce con camino secundario hacia embalse

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 23.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE CARRIZAL



Fuente: Carta IGM

23.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Sociedad Agrícola Carrizal S.A. El uso y destino del embalse es de riego.

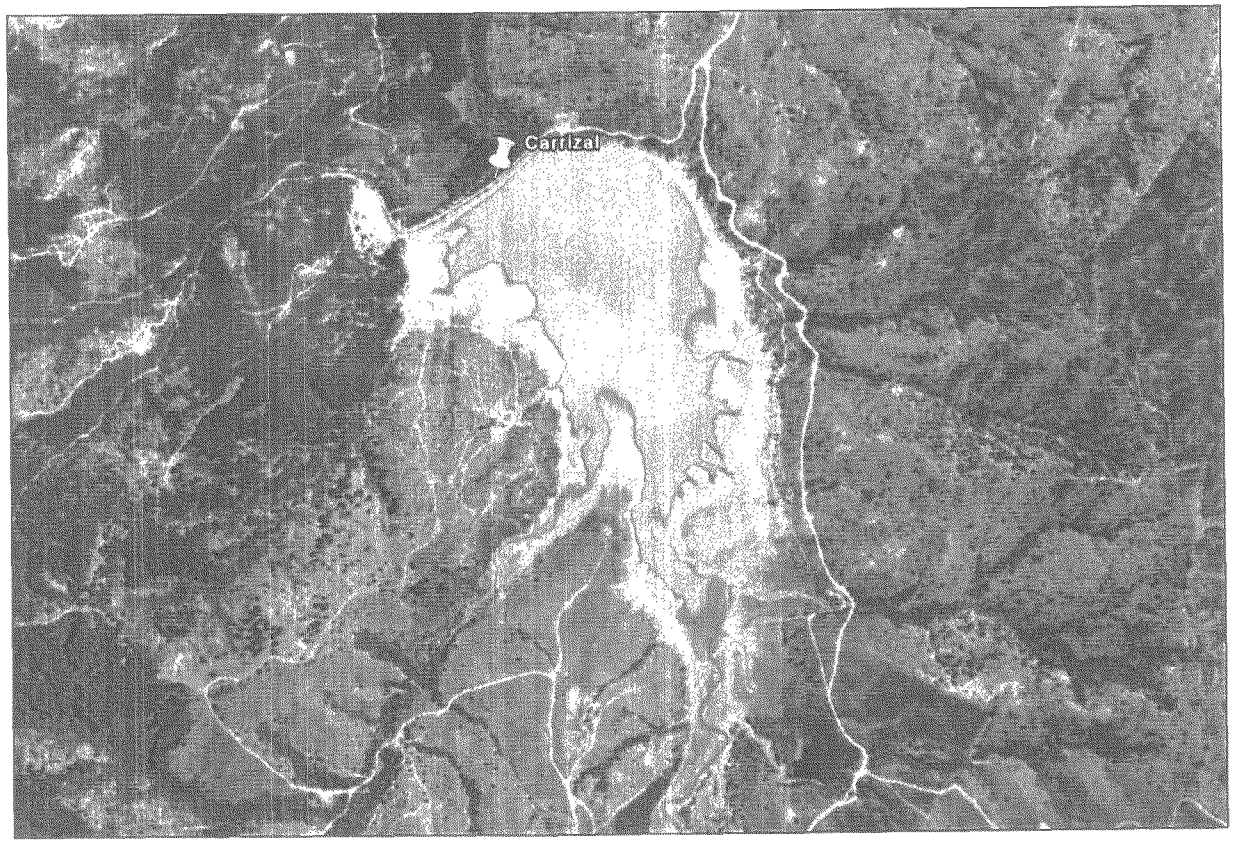
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 1,405 hm^3. La altura máxima del muro de 15,0 m, con una longitud de coronamiento de 378 m y ancho promedio del coronamiento de 5 m y borde libre de 2,0 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=2,14:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,73:1.

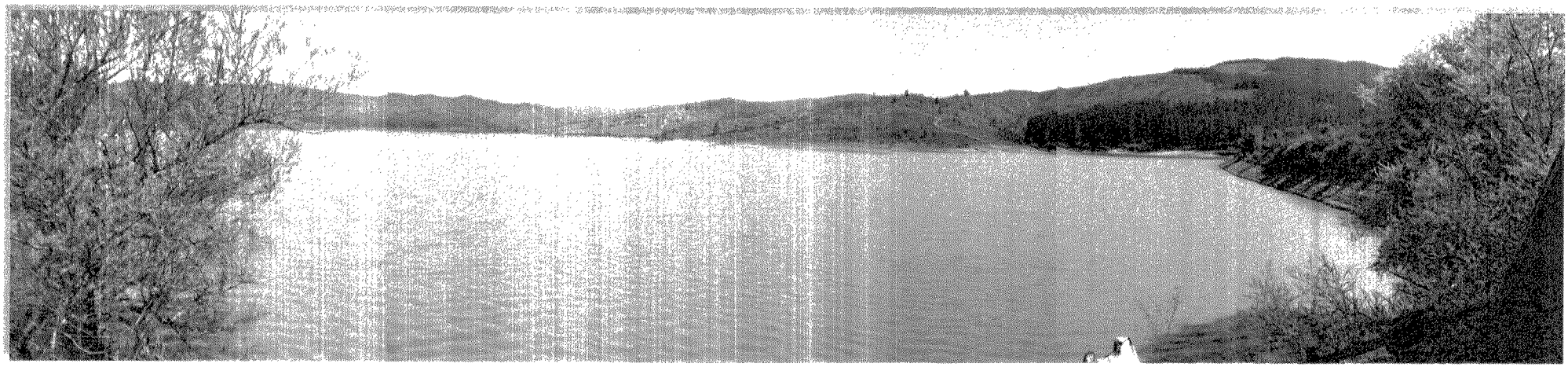
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero de caída libre, en hormigón y ladrillo, con un ancho medio de 11,5 m y 3,0 m de alto. No tiene estructura de control. En buen estado de conservación y operación.

La ***obra de entrega*** corresponde a salida a canal mediante tubería de hormigón de 1,10 m de diámetro que se abre desde manivela (escalera) y conduce las aguas a una piscina con rebalse y luego a canal revestido que bordea cerro y conduce las aguas a los predios. La obra se encuentra en regular estado de mantención y operación.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 23.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE CARRIZAL





Vista panorámica Embalse Carrizal

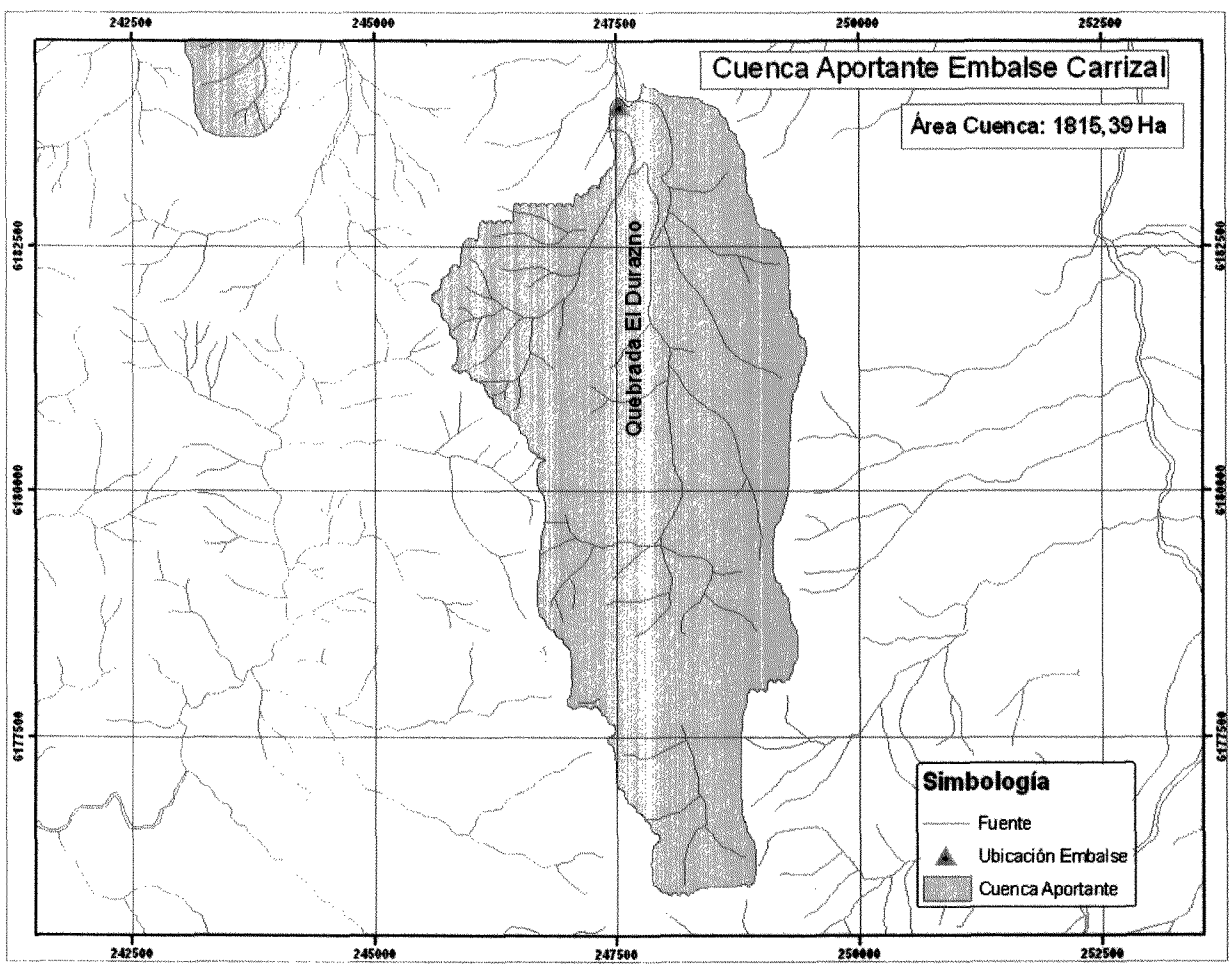
23.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Carrizal tiene como fuente a la quebrada El Durazno, la cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 18,15 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 23.3-1
CUENCA EMBALSE CARRIZAL



CUADRO 23.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Carrizal
SUPERFICIE (ha)	Total	1.815,4
	Pluvial	1.815,4
PERÍMETRO (m)	Total	27.900,0
	Pluvial	27.900,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	608,4
	Mínima	199,7
	Diferencia	408,6
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	24,7
	Cauce	15,9
LONGITUD CAUCE (km)	Total	9,53
	Desde centro de gravedad	4,76
CENTROIDE CUENCA	UTM E	247.529
	UTM N	6.180.500
	Altura (msnm)	355,1
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	248.151
	UTM N	6.180.300
	Altura (msnm)	251
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L =	Longitud del cauce principal en km.
Hmáx=	Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A =	Área cuenca en km².
J =	Pendiente del cauce (%).
Hg=	Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Carrizal	1,27	3,14	0,05	0,97	0,97

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 hrs,T=10)	Zona CF
Carrizal	Rapel	0,146	100	Nilahue

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q(T)	Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T)	Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T}	Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap	Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Carrizal	T=2	0,47	Nilahue	0,6	9,9	6,9	24,1
	T=5	0,60	Nilahue	0,8	13,6	10,3	42,4
	T=11	0,68	Nilahue	1,0	15,9	18,1	56,3
	T=15	0,73	Nilahue	1,1	17,4	21,7	66,1
	T=20	0,77	Nilahue	1,2	18,5	24,7	74,1
	T=25	0,80	Nilahue	1,2	19,1	26,7	79,6
	T=50	0,87	Nilahue	1,4	21,7	34,0	98,3
	T=100	1	Nilahue	1,5	24,3	44,9	126,3

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Carrizal	2,81	7,44	10,06	11,51	12,97	13,98	17,30	21,12

- **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Carrizal	48,16	57,10	63,86

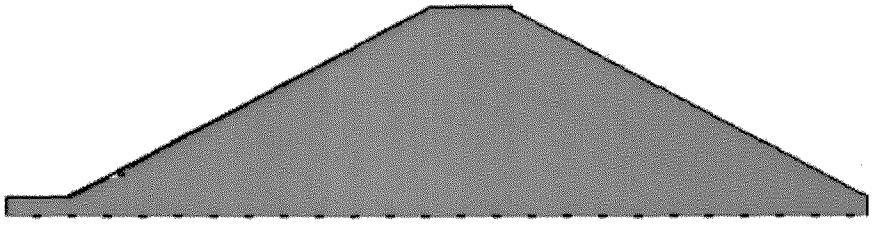
23.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arena arcillosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	25,0 m
Ancho coronamiento	5,0 m
Borde libre	2,0 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 2,14 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,73 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 23.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 30°	1,8	1,75	1,95

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 23.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

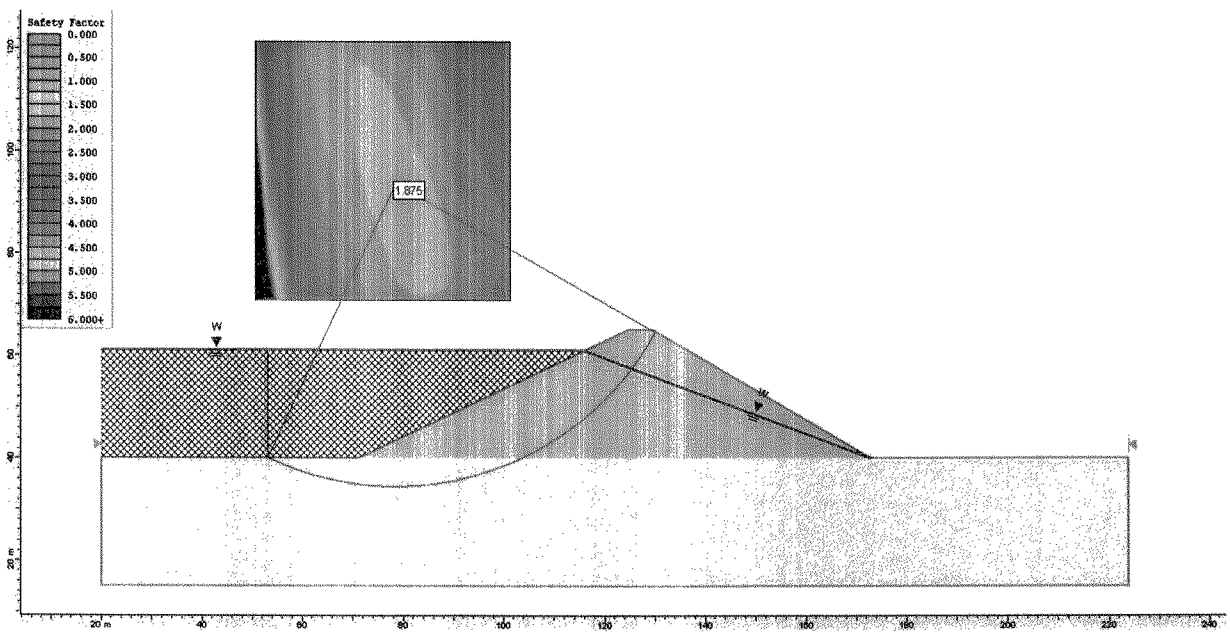


FIGURA 23.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

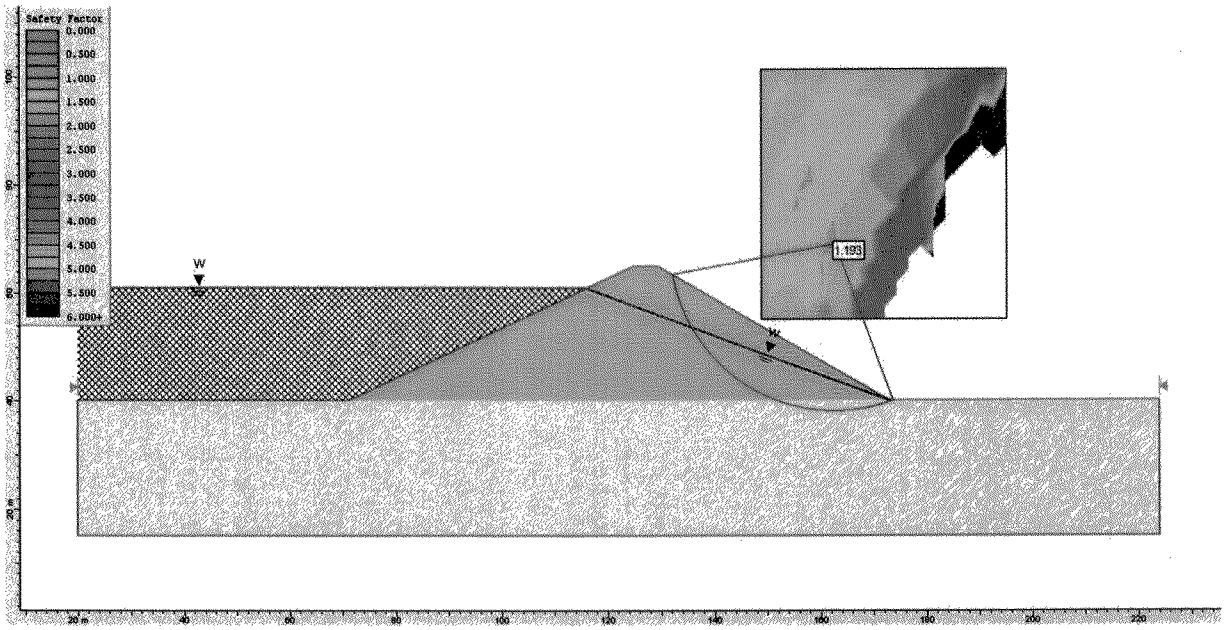


FIGURA 23.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

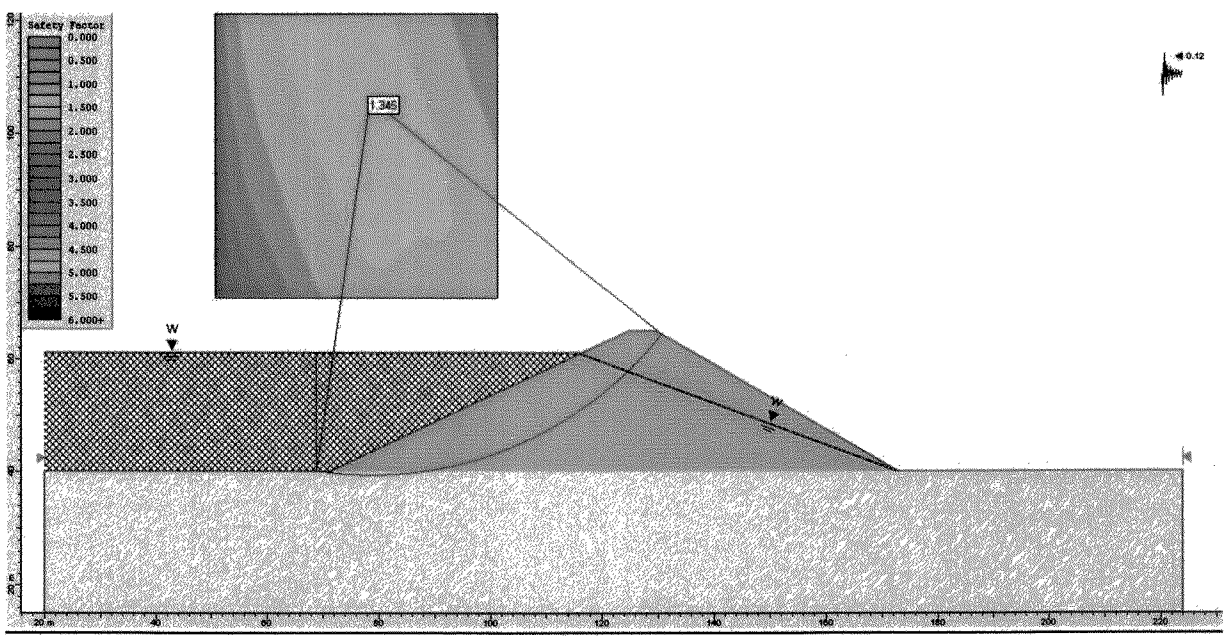


FIGURA 23.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

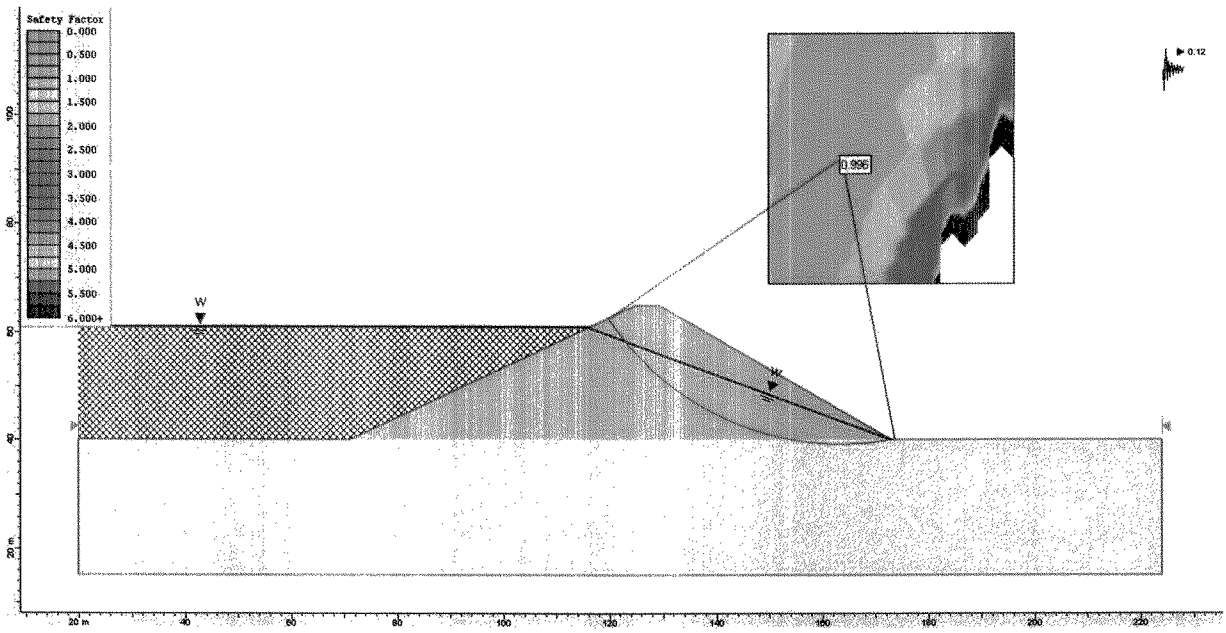


FIGURA 23.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

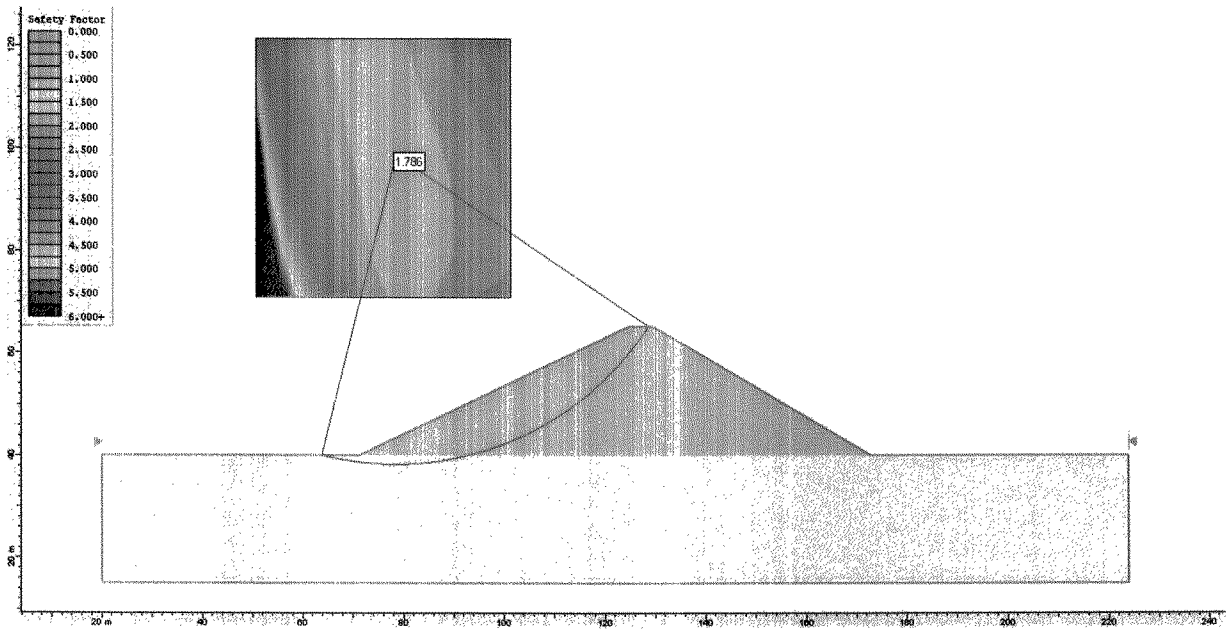


FIGURA 23.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

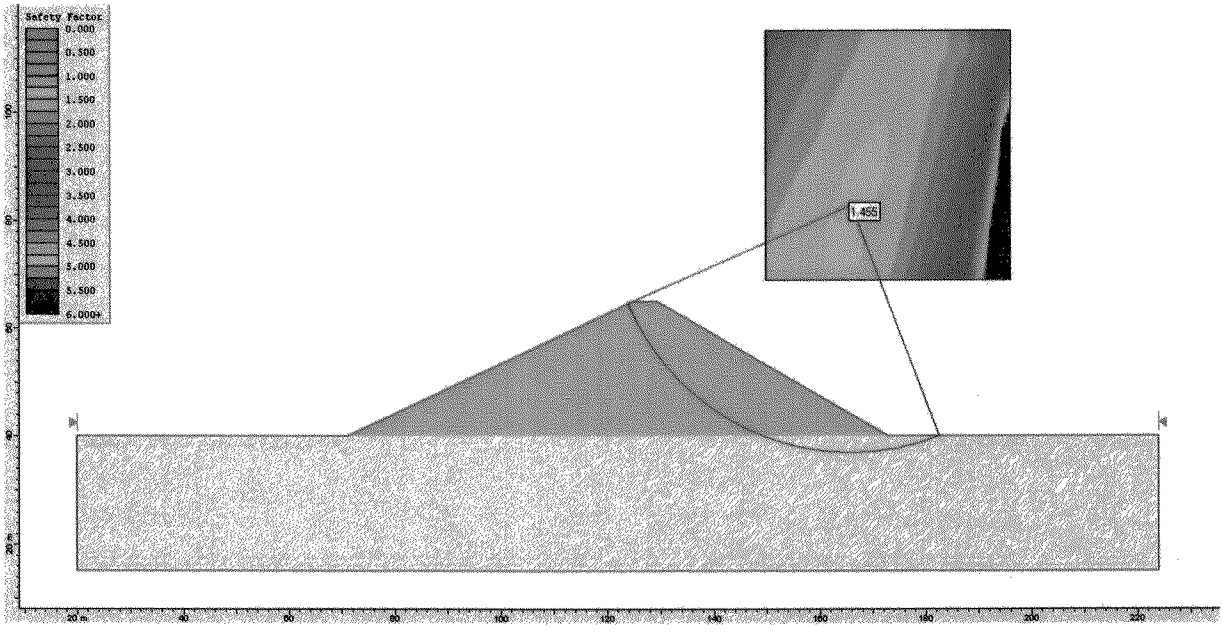


FIGURA 23.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

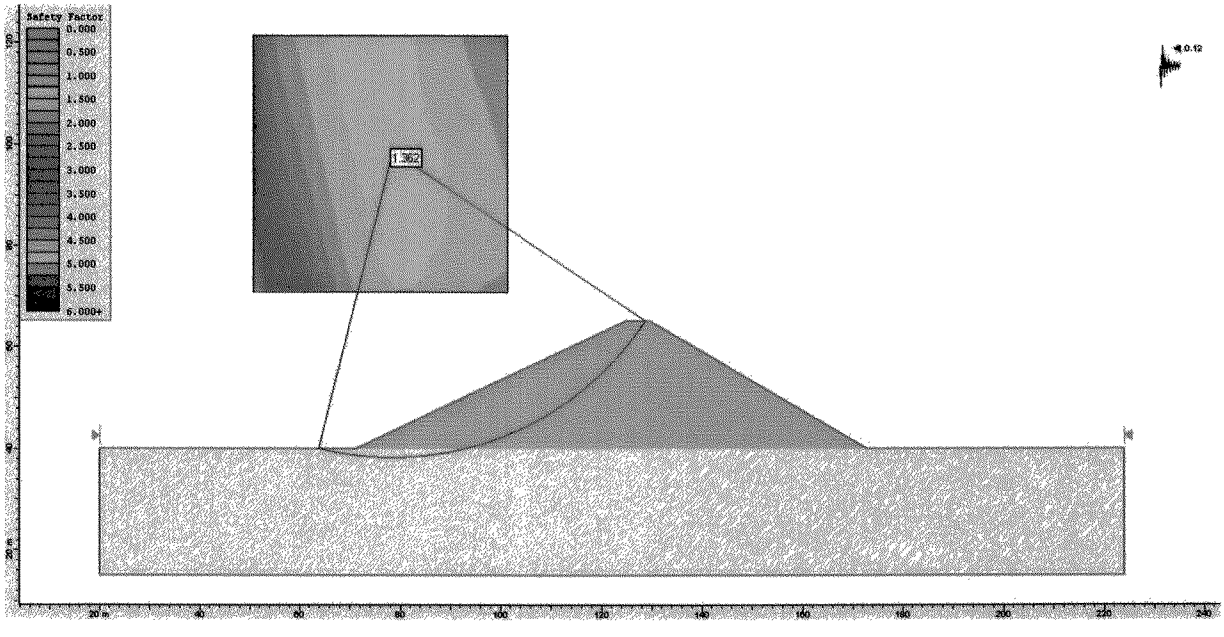
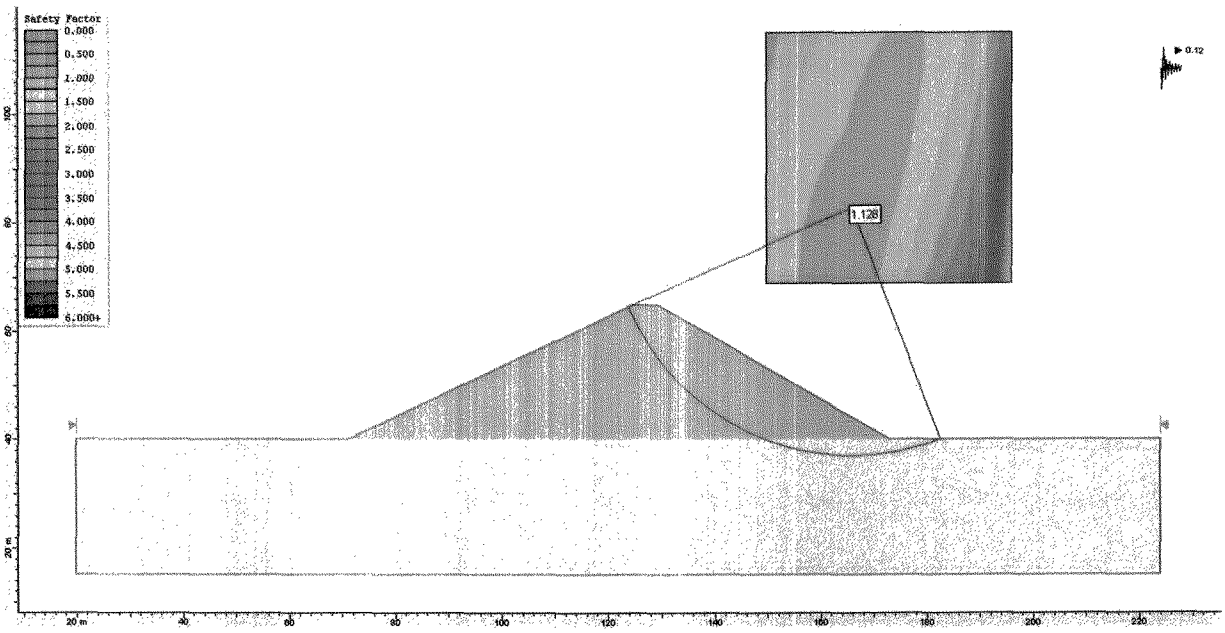


FIGURA 23.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 23.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Carrizal	1,875	1,193	1,345	0,996

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Carrizal	1,786	1,455	1,362	1,128

23.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Carrizal***, se tiene:

Lh (m) =	63,2	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,8	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	13,0	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
CARRIZAL	63,2	0	21,05	15,0	2,0	13,000	1,80	23,4	No

23.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Carrizal.

CARRIZAL
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea N°	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	°			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	278	0,1727	0,0954
2	36	0,8090	0,6545	266	0,1653	0,1082
3	30	0,8660	0,7500	293	0,1821	0,1365
4	24	0,9135	0,8346	316	0,1964	0,1639
5	18	0,9511	0,9045	323	0,2007	0,1815
6	12	0,9781	0,9568	353	0,2193	0,2099
7	6	0,9945	0,9891	665	0,4132	0,4087
8	0	1,0000	1,0000	1196	0,7432	0,7432
9	6	0,9945	0,9891	1169	0,7264	0,7184
10	12	0,9781	0,9568	990	0,6152	0,5886
11	18	0,9511	0,9045	838	0,5207	0,4710
12	24	0,9135	0,8346	745	0,4629	0,3863
13	30	0,8660	0,7500	681	0,4232	0,3174
14	36	0,8090	0,6545	593	0,3685	0,2412
15	42	0,7431	0,5523	556	0,3455	0,1908
	Suma	**13,5109**			Suma	**4,9609**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,367 millas
F = 590,92 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,63	0,8018
Molitor	2,45	0,7468
Creager	1,32	0,4034
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **2,00 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

23.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

23.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

23.7.2 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	0,9
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**21,49**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,36	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**7,73**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	48,16	0,95	0,00	0
0,002	57,10	0,95	0,00	0
0,0010	63,86	0,95	0,00	0

23.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
Sin humedad al pie	0,05	
Saturación abajo del muro	0,05 a 0,10	0,1
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	

23.7.4 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	0,5
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	0,5

23.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

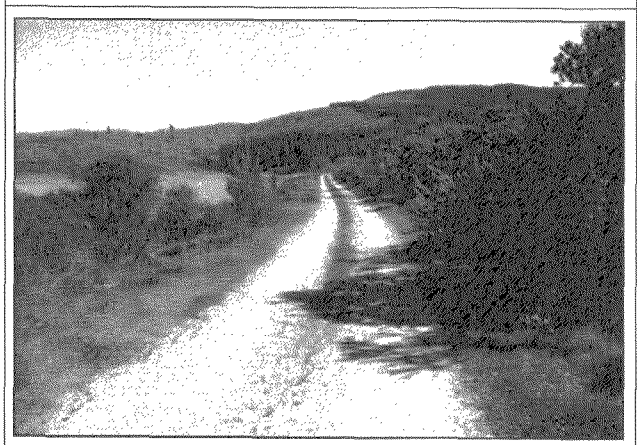
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	1,20	0,00	0,00	0,00	0,24	0,10	0,05	0,25

De esta manera el Riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico y es igual a 1,2%.

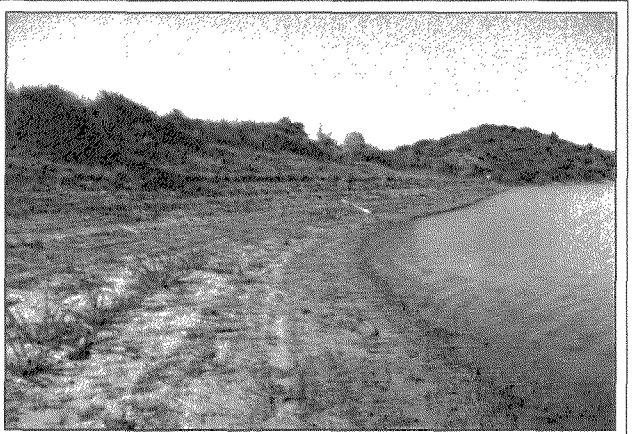
23.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Carrizal.

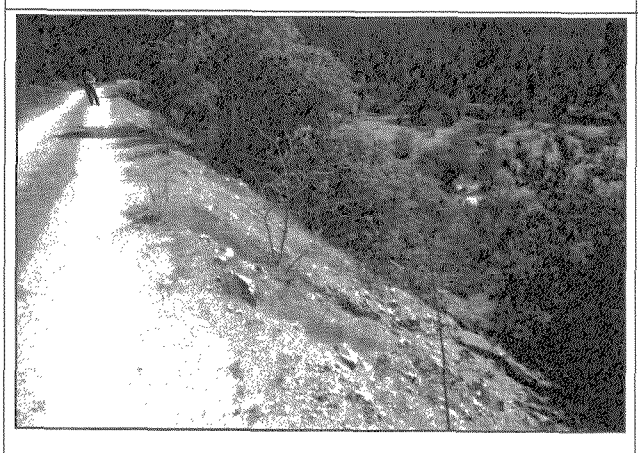
VISTA MURO



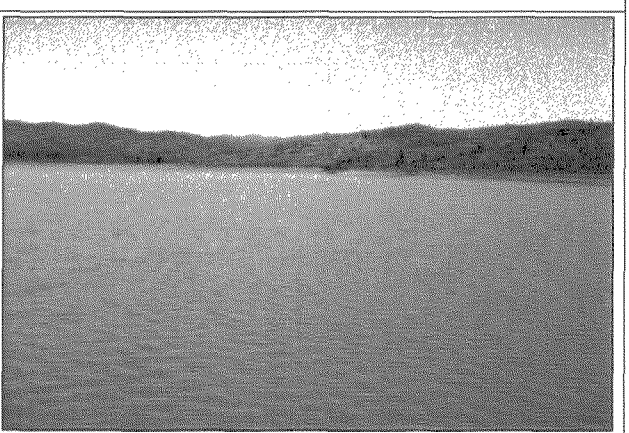
VISTA MURO



VISTA MURO



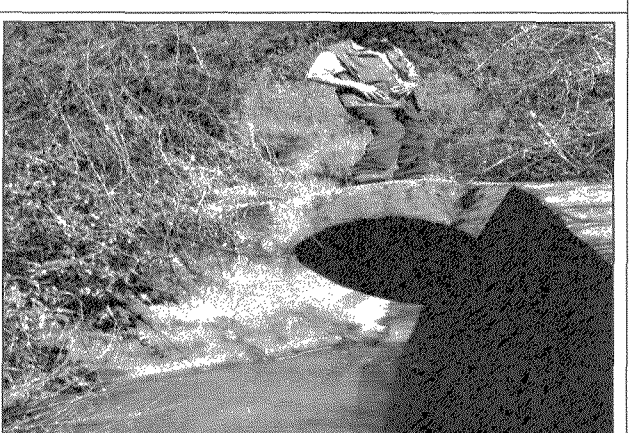
ESPEJO DE AGUA



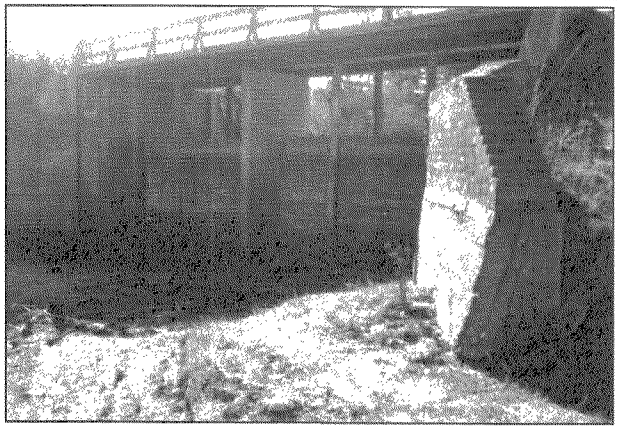
OBRA DE ENTREGA



OBRA DE ENTREGA



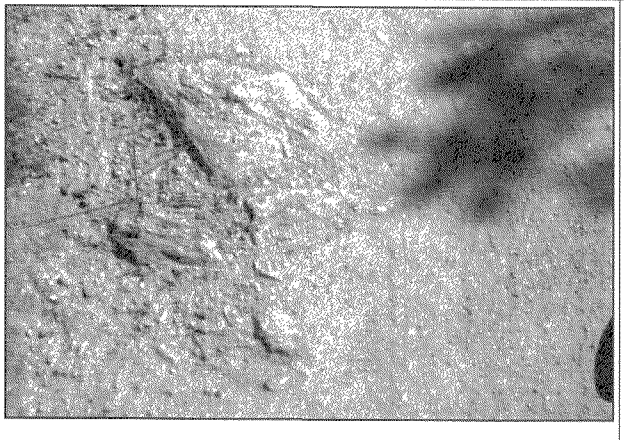
EVACUADOR DE CRECIDAS



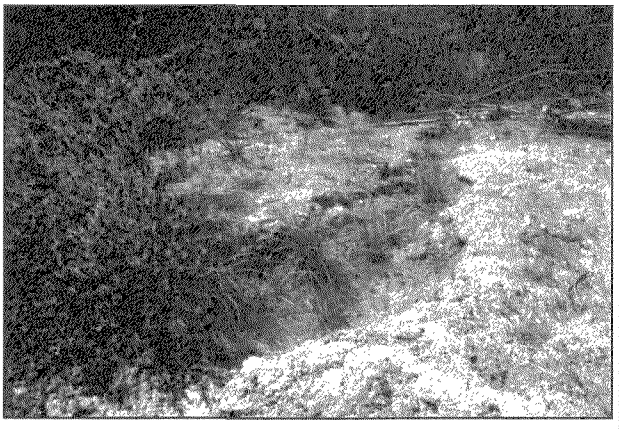
EVACUADOR DE CRECIDAS



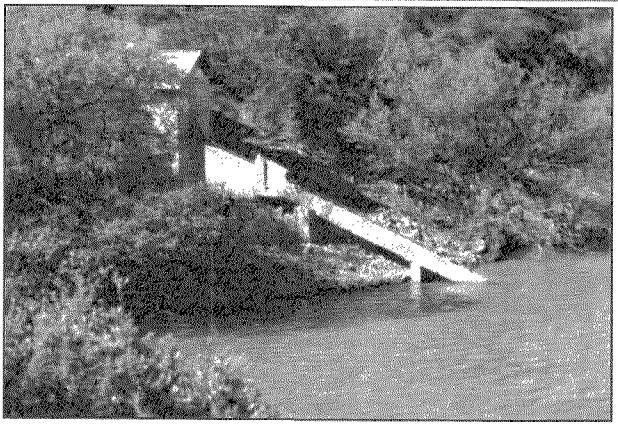
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



CARCAVA EN EL MURO



ESTRUCTURA APERTURA OBRA DE TOMA



FILTRACIÓN EN EL ESTRIBO IZQUIERDO



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Carrizal
Propietario	Sociedad Agrícola Carrizal S.A.
RUT Propietario	79.712.500-8
Año de construcción	S/I
Reparación (SI) (NO)	S/I
Año de reparación	S/I
Cuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Subcuenca / Código DGA	Estero Las Cadenas
Fuente del recurso	Quebrada El Durazno

Nº de ficha	23
Fecha (dd/mm/año)	29-09-2009

Cumplimiento Art. 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.184.035	E= 247.640
Coordenadas UTM Centro	N= 6.183.922	E= 247.530
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.183.819	E= 247.364
Datum WGS 84		
Altitud	ED = 205; C = 198;	EI = 205

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)	378		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 8,50	C = 3,10	EI = 3,30
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	30,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	Revancha mín= 2,0 mts	Revancha máx= 3,50 mts	
Paramentos verticales	NO		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 30°	C = 30°	EI = 30°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 25°	C = 25°	EI = 25°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	15.0
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	13,0
Área estimada o calculada de la poza (m2)	432.400
Ancho máximo de la poza (km)	0,46
Largo de la poza (km)	0,94
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	1,405

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.183.922 E= 247.530	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arena Arcillosa

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 en ambos taludes, el talud aguas arriba presenta algunos tramos con socavaciones
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se presentan depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles, solo algunas cárcavas en los metros 310 al 320 desde el estribo derecho (ver álbum fotográfico)
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan indicios de deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Filtración en el estribo izquierdo, desde el metro 348 al 378, en los pies del muro (ver álbum fotográfico)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra compactada mezclada con rocas

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
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	Vertedero de caída libre, en hormigón y ladrillo, se subió la altura para acumular mas agua (ver álbum fotográfico)
Material constructivo	Hormigón y ladrillos
Estado de conservación y operatividad	En buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Carga Máxima 46,4 m3/s, Ancho: 11,5 mts ; Largo 16,0 mts; Alto: 3,0 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

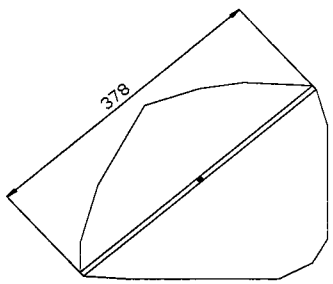
Tipo de estructura	salida a canal, tubería de hormigón de 1,10 mts de diámetro que se abre desde manivela (escalera) y conduce las aguas a una piscina con rebalse y luego a canal revestido que bordea cerro y conduce las aguas a los predios
Mediciones estructurales	Ancho: 2,0 mts (promedio); Largo: 20 mts
Funcionamiento actual	Regular mantención, funcionando

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, quebrada, pendiente media 1,5%, ancho medio 4,0 mts, ancho medio 150 m.
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	1,85 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	1,55 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Media a Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	0,9 Km.
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,8 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	100 ha

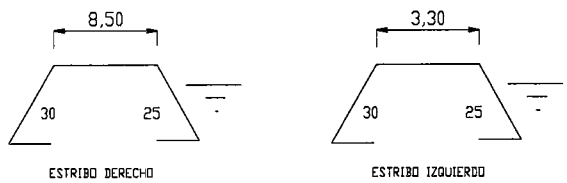
11. MONOGRAFÍA

Planta del muro (forma y dimensiones)

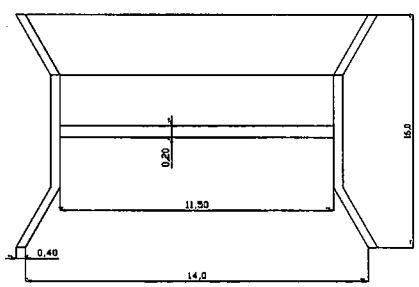


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

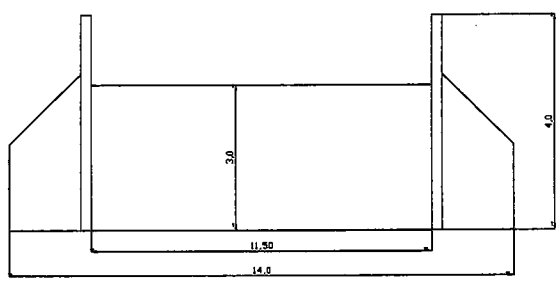
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



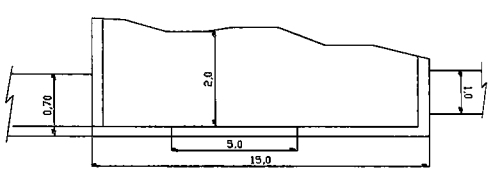
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



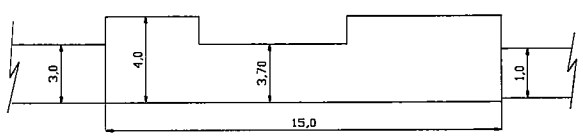
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

En este momento, dado que el tranque esta en su capacidad media filtra muy poco agua, cuando está lleno filtra mucha mas agua que la que se aprecia en el álbum fotográfico.

En ambos taludes, en especial el talud aguas abajo posee bastante vegetación arbórea y arbustiva.

EMBALSE PIHUCHÉN

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

24. EMBALSE PIHUCHÉN

24.1 Ubicación
24.2 Características Generales
24.3 Crecidas Afluentes al Embalse
- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

24.4 Análisis de Estabilidad
- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

24.5 Determinación de Filtraciones
24.6 Verificación del Oleaje
24.7 Análisis de Riesgo (Hazop)
24.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

24. EMBALSE PIHUCHÉN

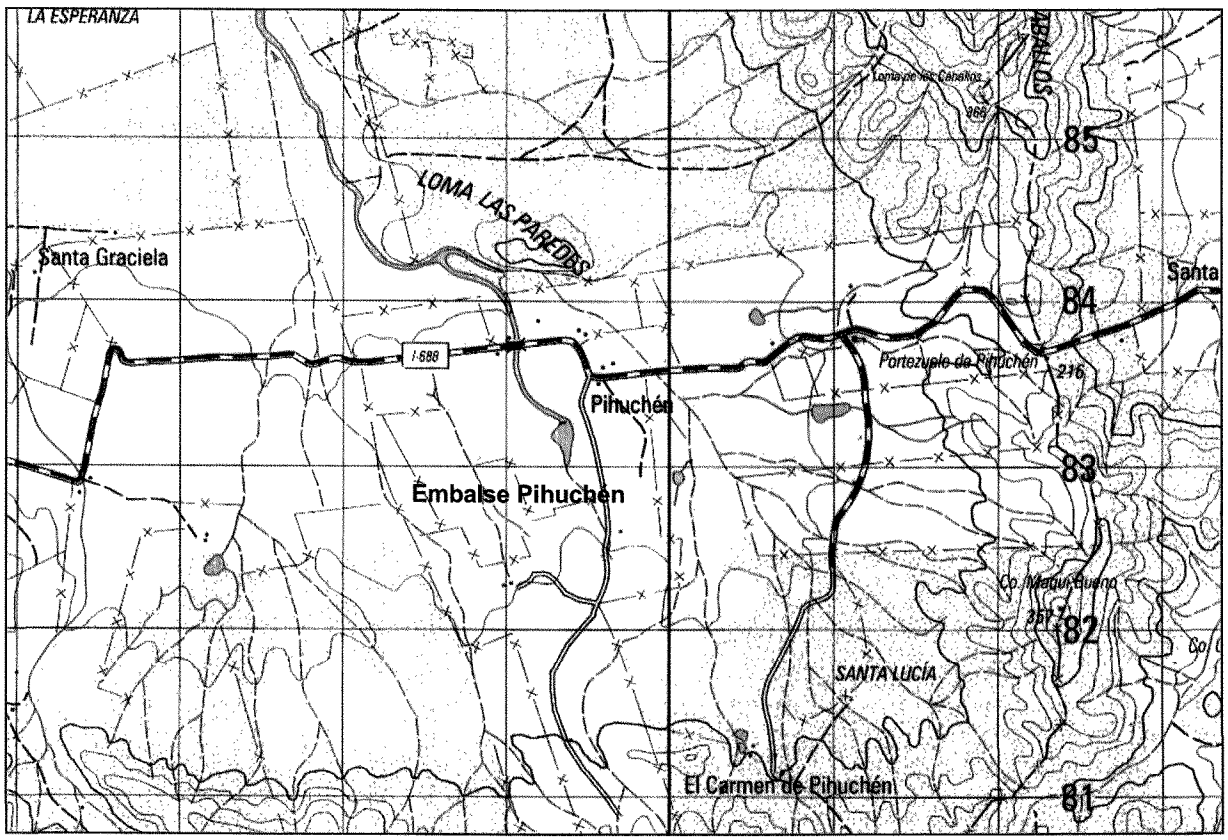
24.1 Ubicación

El embalse Pihuchén se ubica al sur de la comuna de Marchigue, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.183.235 Norte y 259.332 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 165 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Tinguiririca, subcuenca del estero Las Cadenas y la fuente corresponde al estero Grande de Pihuchén.

Para acceder al embalse se debe seguir desde la localidad de Población (sureste de Marchigüe) al sur por ruta I-50 hasta cruce con ruta I-668, hacia el poniente hasta cruce con ruta I-682, a 6 km hacia el Este de la localidad La Quebrada y del Estero del Monte.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 24.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE PIHUCHÉN



Fuente: Carta IGM

24.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a la Sucesión José Ravello. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1939.

El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea con una capacidad máxima de 0,035 hm^3. La altura máxima del muro es de 6,0 m, con una longitud de coronamiento de 230 m y ancho promedio del coronamiento de 1,2 m y borde libre de 0,2 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,28:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,11:1.

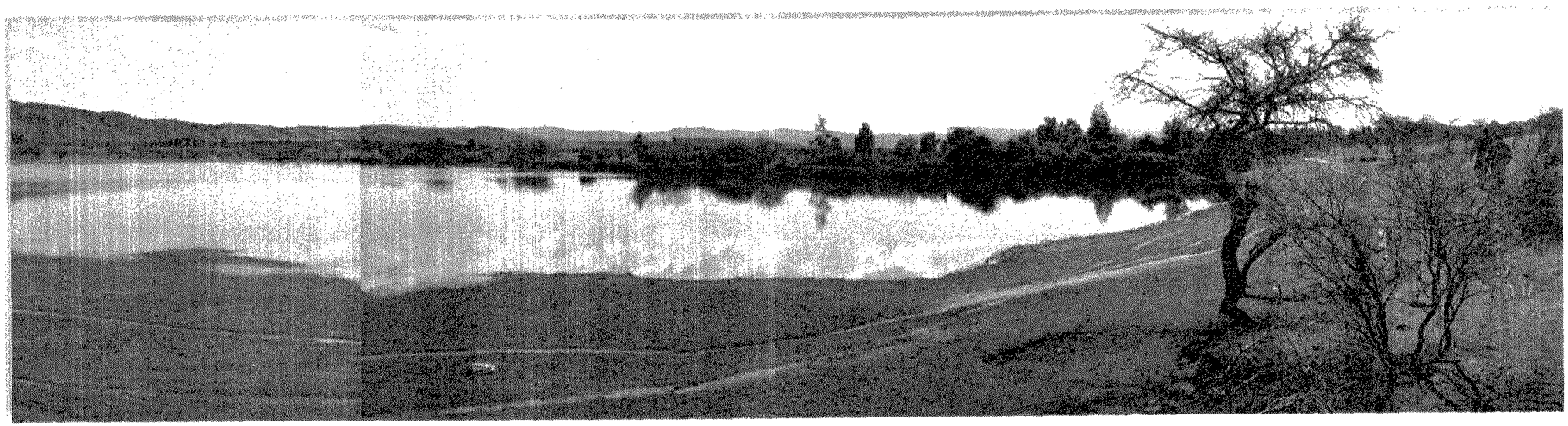
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a uno canal en tierra muy pequeño con un ancho medio de 4,2 m y 0,5 m de alto. No tiene estructura de control. Buen estado de mantención y operación.

La ***obra de entrega*** se ubica en el metro 45 desde el estribo derecho se ubica la obra de entrega compuesta por una tubería y en canal en tierra que conduce las aguas hasta los predios. La obra se encuentra en buen estado de mantención y operación.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 24.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE PIHUCHÉN





Vista panorámica Embalse Pihuchén

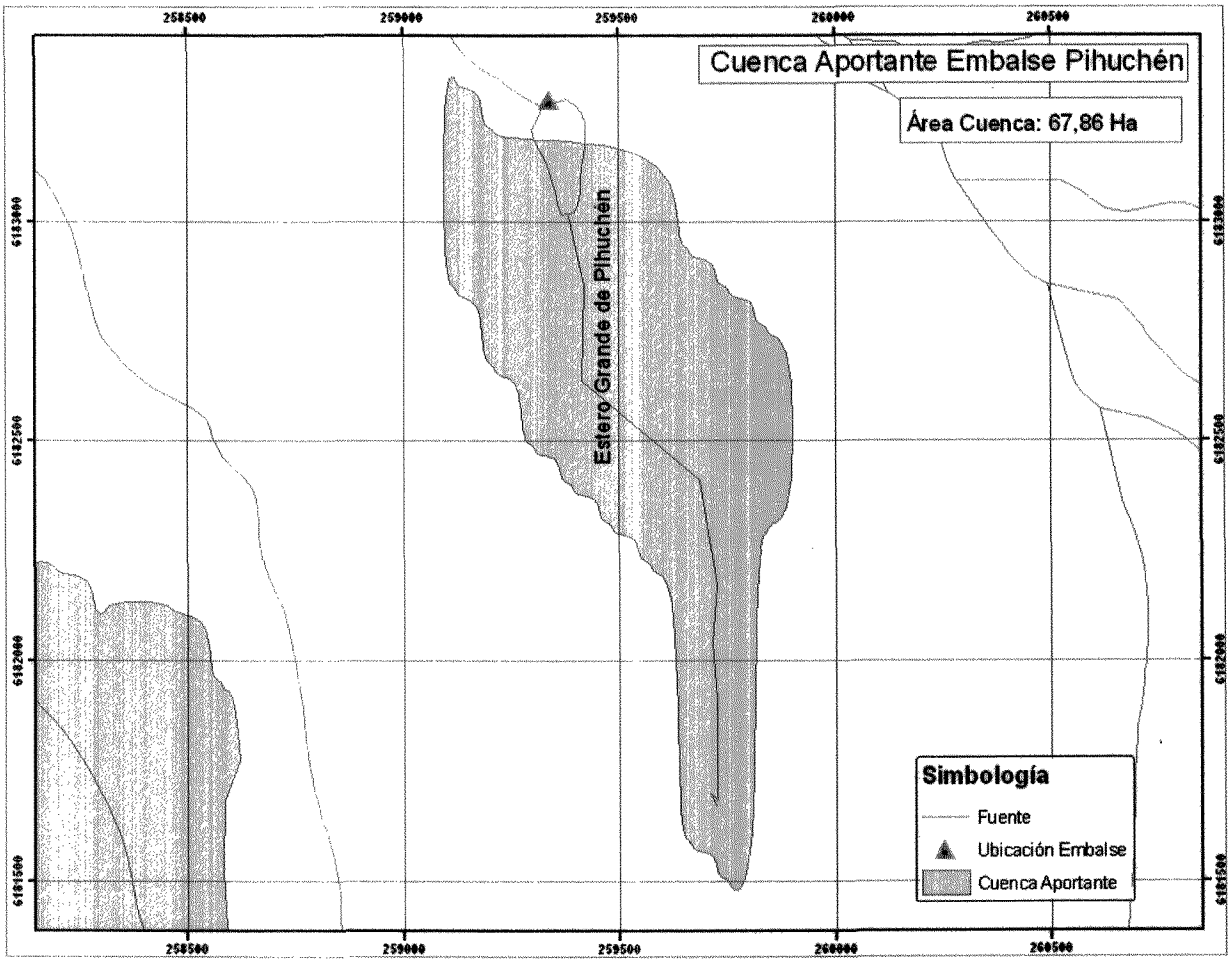
24.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse Pihuchén tiene como fuente al estero Grande de Pihuchén, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 0,68 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 24.3-1
CUENCA EMBALSE PIHUCHÉN



CUADRO 24.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		Pihuchén
SUPERFICIE (ha)	Total	67,9
	Pluvial	67,9
PERÍMETRO (m)	Total	5.340,0
	Pluvial	5.340,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	211,3
	Mínima	170,4
	Diferencia	40,9
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	2,5
	Cauce	1,7
LONGITUD CAUCE (km)	Total	1,02
	Desde centro de gravedad	0,51
CENTROIDE CUENCA	UTM E	259.499
	UTM N	6.182.740
	Altura (msnm)	180,4
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	259.433
	UTM N	6.183.062
	Altura (msnm)	176
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
Pihuchén	0,23	1,91	0,03	0,28	0,28

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
Pihuchén	Rapel	0,067	122,5	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno

P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años

Ap Área pluvial (km^2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
Pihuchén	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	5,8	0,5	1,9
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	7,8	0,7	3,2
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	8,9	1,3	4,1
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	9,6	1,5	4,8
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	10,2	1,7	5,4
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	10,6	1,9	5,8
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	11,9	2,3	7,0
	T=100	1	Cachapoal	1,5	13,1	3,0	8,9

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

Q_{10} Caudal medio diario máximo con período de retorno de 10 años (m^3/s)

$P_{24}^{T=10}$ Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años (mm)

Ap Área Pluvial de la cuenca (km^2)

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{\max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Pihuchen	0,28	1,09	1,48	1,69	1,90	2,05	2,54	3,10

➢ **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
Pihuchén	3,28	3,88	4,33

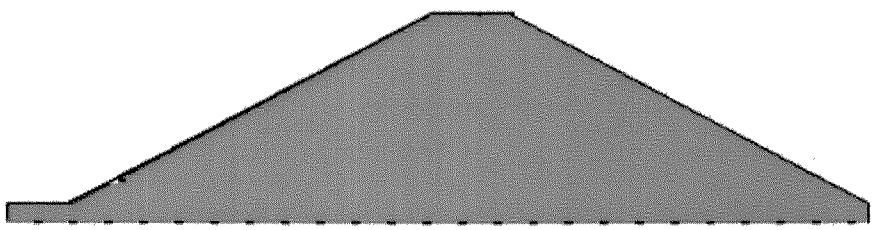
24.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arcilla arenosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	6,0 m
Ancho coronamiento	1,2 m
Borde libre	0,20 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,28 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,11 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 24.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 22°	2,2	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 24.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

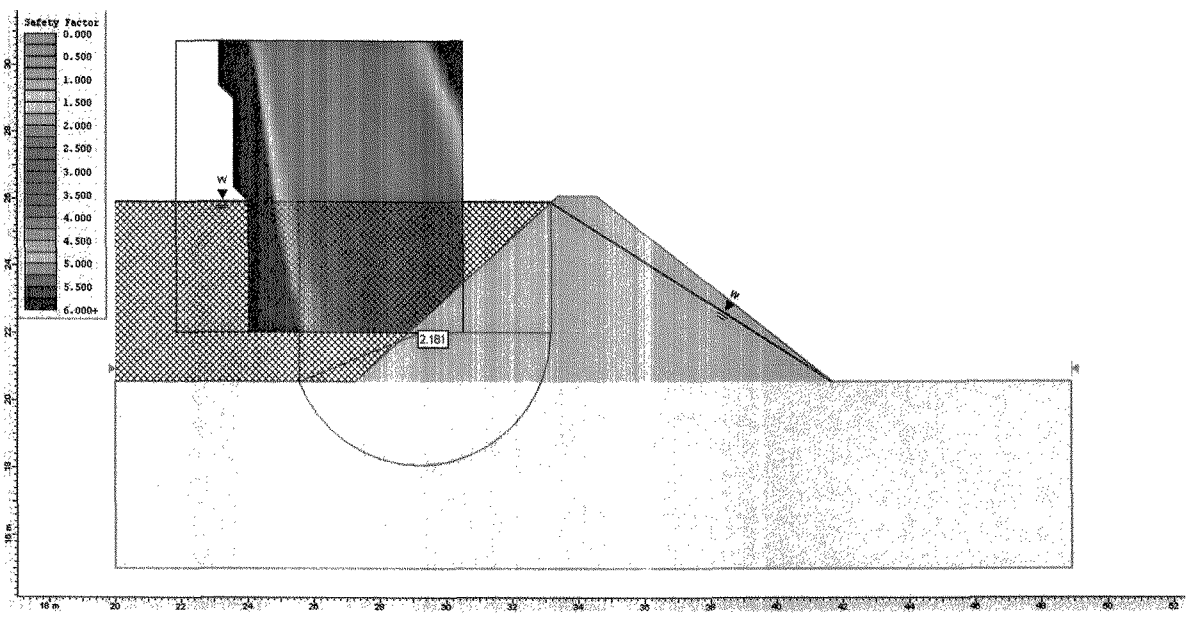


FIGURA 24.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

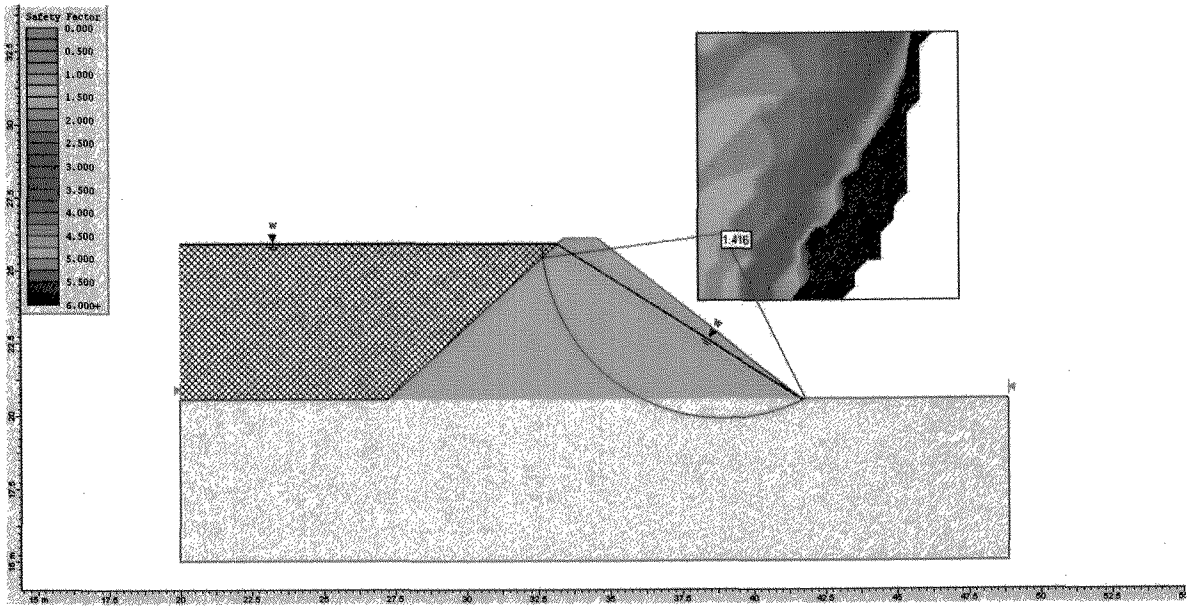


FIGURA 24.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

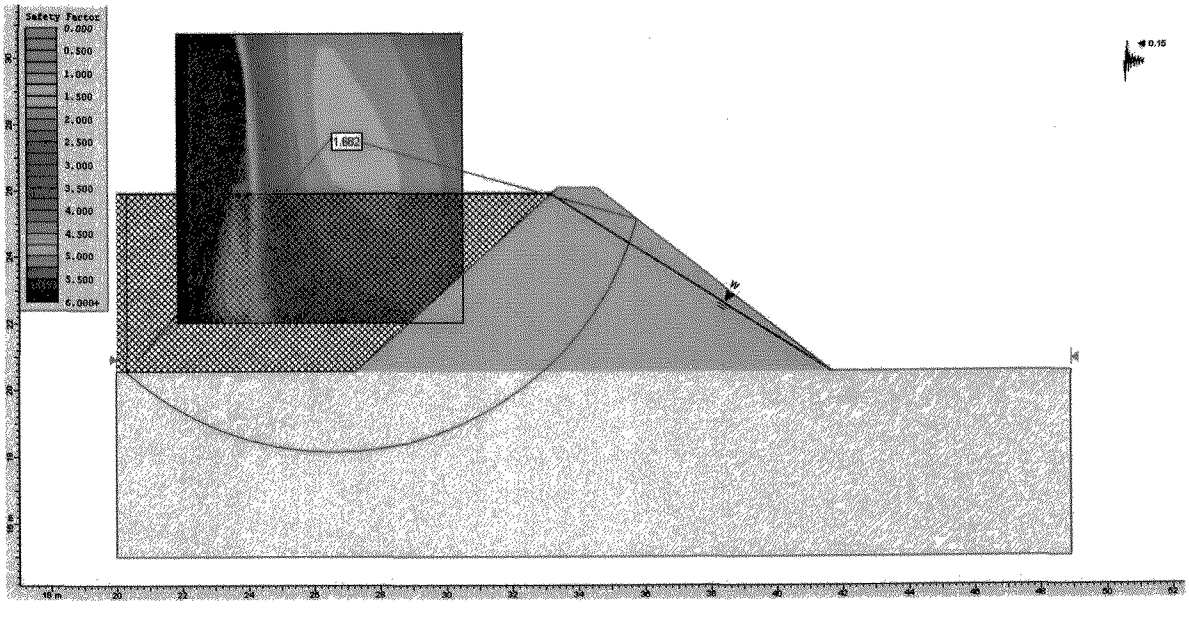


FIGURA 24.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

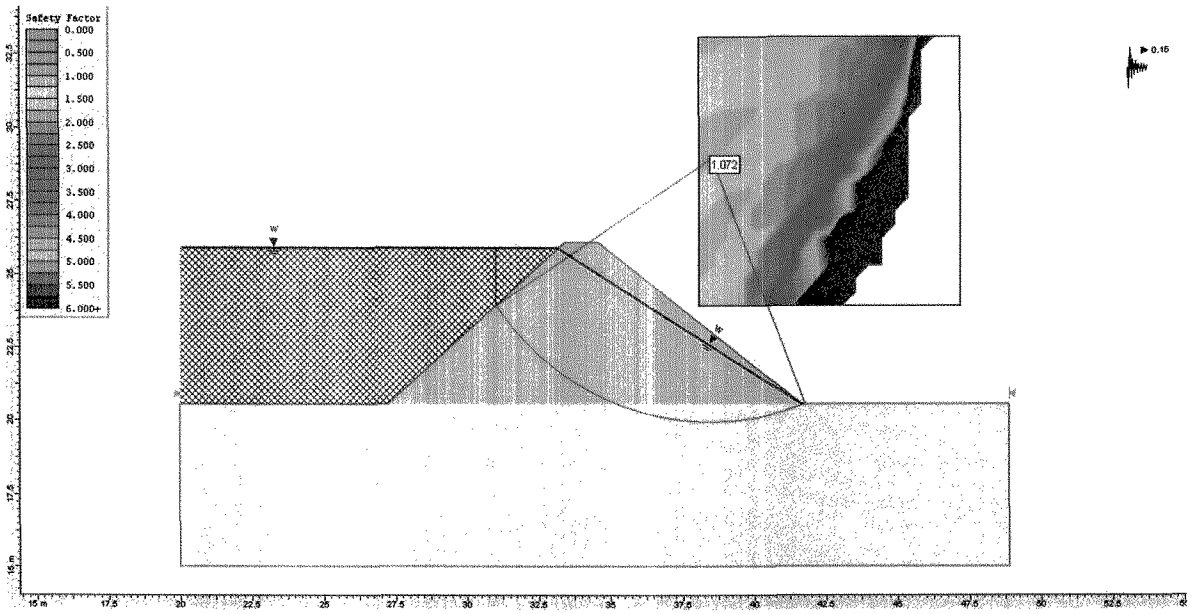


FIGURA 24.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

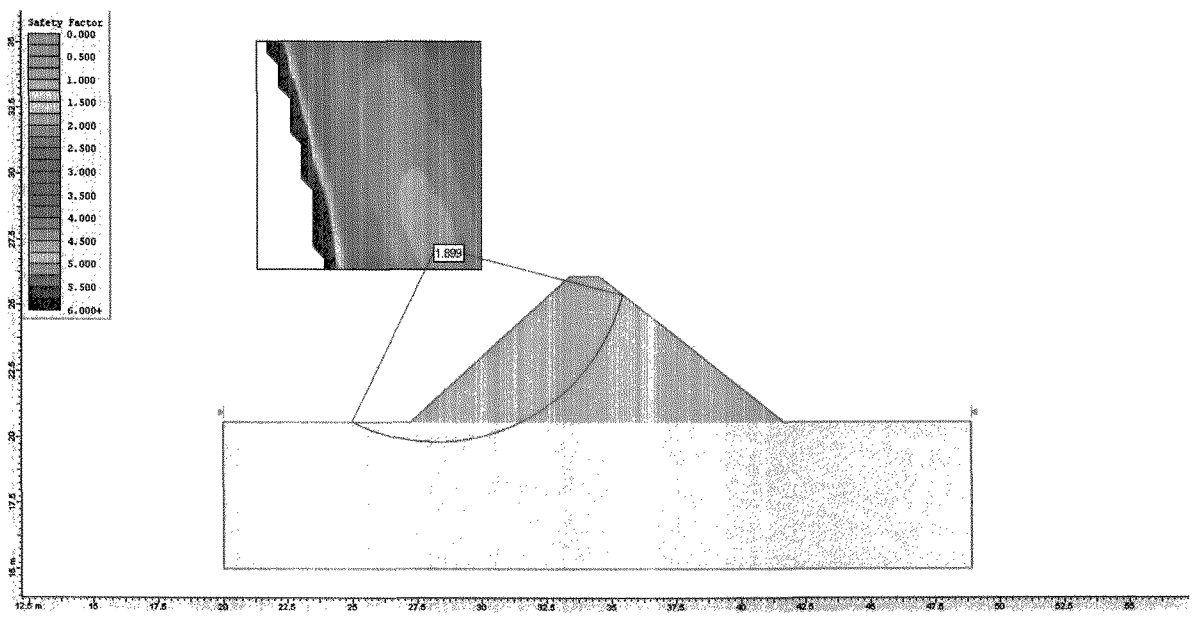


FIGURA 24.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

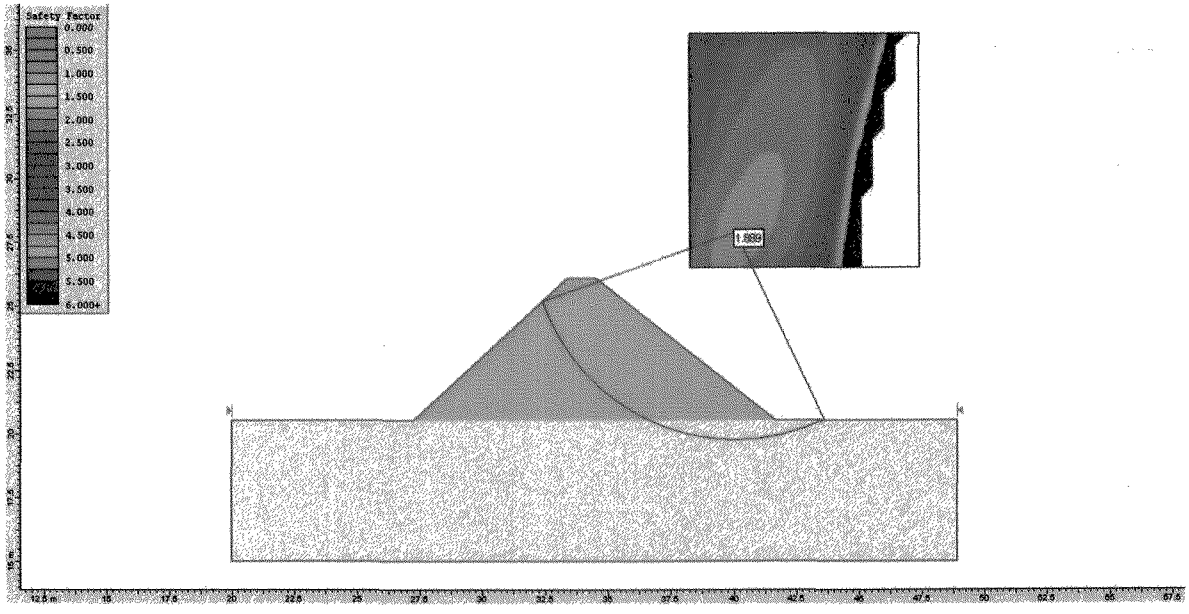


FIGURA 24.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

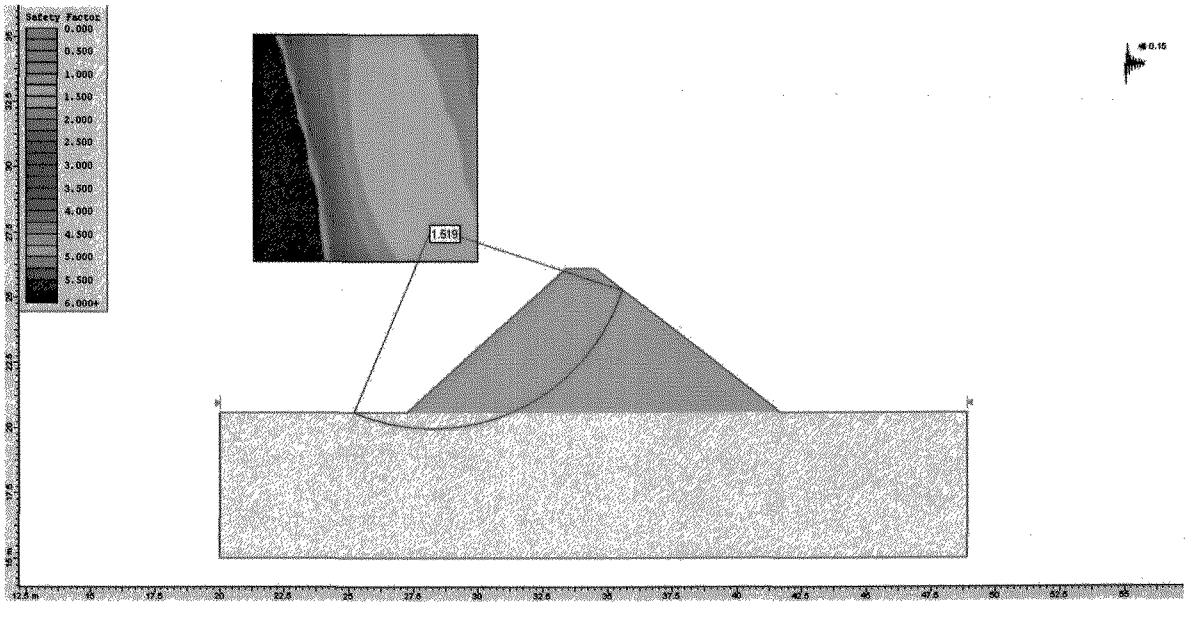
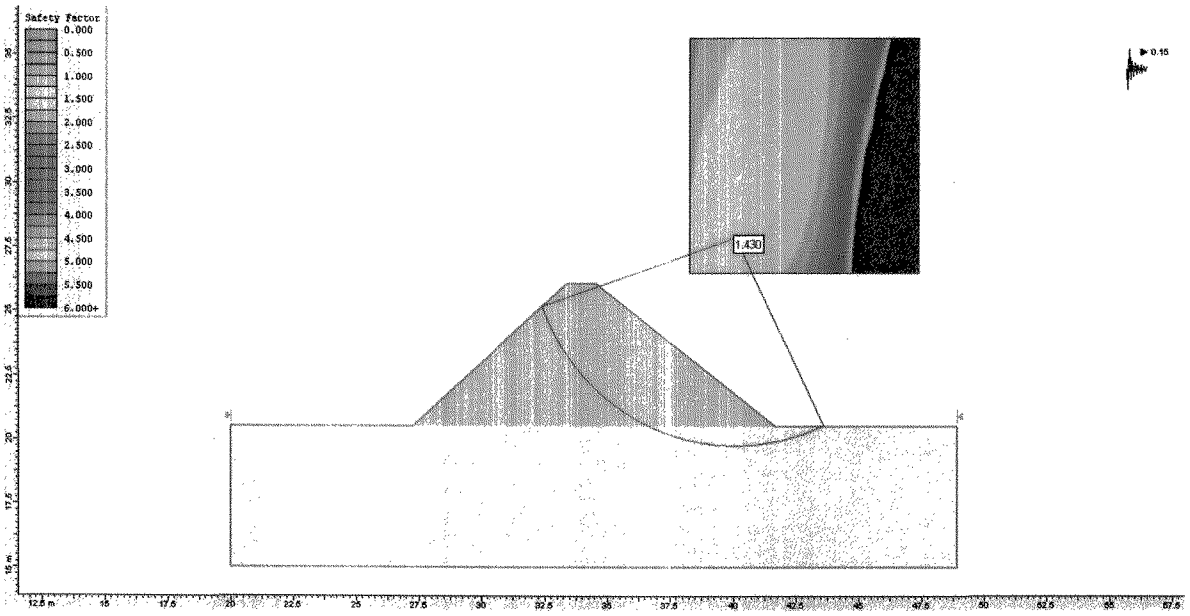


FIGURA 24.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 24.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Pihuchén	2,563	1,416	1,682	1,072

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
Pihuchén	1,899	1,899	1,519	1,430

24.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***Pihuchén***, se tiene:

Lh (m) =	15,6	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,70	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	5,82	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	Lh	Lv	L'	Ht	bl	h	C'	(C' h)	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
PIHUCHEN	15,6	0	5,20	6,0	0,2	5,822	1,70	9,9	No

24.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse Pihuchén.

PIHUCHEN
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	76	0,0472	0,0261
2	36	0,8090	0,6545	89	0,0553	0,0362
3	30	0,8660	0,7500	122	0,0758	0,0569
4	24	0,9135	0,8346	132	0,0820	0,0685
5	18	0,9511	0,9045	133	0,0826	0,0748
6	12	0,9781	0,9568	187	0,1162	0,1112
7	6	0,9945	0,9891	227	0,1411	0,1395
8	0	1,0000	1,0000	269	0,1671	0,1671
9	6	0,9945	0,9891	176	0,1094	0,1082
10	12	0,9781	0,9568	159	0,0988	0,0945
11	18	0,9511	0,9045	148	0,0920	0,0832
12	24	0,9135	0,8346	146	0,0907	0,0757
13	30	0,8660	0,7500	143	0,0889	0,0666
14	36	0,8090	0,6545	143	0,0889	0,0582
15	42	0,7431	0,5523	136	0,0845	0,0467
	Suma	**13,5109**			Suma	**1,2132**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,090 millas
F = 144,51 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,40	0,7322
Molitor	2,31	0,7049
Creager	0,79	0,2396
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **0,20 m**, se tiene que la altura de la ola superaría esta revancha.

24.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

24.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	

24.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**4,2**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,36	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**1,51**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	3,28	0,95	0,00	0,00
0,002	3,88	0,95	0,00	0,00
0,0010	4,33	0,95	0,00	0,00

24.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

24.7.4 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

24.7.5 Riesgo

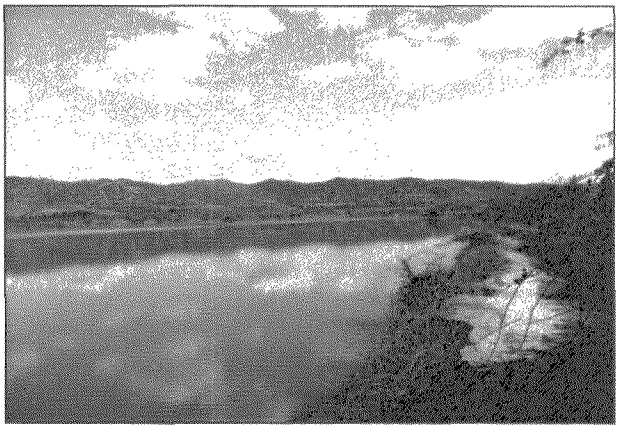
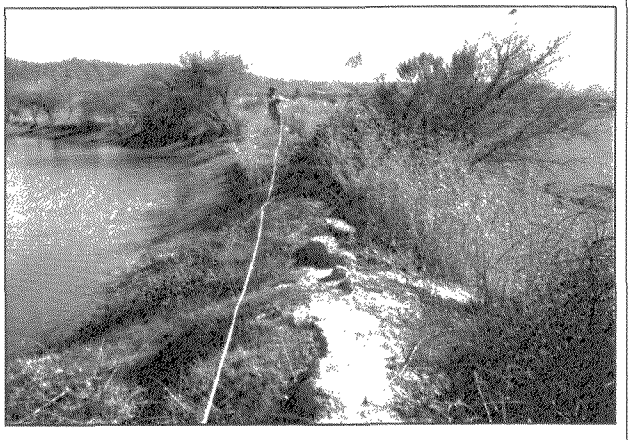
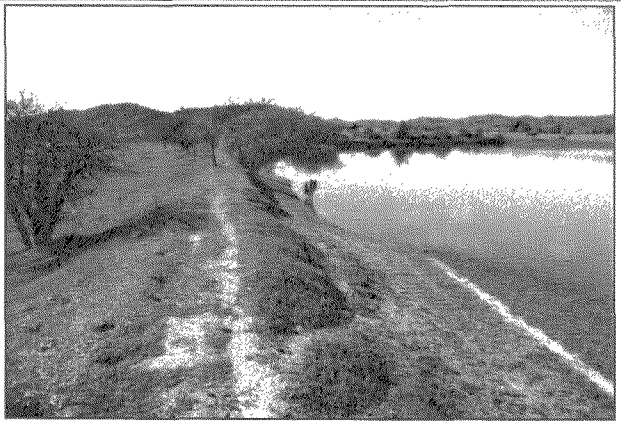
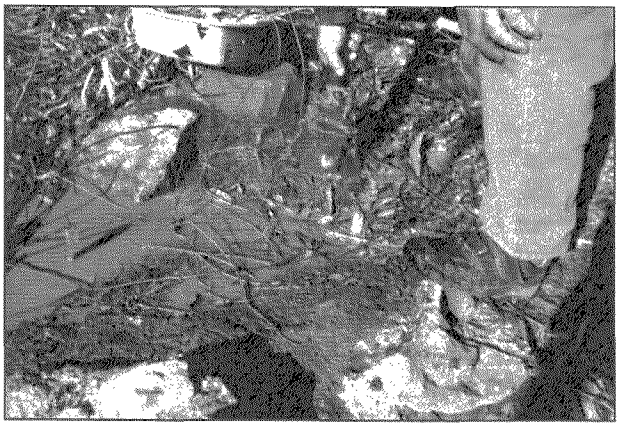
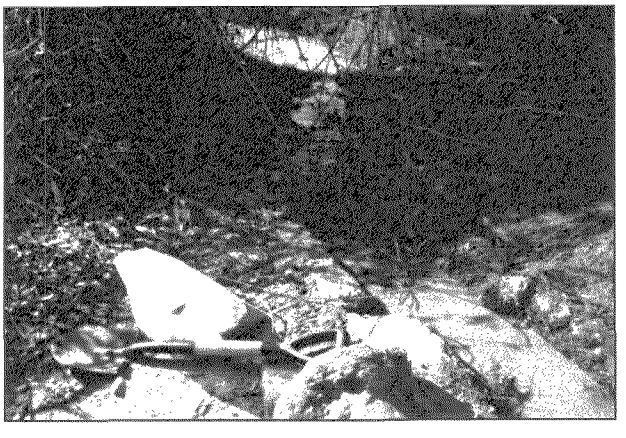
Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

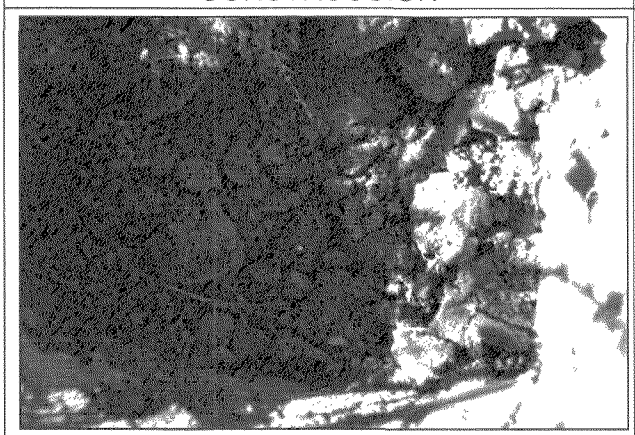
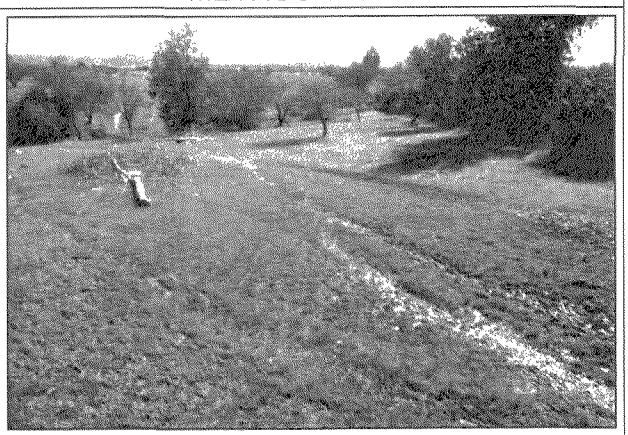
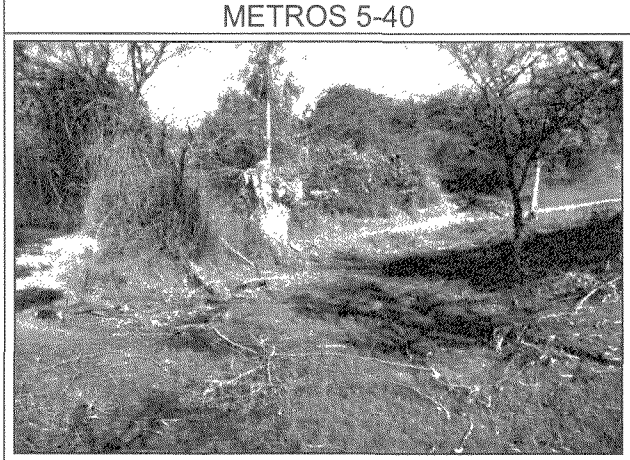
	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	2,40	0,48	0,19	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

24.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse Pihuchén.

VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO	VISTA MURO DESDE CENTRO A ESTRIBO IZQUIERDO
	
VISTA MURO DESDE ESTRIBO IZQUIERDO	ESPEJO DE AGUA
	
OBRA DE ENTREGA	OBRA DE ENTREGA
	

EVACUADOR DE CRECIDAS	EVACUADOR DE CRECIDAS
	
CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	ZONA DE FILTRACIÓN METROS 120-150
	
ZONA DE FILTRACIÓN METROS 5-40	SATURACIÓN METROS 1-20 ESTRIBO DERECHO
	

FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	Pihuchén
Propietario	Sucesión José Ravello
RUT Propietario	No existe, está en trámite
Año de construcción	1939
Reparación (SI) (NO)	NO
Año de reparación	-
Cuenca / Código DGA	Rio Tinguiririca
Subcuenca / Código DGA	Estero Las Cadenas
Fuente del recurso	Estero Grande de Pihuchen

Nº de ficha	24
Fecha (dd/mm/año)	28-09-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.183.305	E= 259.388
Coordenadas UTM Centro	N= 6.183.235	E= 259.332
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.183.110	E= 259.315
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 165; C = 165; EI = 165	

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Con huincha			
Longitud del coronamiento (m)		230	
Ancho del coronamiento (m)	ED = 1,7	C = 0,7	EI = 1,3
Desarrollo del talud aguas abajo (m)		9,00	
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)		0,20	
Paramentos verticales		NO	
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 46°	C = 43°	EI = 36°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 46°	C = 38°	EI = 30°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

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)	5,80
Área estimada o calculada de la poza (m2)	24.000
Ancho máximo de la poza (km)	0,15
Largo de la poza (km)	0,16
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,035

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		SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado		SI
Coordenadas UTM	N= 6.183.235 E= 259.332	SI
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)		Arcilla Arenosa

7-B. ESTADO DEL MURO Y CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN	*Describir*
Regularidad de la geometría actual	Irregular en ambos taludes, el muro es muy delgado
Compacidad del material estructural	Bajo
Uniformidad de los taludes	Irregulares
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	Muy ondulado, es difícil caminar por el coronamiento
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas, solo cárcavas y socavaciones aguas arriba a lo largo de todo el largo del muro
Indicios de deslizamientos y ubicación	No se presentan deslizamientos
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	Se presenta un sector saturado en el estribo derecho del embalse con un largo de 10 mts y la altura del agua es de 1 cm (ver álbum fotográfico)
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	Se presentan filtraciones en los metros 4 al 40 y 120 al 150 (ver álbum fotográfico)
Tipo de revestimiento del muro	Tierra Compactada

8. CARACTERÍSTICAS OBRAS EVACUADOR DE CRECIDAS

Por su localización en relación a la estructura principal:	
Vertederos frontales	X
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:	
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 en tierra muy pequeño
Material constructivo	Tierra
Estado de conservación y operatividad	En buen estado de conservación, operativo
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	Ancho: 4,20 mts; Alto: 0,50 mts

9. CARACTERÍSTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

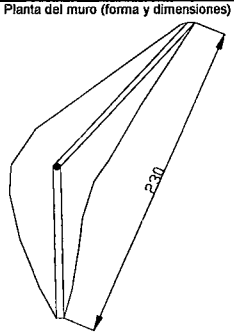
Tipo de estructura	En el metro 45 desde el estribo derecho se ubica la obra de entrega compuesta por una tubería y en canal en tierra que conduce las aguas hasta los predios
Mediciones estructurales	0,30 de Ancho por 0,30 de Alto
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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	Cauce natural, terrenos agrícolas, pendiente media 0,9%, ancho medio cauce 4 mts
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	0,8 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	0,8 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,58 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	5 ha

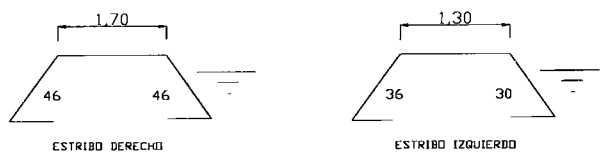
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

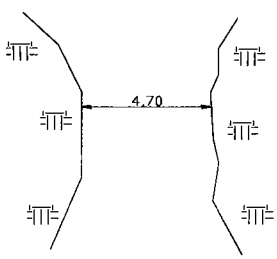


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

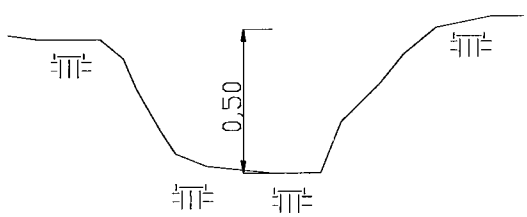
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha, indicando sus taludes



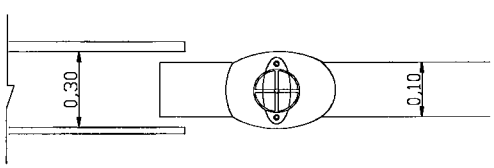
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



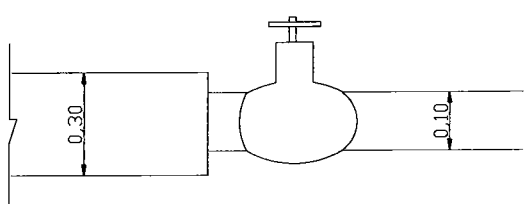
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de entrega y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El talud aguas arriba se encuentra muy socavado por oleaje

El muro del embalse es bajo, delgado y posee taludes irregulares, en algunos lugares el coronamiento posee cuevas de ratones

La filtración del tranque se encuentra ubicada bajo la obra de entrega (metro 40) la que esta ubicada en la continuación de la quebrada donde el tranque se llena. Además se ubica el mayor desarrollo

EMBALSE LA ESPERANZA

CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR DE EMBALSES REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

ÍNDICE INFORME FINAL

PARTE B: CATASTRO DE EMBALSES

25. EMBALSE LA ESPERANZA

25.1 Ubicación

25.2 Características Generales

25.3 Crecidas Afluentes al Embalse

- a) Características de la cuenca
- b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

25.4 Análisis de Estabilidad

- a) Taludes del embalse
- b) Modelación de la presa
- c) Parámetros de resistencia al corte
- d) Resultados gráficos estabilidad de taludes
- e) Factores de seguridad

25.5 Determinación de Filtraciones

25.6 Verificación del Oleaje

25.7 Análisis de Riesgo (Hazop)

25.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

25. EMBALSE LA ESPERANZA

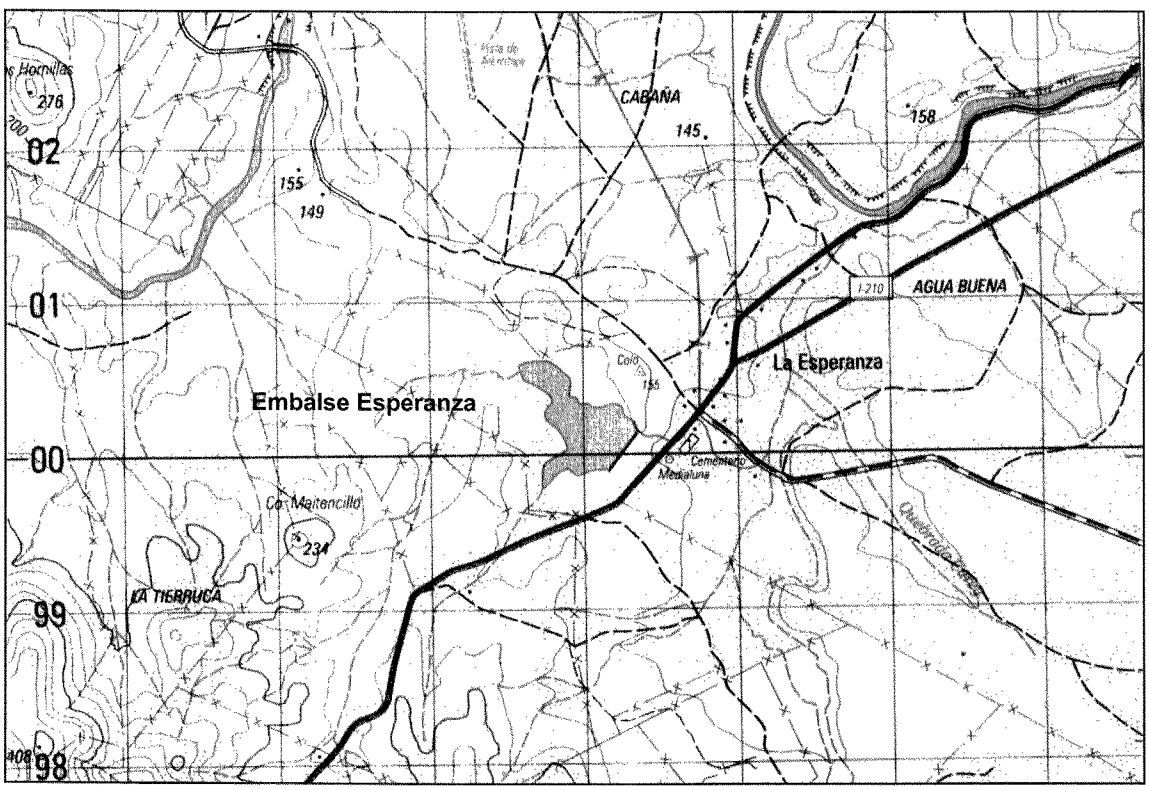
25.1 Ubicación

El embalse La Esperanza se ubica en la comuna de Marchigue, provincia de Cardenal Caro, en las coordenadas UTM 6.200.007 Norte y 266.241 Este, Datum WGS 84 a una Altitud de 144 m.s.n.m. Se localiza en la cuenca del Río Rapel, subcuenca del Río Tinguiririca y la fuente corresponde al estero La Esperanza.

Al embalse se accede desde Marchigüe hacia el norte por la ruta I-76, aproximadamente 13 km. hasta hacienda La Esperanza, a 1 km del embalse Tierruca y 2,5 km del límite comunal con La Estrella.

En la figura siguiente se presenta el plano de ubicación del embalse.

FIGURA 25.1-1
PLANO DE UBICACIÓN SITIO DE EMBALSE LA ESPERANZA



Fuente: Carta IGM

25.2 Características Generales

El ***embalse*** corresponde a un tranque de tierra perteneciente a Soc. Agric. Ganadera Forestal Las Cruces Ltda. El uso y destino del embalse es de riego y fue construido en el año 1986.

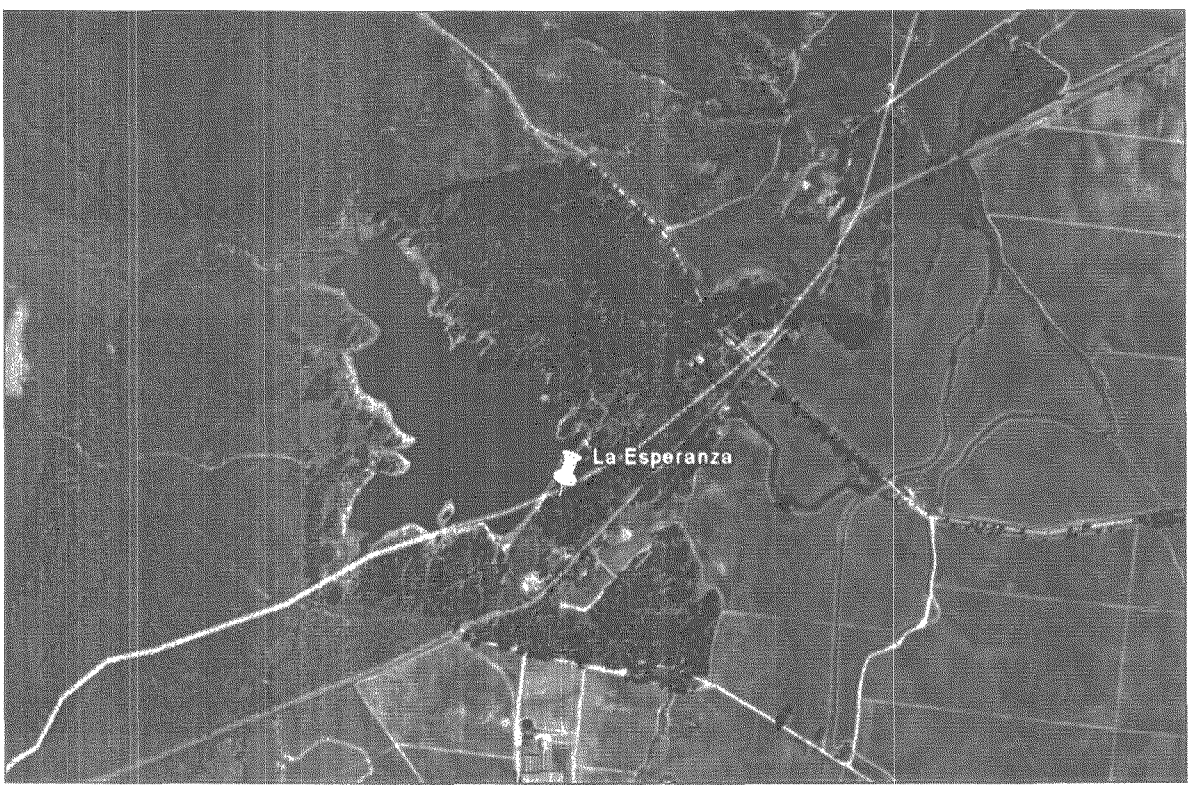
El ***tipo de presa*** es de tierra homogénea de una capacidad máxima de 0,974 hm^3. La altura máxima del muro es de 19,7 m, con una longitud de coronamiento de 250 m y ancho promedio del coronamiento de 6,5 m y borde libre de 1,2 m. El Talud Aguas Arriba es H:V=1,11:1 y el Talud Aguas Abajo es H:V=1,15:1.

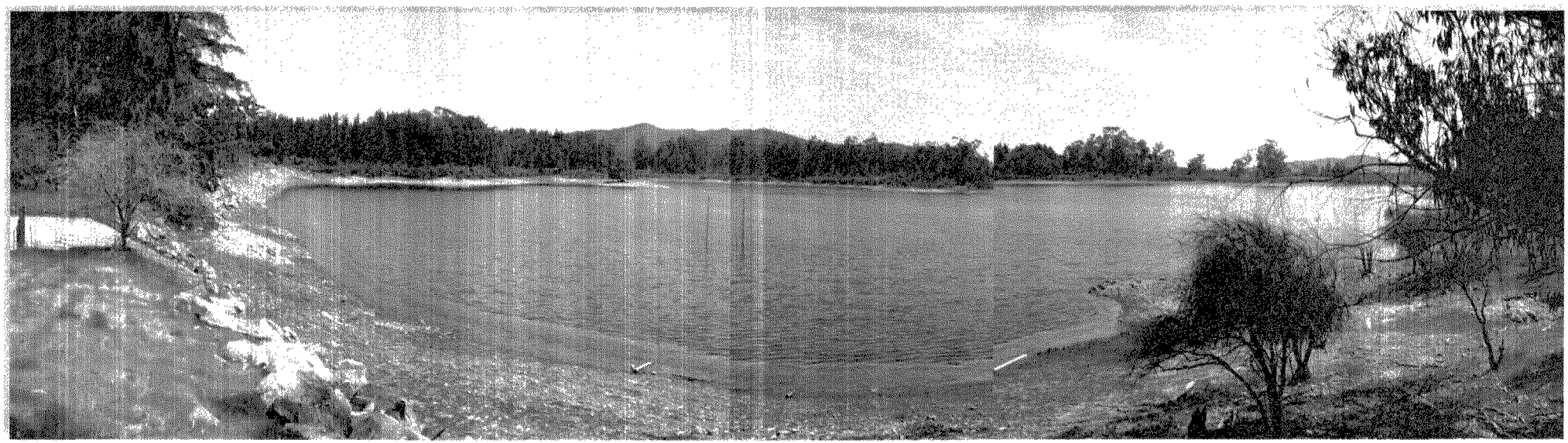
El ***evacuador de crecidas*** corresponde a un vertedero frontal de caída libre, de ancho medio de 11,6 m, 19,6 m de largo y 6 m de alto. No tiene estructura de control. En buen estado de conservación, operativo. En este momento se están enaltanldo las paredes laterales.

La ***obra de entrega*** corresponde a una tubería de fierro de 300 mm de diámetro controlada por válvula de volante que entrega a 2 tubos de HDPE de 300 m de largo que entregan directamente a canal revestido de dimensiones 1,0 mts de ancho por 0,80 m de profundidad. La obra se encuentra en operación.

En la figura siguiente se presenta una imagen satelital del sitio de embalse.

FIGURA 25.2-1
IMAGEN SATELITAL EMBALSE LA ESPERANZA





Vista panorámica Embalse La Esperanza

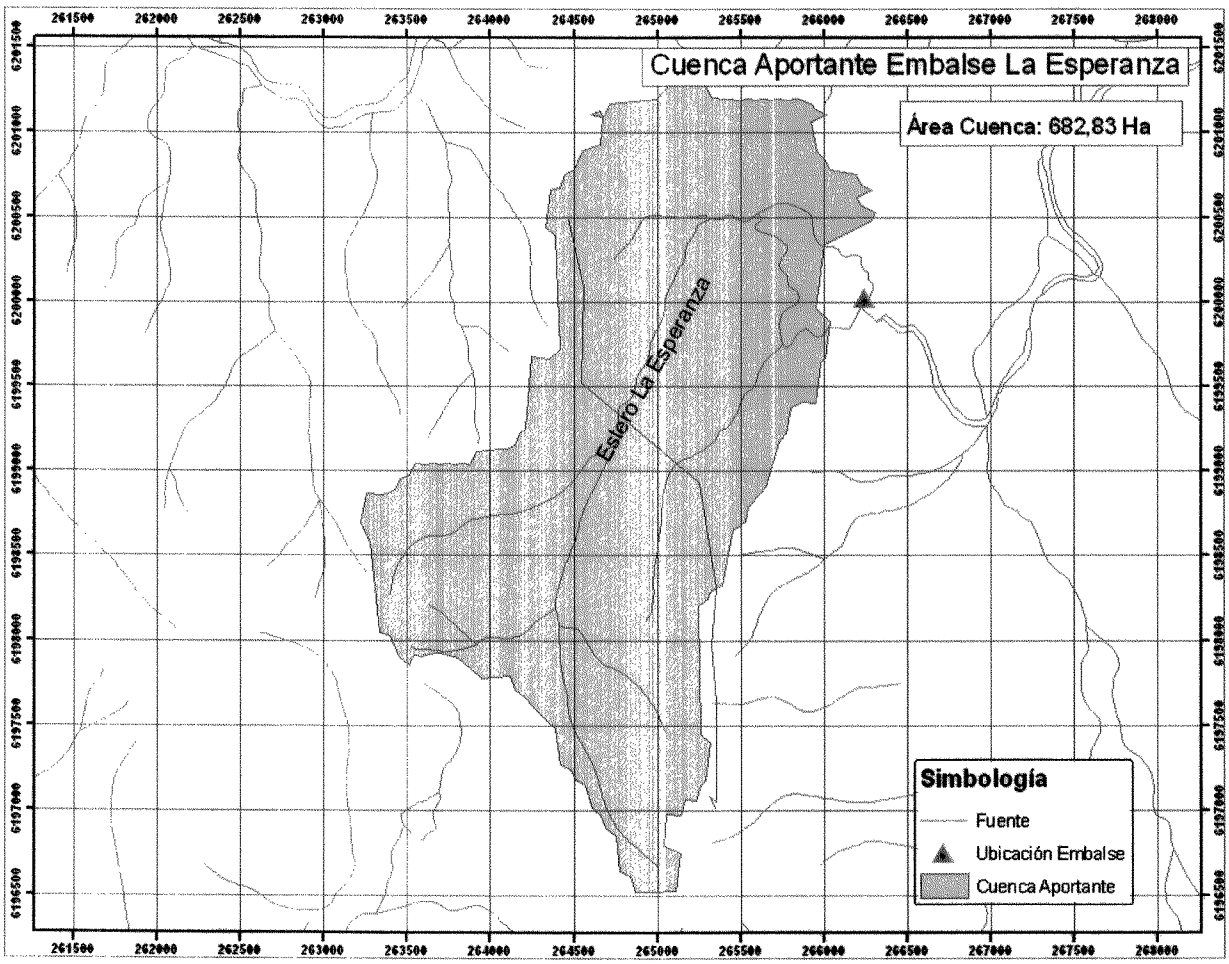
25.3 Crecidas Afluentes al Embalse

a) Características de la cuenca

La cuenca del embalse La Esperanza tiene como fuente al estero La Esperanza, el cual no posee control fluviométrico, por lo tanto, para determinar los caudales de crecidas asociados a distintos períodos de retorno se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación – escorrentía.

La cuenca en estudio tiene una superficie de 6,83 km^2. En la figura y cuadro siguiente se visualizan las características principales de la cuenca.

FIGURA 25.3-1
CUENCA EMBALSE LA ESPERANZA



CUADRO 25.3-1
PARÁMETROS MORFOLÓGICOS CUENCA

		La Esperanza
SUPERFICIE (ha)	Total	682,8
	Pluvial	682,8
PERÍMETRO (m)	Total	18.840,0
	Pluvial	18.840,0
ALTURA CUENCA (msnm)	Máxima	292,9
	Mínima	139,6
	Diferencia	153,2
PENDIENTE MEDIA (%)	Cuenca	7,4
	Cauce	5,6
LONGITUD CAUCE (km)	Total	6,23
	Desde centro de gravedad	3,12
CENTROIDE CUENCA	UTM E	264.764
	UTM N	6.198.910
	Altura (msnm)	186,2
CENTRO DE GRAVEDAD CAUCE	UTM E	264.747
	UTM N	6.199.249
	Altura (msnm)	167
DATUM		WGS 84

b) Estimación de Caudales Máximos Instantáneos

➢ Tiempo de Concentración

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se utilizó la fórmula del California División of Highways and Public Works de EEUU, Giandotti, y otras cuyas expresiones se señalan a continuación.

Fórmula de California: $$t_c = 0.95\left(\frac{L^3}{H_{máx}}\right)^{0.385}$$

Fórmula de Giandotti: $$t_c = \frac{4\cdot\sqrt{A}+1.5\cdot L}{0.8\sqrt{Hg}} \quad (hrs); \quad con \ \frac{L}{5{,}4} \le t_c \le \frac{L}{3{,}6}$$

Fórmula de Ventura - Heras: $tc = 0.05\cdot\sqrt{\frac{A}{J}}$

Fórmula de Témez: $$tc = 0.3\cdot\left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0.75}$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en km.
Hmáx= Diferencia de cota entre el punto más alto de la cuenca y el punto de descarga, expresada en m.
A = Área cuenca en km².
J = Pendiente del cauce (%).
Hg= Diferencia entre la cota media de la cuenca y el punto de salida expresada en m.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Embalse	Tiempo de Concentración (h)				Valor Adoptado
	California	Giandotti	Ventura - Heras	Témez	Tc (h)
La Esperanza	1,13	3,63	0,06	0,86	0,86

➢ Precipitaciones Máximas

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 h se siguió la metodología propuesta en el estudio "Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991".

COEFICIENTES DE DURACIÓN, PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H EN T=10 AÑOS Y ZONA ASOCIADA AL COEFICIENTE DE FRECUENCIA

NOMBRE EMBALSE	Zona CD	CD en Tc	Pp(24 h,T=10)	Zona CF
La Esperanza	Rapel	0,135	90	Cachapoal

➢ Caudales de Crecidas

Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:
Q(T) Caudal generado en la cuenca en (m^3/s)
C(T) Coeficiente de Escorrentía
I_{tc}^{T} Intensidad de la precipitación para t igual al tiempo de concentración tc en (mm/h)
Ap Área pluvial de la cuenca tributaria (km^2).

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

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 media sobre la cuenca y el área aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C(T) Coeficiente empírico para diferentes períodos de retorno
- P_{24}^{T} Precipitación máxima en 24 h y período de retorno T años
- Ap Área pluvial (km2)

CAUDAL MÁXIMO EXPRESIONES RACIONAL Y VERNI - KING

EMBALSE	Período de retorno	C escorrentía	Zona CF	CF	Pp (T, tc)	Q(T) V-K	Q(T) Racional
La Esperanza	T=2	0,47	Cachapoal	0,6	8,6	2,7	9,0
	T=5	0,60	Cachapoal	0,9	11,5	3,9	15,3
	T=11	0,68	Cachapoal	1,0	13,1	6,6	19,8
	T=15	0,73	Cachapoal	1,1	14,3	7,9	23,1
	T=20	0,77	Cachapoal	1,1	15,1	9,0	25,8
	T=25	0,80	Cachapoal	1,2	15,7	9,7	27,8
	T=50	0,87	Cachapoal	1,3	17,5	12,2	33,8
	T=100	1	Cachapoal	1,5	19,4	15,8	43,0

Análisis Regional de Crecidas (Método DGA-AC)

Corresponde a una metodología realizada en el estudio "Análisis de Eventos Hidrometereológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y Mínimos" AC Ingenieros Consultores Ltda., para estimar caudales máximos de crecidas, en base a curvas de frecuencias regionales establecidas para zonas hidrológicamente homogéneas.

$$Q_{10} = 5.42 \cdot 10^{-8} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3{,}432} \cdot (Ap)^{0{,}915}$$

Donde:

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

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{max}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde Q (T), corresponde al caudal instantáneo máximo según el período de retorno T y α toma el valor de 1,19.

FACTORES DE CAUDAL

T (años)	Q(T) / Q(10)
2	0,42
5	0,74
10	1
15	1,14
20	1,29
25	1,39
50	1,72
75	1,94
100	2,1

CAUDAL MÁXIMOS INSTANTÁNEO MÉTODO DGA-AC

Embalse	Q instantáneo máx (T), DGA-AC							
	2	5	10	15	20	25	50	100
La Esperanza	0,80	2,51	3,39	3,88	4,38	4,72	5,84	7,13

- **Extrapolación de caudales**

Finalmente, los caudales máximos instantáneos de crecidas, considerados de acuerdo al análisis de los resultados de las expresiones y dando prioridad a la seguridad, sin sobrestimar, son los encontrados por medio de la expresión de Verni-King, extrapolando para períodos de retorno de 200, 500 y 1000 años, los caudales indicados son los siguientes.

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO EXTRAPOLADO T AÑOS.

NOMBRE EMBALSE	CAUDALES MÁXIMOS EXTRAPOLADOS (m^3/s)		
	T=200	T=500	T=1000
La Esperanza	17,08	20,18	22,52

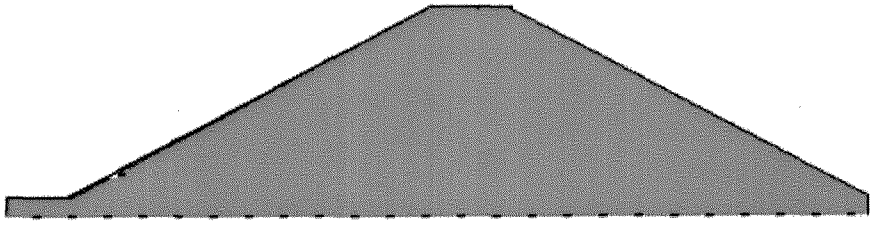
25.4 Análisis de Estabilidad

a) Taludes del embalse

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha considerado la geometría actual de cada embalse, la que fue obtenida en visitas a terreno efectuadas durante los meses de Agosto y Noviembre de 2009. En el siguiente cuadro se entregan las medidas geométricas, tanto para el talud aguas arriba como aguas abajo.

b) Modelación de la presa

Se considera una presa de tierra homogénea conformada por una arena arcillo limosa, cuya geometría se presenta en el esquema siguiente.



Los datos geométricos característicos son:

Altura:	19,7 m
Ancho coronamiento	6,5 m
Borde libre	1,2 m
Talud Aguas Arriba	H : V= 1,11 : 1
Talud Aguas Abajo	H : V= 1,15 : 1

c) Parámetros de resistencia al corte

Para el análisis de estabilidad se consideraron los parámetros de resistencia al corte indicados en el cuadro siguiente.

CUADRO 25.4-1
PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

MATERIAL	Angulo de fricción (°)	Cohesión (t/m^2)	Peso unitario seco (t/m^3)	Peso unitario saturado (t/m^3)
Muro presa Arcilla Limo Arenosa	ø = 26°	2,5	1,80	2,00

d) Resultados gráficos estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de ambos taludes de la presa se realizó con el programa de computación SLIDE desarrollado por la empresa Norte Americana Rocscience. Este programa utiliza una modelación seudo estática del problema permitiendo utilizar diferentes metodologías para el cálculo (Jambú, Bishop, Spencer, entre otros). Se analizó tanto el talud aguas arriba como el talud aguas abajo.

Para el análisis, se consideró las propiedades estratigráficas detectadas en terreno. El estudio de estabilidad considera los siguientes estados de carga:

Talud Aguas Arriba	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua
Talud Aguas Abajo	Estático	Con Agua
		Sin Agua
	Sísmico	Con Agua
		Sin Agua

A continuación se muestran los resultados gráficos obtenidos con el programa computacional SLIDE.

FIGURA 25.4-1
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO CON AGUA

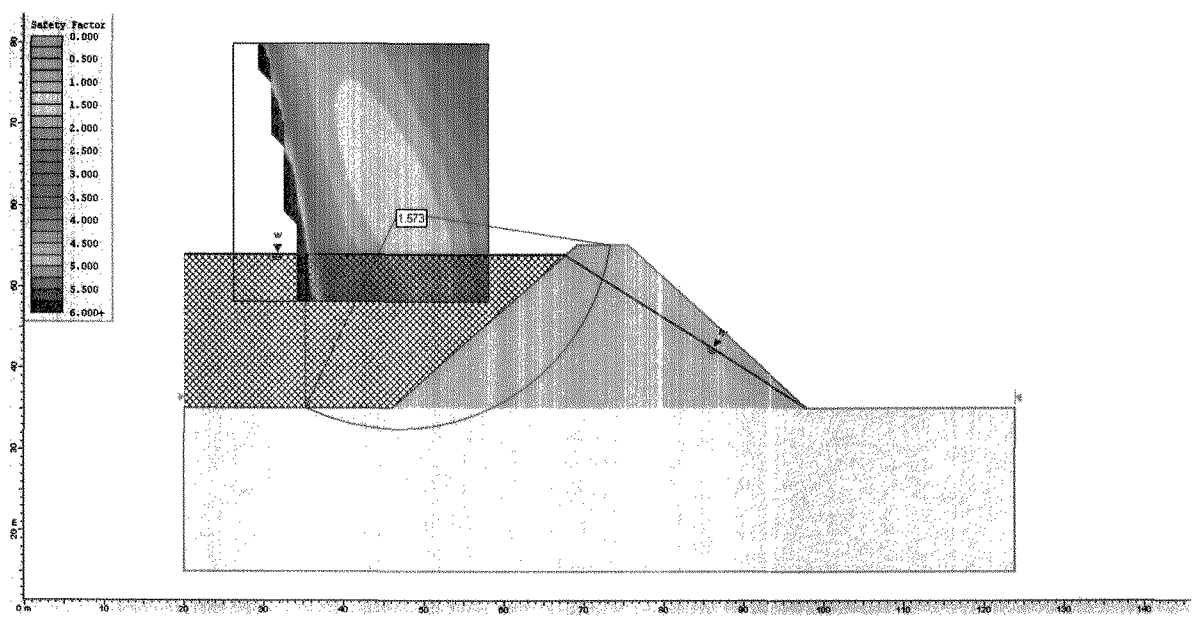


FIGURA 25.4-2
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO CON AGUA

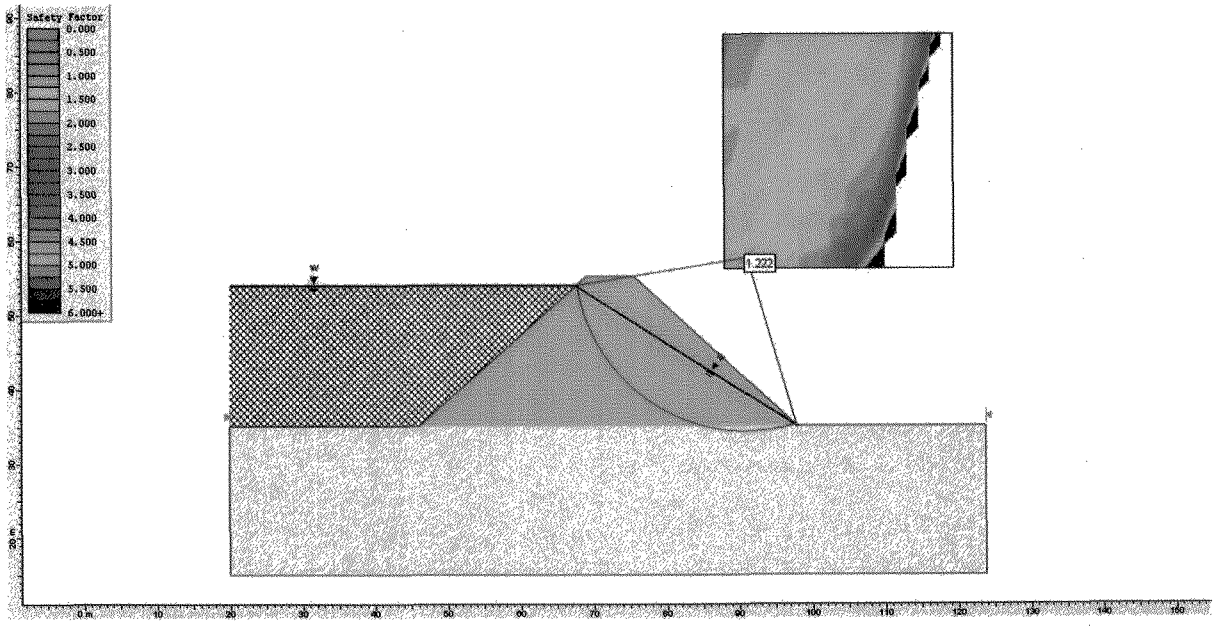


FIGURA 25.4-3
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO CON AGUA

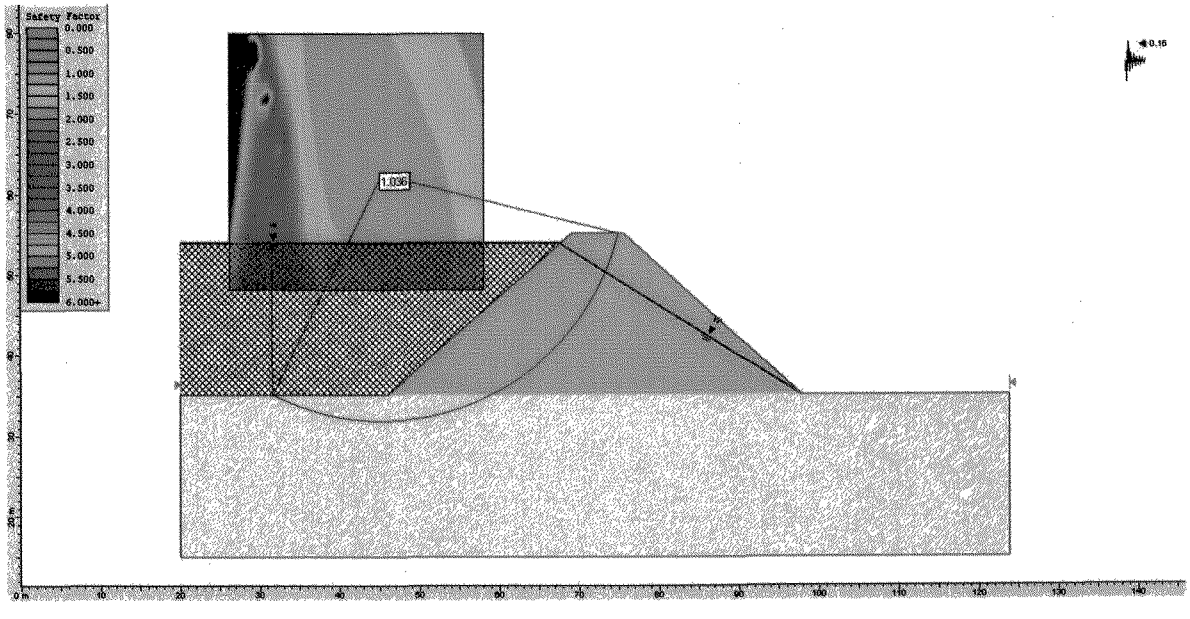


FIGURA 25.4-4
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO CON AGUA

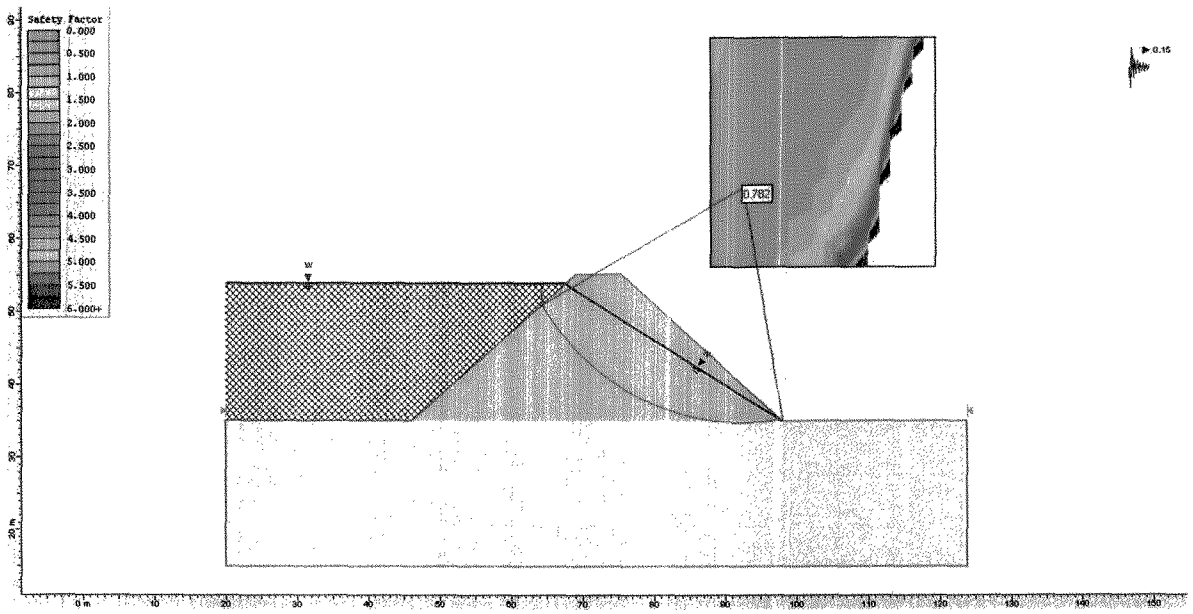


FIGURA 25.4-5
TALUD AGUAS ARRIBA - ESTÁTICO SIN AGUA

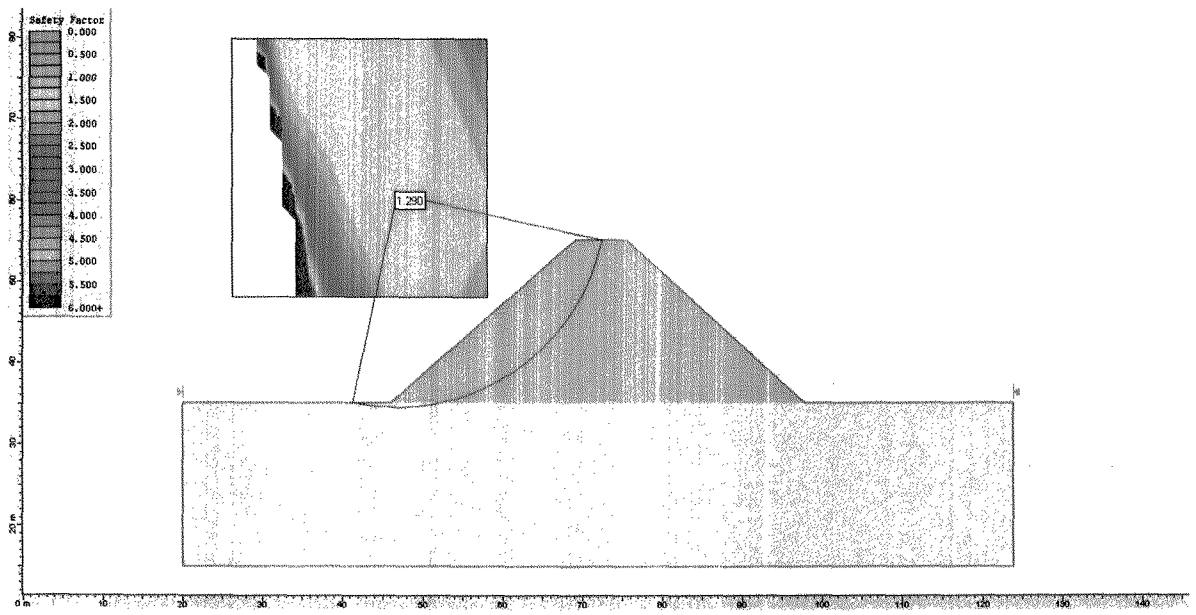


FIGURA 25.4-6
TALUD AGUAS ABAJO - ESTÁTICO SIN AGUA

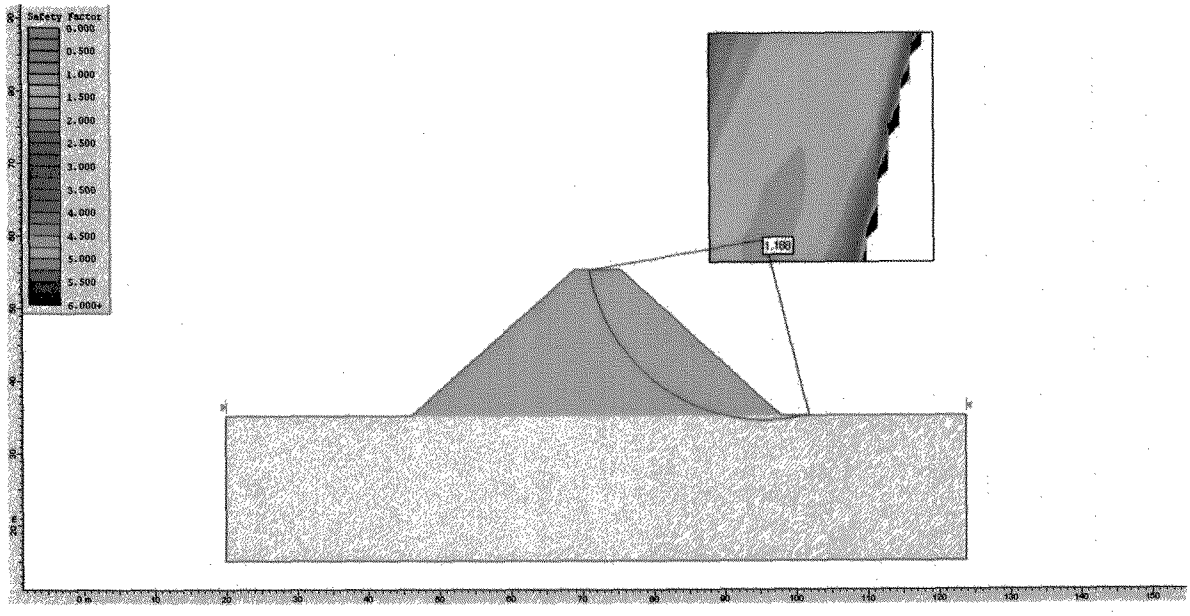


FIGURA 25.4-7
TALUD AGUAS ARRIBA - SÍSMICO SIN AGUA

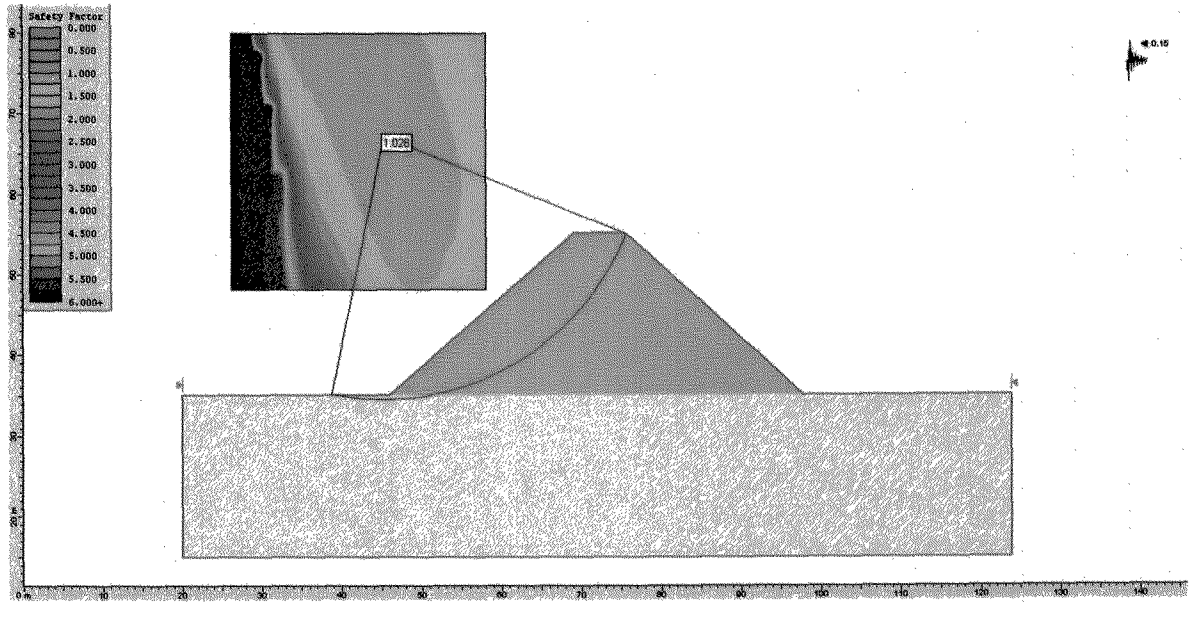
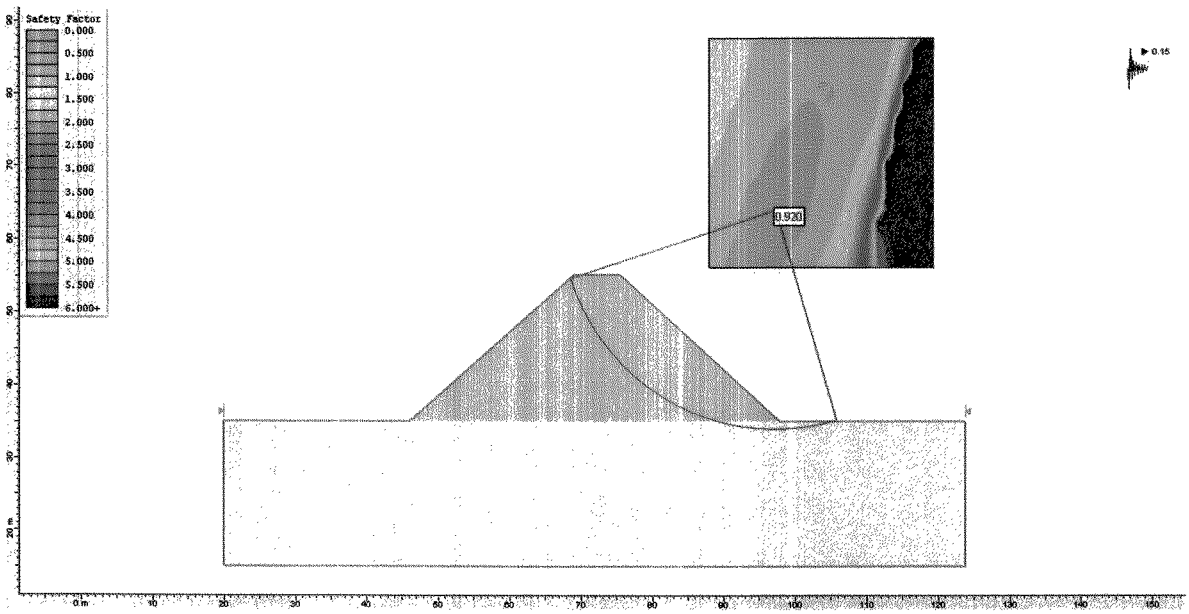


FIGURA 25.4-8
TALUD AGUAS ABAJO - SÍSMICO SIN AGUA



e) Factores de seguridad

Los factores de seguridad obtenidos para los casos analizados fueron:

CUADRO 25.4-2
FACTORES DE SEGURIDAD DE TALUDES

	Análisis con embalse lleno			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo	Aguas Arriba	Aguas Abajo
La Esperanza	1,573	1,222	1,036	0,782

	Análisis con embalse seco			
	Factor de seguridad 1,5		Factor de seguridad 1,1	
	Estático		Sísmico kh=0,12g	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
La Esperanza	1,290	1,188	1,028	0,920

25.5 Determinación de Filtraciones

Para determinar la filtración del tranque se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina o muro 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 45° y menor de 45°, respectivamente.

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

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

Para el caso del tranque ***La Esperanza***, se tiene:

Lh (m) =	51,0	Longitud horizontal en la base del tranque o embalse.
Lv (m) =	0	Longitud vertical en la base del tranque o embalse.
C' =	1,70	Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
h (m) =	18,48	Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba

De acuerdo con el criterio de Lane, en este caso **NO** se cumple la relación, por lo tanto, **SI** existe riesgo de filtraciones, según se detalla en la tabla siguiente.

Embalse	**Lh**	**Lv**	**L'**	**Ht**	**bl**	**h**	**C'**	**(C' h)**	Cumple Condición
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	L' ≥ C' h
LA ESPERANZA	51,0	0	17,01	19,7	1,2	18,482	1,70	31,4	No

25.6 Verificación del Oleaje

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{Ola}). Para efectos de cálculo se emplearon los criterios de Stevenson, Molitor, Creager y Bureau of Reclamation.

Se adjunta la planilla de cálculo de la revancha para el embalse La Esperanza.

LA ESPERANZA
CÁLCULO DE REVANCHA POR OLEAJE

Determinación de la Altura de la Ola

Linea Nº	Alfa	Cos(α)	Cos^2(α)	Distancia		Dist. * Cos2(α)
	º			m	millas	
1	42	0,7431	0,5523	266	0,1653	0,0913
2	36	0,8090	0,6545	333	0,2069	0,1354
3	30	0,8660	0,7500	335	0,2082	0,1561
4	24	0,9135	0,8346	352	0,2187	0,1825
5	18	0,9511	0,9045	345	0,2144	0,1939
6	12	0,9781	0,9568	454	0,2821	0,2699
7	6	0,9945	0,9891	812	0,5046	0,4990
8	0	1,0000	1,0000	875	0,5437	0,5437
9	6	0,9945	0,9891	588	0,3654	0,3614
10	12	0,9781	0,9568	616	0,3828	0,3662
11	18	0,9511	0,9045	572	0,3554	0,3215
12	24	0,9135	0,8346	421	0,2616	0,2183
13	30	0,8660	0,7500	401	0,2492	0,1869
14	36	0,8090	0,6545	372	0,2311	0,1513
15	42	0,7431	0,5523	456	0,2833	0,1565
	Suma	**13,5109**			Suma	**3,8340**

Fetch o longitud de acción del viento (F)

F = 0,284 millas
F = 456,68 m

Velocidad del Viento
v = 50 mph
v = 22,35 m/s

Fórmulas Empiricas

	Altura	
	pie	m
Stevenson	2,57	0,7831
Molitor	2,41	0,7347
Creager	1,20	0,3667
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Altura Máxima de Ola **0,95** m

De acuerdo a las mediciones realizadas en terreno con huincha, y que corresponde a la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas identificada, que para el caso de este embalse es de **1,20 m**, se tiene que la altura de la ola no superaría esta revancha.

25.7 Análisis de Riesgo (HAZOP)

Tal como se expuso en el Capítulo 7 de la metodología, el riesgo de falla se define por la relación:

$R = p\ V\ E$

Con:

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

Para este análisis se consideran 3 tipos de evento: Riesgo por sino, riesgo por escorrentía, y riesgo por piping. 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.

25.7.1 Evento Sísmico

Para efectos de análisis se considera que el sismo de diseño tiene una probabilidad de ocurrencia de 1 en 25 años o 0,04, que ha sido la frecuencia típica para grandes sismos en la zona central del país. 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	0,3
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	

25.7.2 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	1
Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9	
Canal en tierra	0,7	
No existe canal de descarga	0,1	

Capacidad evacuación:	**94,4**	m^3/s
Coeficiente capacidad	0,36	C1 x C2 x C3
Capacidad efectiva	**33,98**	m^3/s

Posteriormente, la capacidad efectiva se compara con las crecidas asociadas a diferentes períodos de retorno, tal como fue determinado en el estudio hidrológico, y se asignan vulnerabilidades según el siguiente cuadro:

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	Crecida Nival (m^3/s)	Vulnerabilidad
0,01	17,08	0,05	0,00	0,00
0,002	20,18	0,05	0,00	0,00
0,0010	22,52	0,05	0,00	0,00

25.7.3 Evento de Piping

Para el evento de piping se tiene que la probabilidad de ocurrencia viene dada por:

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

Por otra parte, la vulnerabilidad asociada al piping está dada por:

Riesgo de piping según situación del muro	Riesgo "p"	Valor adoptado
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	0,2
Si existe sistema de drenaje	0	
Si el material es cohesivo	0,05	

25.7.4 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

25.7.5 Riesgo

Combinando los factores previamente definidos, se tiene que

	Riesgo Sismo	Riesgo Escorrentía						Riesgo Piping
		Pluvial			Nival			
Riesgo	1,20	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	1,00

Tal como se indicó en el Capitulo 7, el riesgo por piping solo es válido cuando el embalse está recién construido, por lo que no se considera para efectos de riesgo. De esta manera el riesgo de esta obra está dado por el riesgo mayor, que en este caso corresponde al riesgo sísmico.

25.8 Álbum Fotográfico y Fichas de Catastro

A continuación se adjunta el álbum fotográfico correspondiente y la ficha que recoge la información del catastro del Embalse La Esperanza.

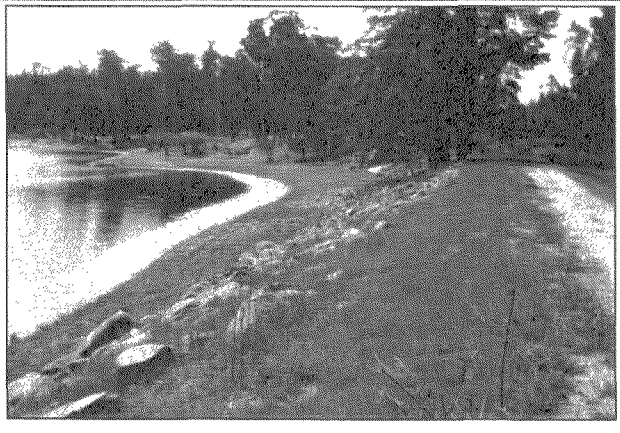
VISTA MURO DESDE ESTRIBO DERECHO



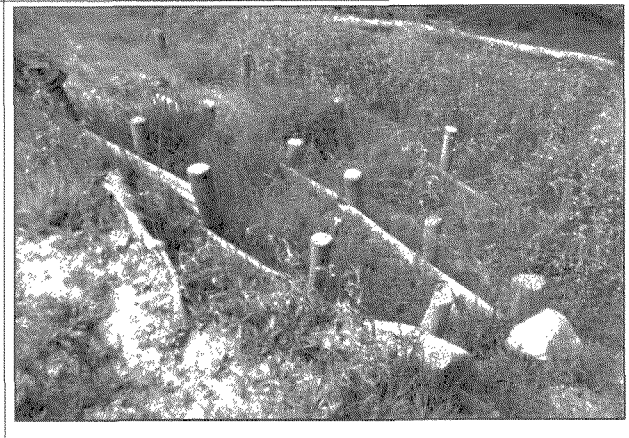
VISTA MURO DESDE ESTRIBO IZQUIERDO



VISTA TALUD AGUAS ARRIBA



ZONA DESLIZAMIENTO CON PROTECCIÓN



OBRA DE ENTREGA



OBRA DE ENTREGA



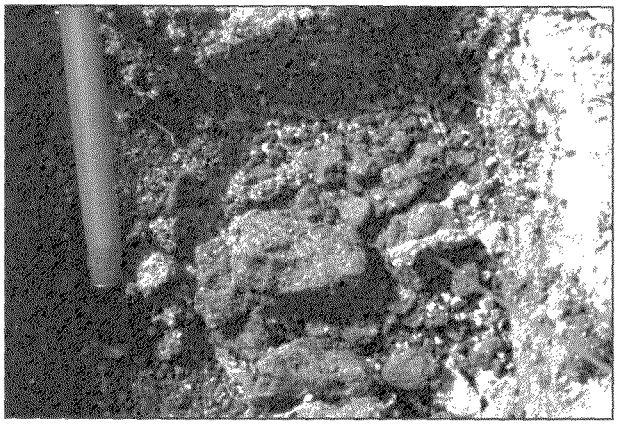
EVACUADOR DE CRECIDAS



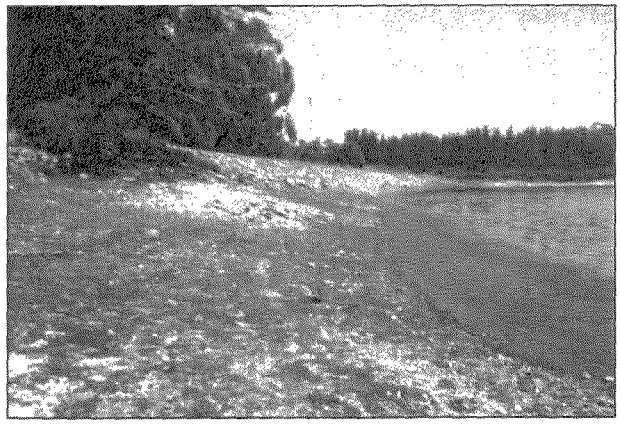
EVACUADOR DE CRECIDAS



CLASIFICACION DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



VISTA TALUD AGUAS ABAJO



PARAMENTO VERTICAL



VEGETACION EN EL MURO AGUAS ABAJO



FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre de la presa	La Esperanza
Propietario	Soc. Agric. Ganadera Forestal Las Cruces Ltda.
RUT Propietario	78.791.770-4
Año de construcción	1986
Reparación (SI) (NO)	SI
Año de reparación	2002
Cuenca / Código DGA	Río Rapel
Subcuenca / Código DGA	Río Tinguiririca
Fuente del recurso	Estero La Esperanza

Nº de ficha	25
Fecha (dd/mm/año)	05-10-2009

Cumplimiento Art., 294 del Código de Aguas	
Capacidad > 50.000 m3	
Altura del muro > 5 m	

2. UBICACIÓN DE PRESA

Región	VI del Libertador Bdo. O'higgins	
Provincia	Cardenal Caro	
Comuna	Marchigüe	
Coordenadas UTM Estribo Derecho	N= 6.199.878	E= 266.145
Coordenadas UTM Centro	N= 6.200.007	E= 266.241
Coordenadas UTM Estribo Izquierdo	N= 6.200.137	E= 266.307
Datum WGS 84		
Altitud m.s.n.m	ED = 143; C = 144;	EI = 144

N= Norte
E= Este
ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

3. USO O DESTINO DEL EMBALSE

Riego	X
Generación de energía	
Abastecimiento de agua potable	
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	

5. GEOMETRÍA DE LA PRESA

Longitud del coronamiento (m)	250		
Ancho del coronamiento (m)	ED = 8,0	C = 7,5	EI = 4,1
Desarrollo del talud aguas abajo (m)	30,0		
Revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida (m)	1,2		
Paramentos verticales	SI, en terreno se detectaron 6 paramentos, 5 de los cuales están ubicados paralelos al coronamiento e indican cantidad de agua en m3, y uno que indica altura de agua (ver álbum fotográfico)		
Con eclímetro			
Ángulo talud de aguas abajo	ED = 41°	C = 40°	EI = 43°
Ángulo talud de aguas arriba	ED = 38°	C = 47°	EI = 40°

ED= Estribo Derecho
C= Centro
EI= Estribo Izquierdo

6. ESTIMACIÓN CAPACIDAD MÁXIMA DEL EMBALSE

Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente) (m)	19,70
Profundidad máxima de agua en sector del muro (m)	18,50
Área estimada o calculada de la poza (m2)	210.600
Ancho máximo de la poza (km)	0,27
Largo de la poza (km)	0,78
Volumen declarado o proyectado (millones de m3)	0,974

7-A. CARACTERÍSTICAS DEL MURO

Inspección visual	
Toma de muestra del suelo (preferentemente en el centro del muro)	SI
Identificación del punto de toma de muestra	SI
Toma de coordenadas y fotografías del punto muestreado	SI
Coordenadas UTM N= 6.200.007 E= 266.241	
Clasificación del material de construcción (clasificación según tabla)	Arena Arcillo Limosa

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	Ambos taludes uniformes
Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento	No se presentan depresiones visibles
Grietas visibles y su ubicación	No se presentan grietas visibles
Indicios de deslizamientos y ubicación	Se presenta deslizamiento producto de las aguas lluvias en el metro 150 a partir del estribo derecho. Para evitar que siga avanzando se instalaron barreras de contención (ver álbum fotográfico)
Sectores que se presentan saturados y altura de saturación	No se presentan sectores saturados
Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie	No se presentan filtraciones visibles
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:	
Vertederos frontales	X
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:	
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	Vertedero de caída libre
Material constructivo	Hormigón
Estado de conservación y operatividad	En buen estado de conservación, operativo. En este momento se están reparando las paredes laterales
Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)	carga máxima 21,13 m3/s; Ancho Total: 11,60 mts; Largo: 19,6; Alto: 6,0 mts

9. CARACTERISTICAS OBRAS DE ENTREGA Y DESAGÜE DE FONDO

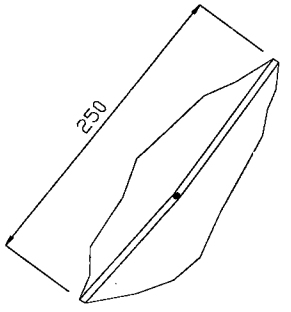
Tipo de estructura	Salida a canal. Tubería de fierro de 30 cms de diámetro controlada por válvula de volante que entrega a 2 tubos de hdpe de 300 mts de largo que entregan directamente a canal revestido de dimensiones 1,0 mts de ancho por 0,80 mts de profundidad
Mediciones estructurales	Tubería fierro y Tubos HDPE: 30 cms diámetro; Canal: 1,0 x 0,8
Funcionamiento actual	Operativo

10. CARACTERIZACION 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 2% ancho medio 2,5 mts
Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce	10,74 Km.
Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce	10,18 Km.
Densidad de población en las cercanías del tranque	Baja - Media
Distancia hacia zonas agrícolas	Adyacente
Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia	0,17 Km.
Área de riego servida por el tranque analizado	150 ha

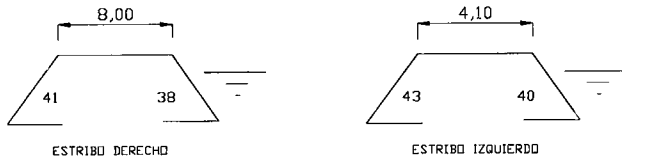
11. MONOGRAFIA

Planta del muro (forma y dimensiones)

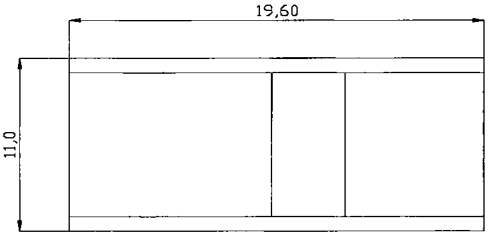


Indicación en la planta del muro del sitio de toma de la muestra de material

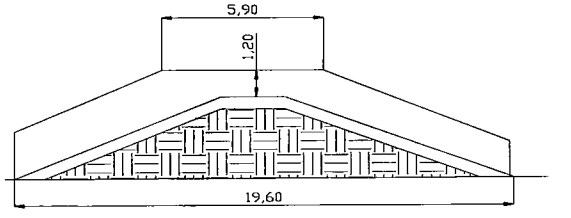
Sección transversal del muro en la zona con menor revancha y con mayor revancha. Indicando sus taludes



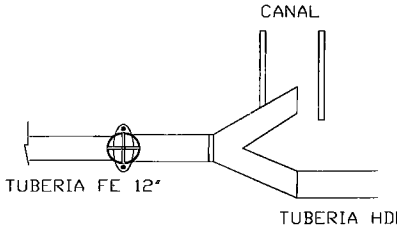
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (planta)



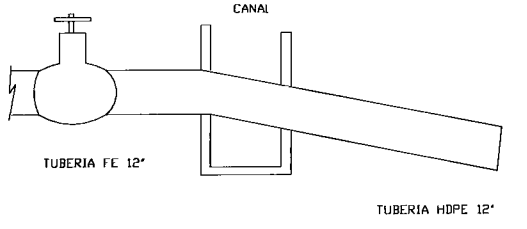
Croquis de la obra de evacuación y dimensiones (elevación)



Croquis de la obra de Toma y dimensiones (planta)



Croquis de la obra de Toma y dimensiones (elevación)



12. OBSERVACIONES

El enrocado del tranque fue puesto en el año 2002 a modo de reparación de este