

**MINISTERIO OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN OBRAS HIDRÁULICAS**

**DISEÑO EMERGENCIA EMBALSE LOS AROMOS,
REGIÓN DE VALPARAÍSO**

INFORME FINAL

Junio 2023

ÍNDICE

1	GENERALIDADES	6
2	OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO	7
3	REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	7
3.1	ANTECEDENTES	7
3.2	REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	8
3.2.1	Diseño de Obras para la Ampliación del Embalse Aromos (EDIC 2018) Ref. [1]	8
3.2.2	Actualización Hidrológica Embalse Aromos, Región de Valparaíso (Universidad de Chile, 2020) Ref. [2]	18
3.2.3	Diagnóstico y Definiciones de Terreno y Gabinete para Estudio de Rehabilitación Embalse Aromos (Ref [3])	22
3.2.4	Carta Trabajos de Emergencia Ref. [4]	27
3.2.5	Levantamiento Topográfico Elaborado por Servicio de Operación del Embalse Aromos, MN Ingenieros 2022.	27
3.2.6	Planos 6557 (2/20), 6559 (4/20), 6562 (7/20), 6567 (12/20), 6568 (13/20), 6569 (14/20), 6570 (15/16/20) de proyecto elaborado por Solano Vega Vischi, 1977 para Dirección de Riego (Planos Evacuador Proyecto Original)	28
4	VISITAS A TERRENO	28
5	TRABAJOS DE TERRENO Y ENSAYOS DE LABORATORIO	29
6	DISEÑO DE OBRAS DE EMERGENCIA	33
6.1	PERALTE MUROS CANAL DE EMPALME - RÁPIDO DE DESCARGA Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL LOSA COLCHÓN DISIPADOR	33
6.1.1	Revisión Hidráulica Evacuador de Crecidas	33
6.1.2	Revisión Estructural Evacuador de Crecidas	36
6.1.3	Conclusión y Recomendación	41
6.2	PROTECCIÓN ZONA ENTRE PIE DE PRESA Y COLCHÓN DISIPADOR	41
6.2.1	Diseño Hidráulico	44
6.2.2	Diseño Estructural	46
6.2.3	Conclusiones y Recomendaciones	47
6.3	INTERFERENCIAS CON OBRAS EXISTENTES	48
7	DOCUMENTOS DE LICITACIÓN	55
7.1	ESPECIFICACIONES Técnicas Generales y Especiales	55
7.1.1	Obras Civiles	55
7.1.2	Obras Eléctricas y Mecánicas	55
7.2	Bases de Medicion y Pago	55
7.3	Presupuesto de Obra	56
7.4	Programa de construcCión	57
8	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	59
9	LISTADO PLANOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1- Principales parámetros de alternativas recomendadas (EDIC 2018).....	12
Tabla 3-2 – Parámetros principales nuevo evacuador de crecidas (EDIC 2018)	14
Tabla 3-3 - Nuevo Evacuador (EDIC 2018)	15
Tabla 3-4 - Resumen caudales máximos instantáneos (U. de Chile 2020)	18
Tabla 3-5 – Comparación QMI (m ³ /s) Universidad de Chile (2020) v/s EDIC (2018).....	21
Tabla 5-1 – Coordenadas de calicatas	30
Tabla 5-2 - Resumen de ensayos realizados	32
Tabla 6-1: Cálculo de grilla de pernos condición normal	39
Tabla 6-2 - Curva de descarga.....	46
Tabla 7-1: Resumen del Presupuesto.....	56
Tabla 9-1 - Listado de Planos (Ver Anexo N°9)	60

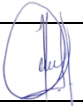








ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Alternativas Evacuador de crecidas (EDIC 2018).....	11
Figura 3.2 – Nuevo evacuador de crecidas, perfil transversal (EDIC 2018)	16
Figura 3.3 – Esquema propuesta 1, presa rebalsable	24
Figura 3.4 – Esquema propuesta 2, 2 túneles.....	25
Figura 5.1 – Ubicación de calicatas	30
Figura 6.1 - Niveles Evacuador de Crecidas.....	34
Figura 6.2 - Esquema peralte de muros.....	36
Figura 6.3 - Fotografías de Terreno.....	37
Figura 6.4 - Sección Típica del Muro	37
Figura 6.5 - Planos de Proyecto	38
Figura 6.6 - Planos de Proyecto	40
Figura 6.7 - Protección a pie de presa	42
Figura 6.8 - Caída escalonada	42
Figura 6.9 - Planta drenes.....	44
Figura 6.10 - Esquema modelación	45
Figura 6.11 - Colchón dissipador.....	45
Figura 6.12 - Pozos de alivio 1 y 2.....	49
Figura 6.13 - Pozo de alivio 3, poste eléctrico con tablero y cámara de hormigón protección de pozo agua potable N°1	49
Figura 6.14 - Pozos de alivio 4 y 5.....	50
Figura 6.15 - Poste eléctrico con tablero y cámara de hormigón protección de pozo agua potable N°1	50
Figura 6.16 - Pozo agua potable N°2 con su línea de descarga soterrada y pozo agua potable N°1	51
Figura 6.17 - Sistema eléctrico, instrumentación y bombas pozos N°1 y N°2.....	52
Figura 6.18 - Tablero eléctrico telemetría y caseta y pozo en desuso	53
Figura 6.19 - Ubicación en planta de las interferencias.....	54
Figura 7.1 – Resumen de Programa de Trabajo	58

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo N°1 : Antecedentes
- Anexo N°1 – Rev Adicionales – Ref [1] / [2]
 - Planos Proyecto Diseño Original - Ref [6]
- Anexo N°2 : Visitas Terreno
- Minuta Visita Terreno 1
 - Minuta Visita Terreno 2-3
- Anexo N°3 : Trabajos de Terreno – Laboratorio - Informe
- Calicatas
 - Ensayos
 - Informe Mecánica Suelos
- Anexo N°4 : Memorias Estructural - Diseños
- Rápido de Descarga
 - Hormigón Rodillado Pie de Presa
 - Cámaras y Canaletas
- Anexo N°5 : Memoria Hidráulica
- Peralte Rápido
 - Cota Protección
 - Drenes
- Anexo N°6 : Reubicación Equipos Mecánicos y Eléctricos
- Anexo N°7 : Documentos de Licitación
- Anexo 1.1 ETE
 - Anexo 1.2 BMP
 - Anexo 1.3 Presupuesto
 - Anexo 1.4 Cuadro de Precio
 - Anexo 1.5 Programa de Trabajo
- Anexo N°8 : Exposición DOH
- Etapa N°2
 - Etapa N°3
- Anexo N°9 : Planos

DISEÑO DE EMERGENCIA AROMOS

Profesional	Cargo	Firma
Jorge Astete	Jefe de Proyecto	
Rene Encina	Coordinador	
Felipe Contreras	Profesional Estructural	
Luis Pinilla	Profesional en Presa de Hormigón Rodillado	
Rene Encina	Encargado del Aseguramiento de Calidad	
Victor Toro	Ingeniero A	
Paulina Arenas	Ingeniero C	
Renato Araya	Profesional Hidráulico	
Iván Vera	Ingeniero Apoyo	

1 GENERALIDADES

Mediante la presente Consultoría, la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) ha encargado a MN Ingenieros Ltda. desarrollar el proyecto “Diseño de Emergencia Embalse Los Aromos”, contrato adjudicado mediante resolución DOH N°734 del 30 de diciembre de 2022, código SAFI 369.036 y código BIP N°30311674-0.

El embalse Aromos es un proyecto multipropósito que se encuentra emplazado sobre el estero Limache, comuna de Limache, Región de Valparaíso. Está constituido por una presa zonificada de 43 m de altura máxima y sus obras hidráulicas anexas como son el evacuador de crecidas y el túnel de desvío y entrega.

El proyecto original del embalse consideraba una capacidad de regulación de 60,3 hm³, que no se alcanzó a completar, porque en la etapa de construcción, ocurrida en la década de 1970-1980, las obras anexas no quedaron terminadas. En efecto, el túnel de desvío no fue habilitado como obra de entrega y el evacuador de crecidas quedó sin su sistema de compuertas, dejando al embalse con una capacidad reducida a 35,4 hm³. Para aprovechar esta capacidad, en la década de 1980 se efectuó el cierre de las obras de desvío, instalando dos compuertas en la entrada del túnel, y se habilitó una entrega provisoria en la base de la torre de toma, controlada mediante una compuerta.

Durante la construcción se detectó la existencia de suelos licuables en el fluvial de fundación. A partir de este hecho, la Dirección de Riego, antecesora de la Dirección de Obras Hidráulicas, contrató la ejecución de un extenso programa de exploraciones del fluvial, mediante la perforación de sondajes geotécnicos, en los cuales se ejecutaron sistemáticamente ensayos de penetración estándar SPT, en ellos se confirmó la presencia de suelos licuables bajo la presa y bajo el colchón del evacuador de crecidas. y propuso una serie de obras de rehabilitación para enfrentar el problema y para terminar las obras del embalse.

Por otra parte, la presa ha tenido un buen comportamiento durante varios eventos sísmicos de importancia, en especial los ocurridos el 3 de marzo de 1985, de magnitud Mw=8,0; el 27 de febrero de 2010, de magnitud Mw=8,8 y el 16 de septiembre de 2015, de magnitud Mw=8,4. Tras ocurrir el primero de estos eventos, se postuló que los suelos licuables presentes en el fluvial de fundación consistirían en bolsones confinados por suelos más resistentes, no licuables, que impedirían la propagación de la licuación.

Existen, sin embargo, varios problemas adicionales que obligan a realizar estudios de rehabilitación de la presa: revancha insuficiente; inexistencia de drenes en la sección transversal y en los contactos con la fundación, y una elevada piezometría detectada en el fluvial de fundación, en una sección transversal cercana al apoyo derecho, que indicaría una falta de efectividad de la pared moldeada construida para impermeabilizar los rellenos aluviales sobre los cuales se apoya la presa.

En razón a lo anterior, la Dirección de Obras Hidráulicas, dentro de su programa de Grandes Embalses, ha dispuesto ejecutar las obras que permitan completar el embalse Aromos, para que alcance su capacidad original de proyecto de 60,3 hm³ y así incrementar el apoyo al

abastecimiento de agua potable para el Gran Valparaíso y la seguridad de riego para las secciones bajas del Valle de Aconcagua.

En esta misma línea, en el mes de junio del 2022, se dio inicio al contrato de Consultoría “Diagnóstico y Definiciones de Terreno y Gabinete para Estudio de Rehabilitación Embalse Aromos, Región de Valparaíso”, a cargo de la empresa consultora MN Ingenieros Ltda., cuyo objetivo principal fue realizar el análisis de toda la información existente y necesaria para efectuar el diagnóstico del estado de la presa del embalse Aromos y posteriormente definir una propuesta de estudios de gabinete y trabajos de terreno y ensayos, con sus especificaciones técnicas necesarias para licitar el estudio que permita rehabilitar y terminar la presa del embalse y sus obras anexas.

Bajo el contexto de este estudio, quedó en evidencia que el colchón dissipador del embalse Aromos, tiene una capacidad para un caudal extremadamente bajo, correspondiente a 383 m³/s, lo que equivale a un caudal que puede ocurrir cada 8 años según el estudio de EDIC 2018, o cada 5 años según el estudio de la Universidad de Chile 2021. Esta capacidad reducida limita a todo el resto del evacuador de crecidas.

En la actualidad, el consenso mundial para el diseño de estas obras, indica que para el caudal de diseño se debe utilizar la crecida decamilenaria (10.000 años), es decir, en este caso, un caudal equivalente a 1.800 m³/s, según lo planteado por EDIC/2018 o 3.100 m³/s, de acuerdo al estudio de la Universidad de Chile/2021.

Dado lo anterior, con el fin de minimizar los actuales riesgos de daños por la evacuación de crecidas se realiza en esta Consultoría el diseño de algunas obras de emergencia, contemplando en principio evitar desbordes en el evacuador de crecidas para caudales menores a 1.000 m³/s, refuerzos en el colchón dissipador y protección con hormigón rodillado o HCR en la zona entre pie de presa y colchón dissipador.

2 OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio fue realizar los diseños constructivos de las obras de emergencia del embalse Aromos, desarrollando además la documentación necesaria para que la dirección realice la licitación de la ejecución de las obras.

3 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

3.1 ANTECEDENTES

Los antecedentes y referencias utilizados para este estudio son los siguientes:

- [1] Diseño de Obras para la Ampliación del Embalse Aromos, Región de Valparaíso, (EDIC, 2018)
- [2] Actualización Hidrológica Embalse Aromos, (Universidad de Chile, 2021)
- [3] Diagnóstico y Definiciones de Terreno y Gabinete para Estudio de Rehabilitación Embalse Aromos, Región de Valparaíso (MN Ingenieros Ltda., 2022)
- [4] Carta de Trabajo Emergencia (MN Ingenieros Ltda., 2022)
- [5] Levantamiento topográfico elaborado por Servicio de Operación del Embalse Aromos, MN Ingenieros 2022, proporcionado por la DOH

- [6] Memoria del Proyecto del Vertedero del Embalse Los Aromos, elaborado por Solano Vega Vischi, 1974 para Dirección de Riego (Planos Evacuador Proyecto Original) y Planos 6557 (2/20), 6559 (4/20), 6562 (7/20), 6567 (12/20), 6568 (13/20), 6569 (14/20), 6570 (15/16/20) y 6571 (16/20) (Se incluye solo en digital)

3.2 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Dentro de los antecedentes presentados en el numeral anterior, los dos primeros fueron revisados por este Consultor en la Consultoría “Diagnóstico y Definiciones de Terreno y Gabinete para Estudio de Rehabilitación Embalse Aromos” (Ref. [3]), en la presente Consultoría se mantienen los comentarios realizados, y se presentan en los numerales 3.2.1 y 3.2.2. Por otro lado, las referencias [3], [4], fueron efectuadas por este Consultor, por lo que en la revisión y análisis que se realiza en los numerales 3.2.3 y 3.2.4, se mantienen los comentarios y sugerencias indicadas en dichos antecedentes.

Por otra parte, la referencia [5] fue proporcionada por la DOH, ésta fue realizada durante el Servicio de Operación del Embalse Aromos por este Consultor y sirvió como base topográfica para la elaboración de los diseños de esta Consultoría.

En relación a la Ref. [6], “Planos de Diseño del Evacuador de Crecidas”, no existe la cantidad de enfierradura y número de anclajes mínimos exigidos de acuerdo a normativa actual, se constata en visita a terreno que los planos de diseño difieren de lo construido, por ejemplo, los contrafuertes que están indicados en los planos de diseño no se visualizan, el espesor de los muros del canal de empalme y rápido de descarga indican en los planos un espesor de 25 cm, sin embargo en la realidad tienen un espesor de 18 cm.

3.2.1 Diseño de Obras para la Ampliación del Embalse Aromos (EDIC 2018) Ref. [1]

El objetivo del trabajo contratado por la Dirección de Obras Hidráulicas a EDIC, fue efectuar los estudios de diseño de las obras y equipos, a nivel de detalle, para la ampliación del embalse Aromos desde su capacidad actual, esto es 35,4 hm³, hasta su capacidad de proyecto, que es de 60,3 hm³. Pevio a lo anterior, se debían efectuar análisis y verificaciones de la estabilidad del muro del embalse y de la capacidad de evacuación del vertedero. Sin embargo, el estudio concluyó que no se podía continuar con el proyecto, debido a las incertidumbres asociadas a la licuefacción, lo que derivó en un término anticipado del contrato.

No obstante, EDIC alcanzó a desarrollar varios trabajos valiosos que servirán de base para el análisis de este Consultor.

En las etapas I y II de la Consultoría se determinó que, por una parte, la capacidad de evacuación del vertedero, necesaria para la crecida de diseño determinada en el mismo trabajo, es más del doble que la del vertedero existente y por otra, la existencia de varias incertezas de las obras tales como: la posible licuación de la fundación del muro, la alta piezometría del fluvial de la fundación del muro, detectada en la ladera derecha del mismo, la falta de un sistema de drenaje y la falta de filtros. Lo anterior y otros temas semejantes, llevaron a concluir que en estas condiciones no era viable ampliar la capacidad de almacenamiento del embalse.

Durante la etapa II de la consultoría efectuada por EDIC se efectuaron los trabajos de terreno, que consistieron en la topografía del evacuador de crecidas y de la salida del túnel de desvío, más la ejecución de un sondaje de rotación al pie del muro. Se efectuó, además, el estudio de riesgo sísmico y el análisis de licuación del suelo de fundación del muro. Finalmente se verificó y rectificó la capacidad del vertedero.

En este punto se produjo la suspensión de los trabajos, generándose, en base a lo acordado una nueva etapa, denominada II-A, en la que se entregó el estudio de la estabilidad de la presa, más una parte de las actividades que formaban parte de las antiguas etapas III y IV.

El informe de EDIC efectúa un detallado análisis de la información recopilada. Un punto relevante que se destaca y comparte es la aparente inexistencia de planos “as built” e informes de trabajo que den cuenta de los habituales cambios que se hacen a los planos de proyecto durante la construcción.

Los siguientes numerales, entregan una revisión más detallada de la referencia en cuestión. Cabe mencionar que las especialidades que no tienen relación directa con las obras que se pretenden diseñar en esta Consultoría, se muestran en el Anexo N°1- Revisiones adicionales del presente informe.

3.2.1.1 Capacidad del Evacuador Existente

La verificación del evacuador existente, se desarrolló en el Anexo 8 de la Etapa II “Verificación Capacidad y Eje Hidráulico del Evacuador de Crecidas”.

En esta memoria de cálculo, primeramente, se definen las dimensiones de las obras existentes, las cuales coinciden con los planos originales.

De acuerdo a lo indicado por la Inspección Fiscal del momento, se evaluó el evacuador para los siguientes caudales:

- La crecida de diseño será la de 1:1.000 años, período de retorno. El caudal regulado por el embalse correspondiente a esta crecida, deberá pasar por el vertedero del evacuador, considerando sus tres (3) compuertas operativas y a plena abertura con el nivel máximo del embalse a la cota 65,0 msnm, dejando libre la revancha normal (rev=3,0 m). La cota correspondiente a la arista superior de las compuertas de sector del umbral vertedero, es 65,5 msnm.

También se definen las condiciones en las que serán verificadas las obras, las cuales se indican a continuación:

- La crecida de 1:1.000 años deberá pasar sin revancha, a la cota de coronamiento de la presa (Cota 68 msnm), considerando una compuerta fuera de servicio.
- La crecida de 1:10.000 años debe pasar con revancha reducida (rev=1,30 m), cota máxima 66,7 msnm, con todas las compuertas operativas.
- El 75% de la crecida máxima probable (CMP) deberá pasar sin revancha con todas las compuertas operativas.

En el capítulo 4 se constató errores de cálculos en la verificación del caudal evacuado, ya que se consideró erróneamente la altura de carga de un vertedero, esto implicó un caudal vertido menor al real, el detalle se presentó en el documento de Ref [3].

En el capítulo 5, se indica que, debido al poco espesor de la losa del colchón disipador, es necesario aumentarla 0,8 m, lo cual disminuiría la altura de su muro de 13,5 m a 12,7 m. El resultado de considerar la capacidad del colchón (altura de muro), arrojó los siguientes resultados:

- Escenario 1: Las tres compuertas abiertas. El radier del disipador y el coronamiento de los muros mantienen los valores actuales. La capacidad del vertedero con tres (3) compuertas abiertas y nivel de embalse de 65,0 msnm, en régimen es de 592 m³/s.
- Escenario 2: Con dos compuertas abiertas y el radier del disipador y el coronamiento de los muros se conservan. Se obtiene una cota máxima en el embalse de 68,0 msnm. Se descarga el caudal máximo de 720 m³/s.
- Escenario 3: Las tres (3) compuertas abiertas. El radier del disipador y el coronamiento de los muros del rápido se conservan. El caudal determinado para verificar la revancha en el tanque disipador es de Q=383 m³/s (T≈8 años).
- Escenario 4: Las tres (3) compuertas abiertas. El radier del disipador se peralta 0,80 [m] hasta la cota 18,8 msnm y el coronamiento de los muros se mantiene. Se determina el caudal para verificar la revancha en el tanque disipador, que es de Q=339 m³/s (T≈7 años).

El análisis no contempló la verificación de la longitud del vertedero.

Posteriormente, se realizó un eje hidráulico para los 4 caudales indicados anteriormente y para coeficiente de Manning $n=0,011$ y $n=0,018$. El cálculo para dos "n", es tradicional, ya que el $n=0,011$ se utiliza para analizar el efecto de la velocidad (a menor "n", aumenta la velocidad) y $n=0,018$ se utiliza para analizar el efecto de la altura de agua (a mayor "n", aumenta la altura).

Si bien no es tan relevante, el cálculo pudo ser más preciso, ya que, para 146 m de longitud que tiene el canal de empalme y rápido de descarga, sólo se tomaron 15 puntos.

Si bien se calculó la revancha recomendada, no se contrastó con la altura de muros, lo cual resulta básico en este tipo de análisis.

Finalmente, la memoria de cálculo termina con la verificación de la altura de muros del colchón para los 4 caudales determinados inicialmente.

- El escenario 1 no obstante que no se produce desborde del agua, no verifica la revancha mínima para cubetas disipadoras según la recomendación del USACE. Para cumplirla se requiere el peralte de los muros del colchón disipador en 3,10 m, quedando estos últimos con 16,60 m de altura.

- En el escenario 2 se muestra que se produce desborde en el colchón disipador dado que no tiene capacidad para conducir el caudal de 720 m³/s que se tendrá cuando dos compuertas estén operativas y que la cota del embalse sea la 68,0 msnm correspondiente a un caso de verificación sin revancha. De peraltarse los muros según lo sugerido en el escenario 1, se tendrá que no se producirá el desborde señalado.

Los escenarios 3 y 4 corresponden a los caudales que cumplen las recomendaciones de la revancha mínima recomendada por el USACE sin modificar la cota de radier ni de coronamiento de los muros. Estos escenarios requieren obras que limiten la capacidad actual del vertedero.

En el capítulo 6, se concluye que, si se aumenta la losa del colchón, el evacuador existente, tendría una capacidad de 339 m³/s (escenario 4), por lo tanto y redondeando cifras, se requiere de un evacuador complementario de 1.000 m³/s.

3.2.1.2 Alternativas de Evacuador de Crecidas

En el Anexo 11 del Tomo II, se presentó el informe “Análisis de alternativas Nuevo Evacuador de Crecidas”. Aquí se presentaron 3 alternativas:

- Alternativa 1: Modificación de obra de evacuación existente.
- Alternativa 2: Evacuador auxiliar en empotramiento izquierdo.
- Alternativa 3: Evacuador auxiliar por empotramiento derecho.



Figura 3.1 – Alternativas Evacuador de crecidas (EDIC 2018)

(Fuente: Figura 4.1, Anexo 11)

EDIC analizó otras alternativas, como un vertedero tipo Morning Glory o un vertedero lateral. La primera se descarta por las grandes dimensiones resultantes y la segunda porque no cabe un vertedero de 165 m en ninguna ribera.

A continuación, se presenta una tabla comparativa entre alternativas.

Tabla 3-1- Principales parámetros de alternativas recomendadas (EDIC 2018)

Parámetro	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Escenario recomendado	-	2	3	3
Descripción general	-	Aumento de la capacidad del evacuador de crecidas existente	Evacuador de crecidas complementario al existente, construido en empotramiento izquierdo	Evacuador de crecidas complementario al existente, construido en empotramiento derecho
Caudal de diseño de las obras	m ³ /s	1.355	1.000	1.000
Cota del umbral vertedero	m s.n.m.	57,0	55,0	55,0
Cota al pie del vertedero	m s.n.m.	54,0	52,0	52,0
Ancho de la obra	m	40,0	21,4	21,4
Compuertas				
Número	-	5	3	3
Ancho	m	6,4	5,8	5,8
Altura	m	8,0	10,0	10,0
Colchón disipador				
Cota de radier	m s.n.m.	19,9	15,5	15,1
Longitud	m	65,0	75,0	74,0
Altura de muros	m	18,7	21,5	21,9
Costo comparativo de la alternativa	MM USD	23,2	35,6	24,7

(Fuente: Cuadro 5.1, Anexo 11)

Nota: Los costos indicados, son preliminares

Al final, EDIC concluye que la mejor alternativa es la 3.

- La Alternativa N°3 no requiere obras de desvío adicionales debido a que es factible el uso, equivalente al de una obra de desvío, de la capacidad de descarga del actual evacuador de crecidas. Esto disminuye el plazo de construcción en comparación a la Alternativa N°1.
- La Alternativa N°3, de acuerdo al emplazamiento preliminar propuesto, permitiría disponer el colchón disipador aparentemente sin comprometer en su fundación suelos fluviales del estero Limache, los que presentan zonas potencialmente licuables.
- La Alternativa N°3 corresponde a la construcción de un nuevo evacuador de crecidas complementario con el existente. Se proyecta el umbral vertedero del nuevo evacuador a la cota 55,0 msnm. El actual tiene el umbral a cota 59,3 msnm. Ambas obras al tener diferentes cotas de umbral permiten una mayor flexibilidad para vaciamientos del embalse en condiciones de emergencia.

- La Alternativa N°3 tiene menor número de compuertas que la Alternativa N°1 (3 v/s 5) lo cual implica un menor riesgo de fallas, una simplificación en la operación y menores costos de mantenimiento.
- En el caso de la Alternativa N°3, al construirse un evacuador adicional y complementario al existente, este último quedará habilitado para un caudal menor, lo cual aumenta la seguridad del sistema.

3.2.1.3 Diseño Evacuador de Crecidas Complementario

En el entregable E.3, EDIC presenta la Memoria de Cálculo Hidráulico del nuevo evacuador de crecidas.

Este evacuador, se diseñó para la crecida T=1.000 años (1.355 m³/s) y se verificó para las siguientes condiciones:

- La crecida de 1:1.000 años deberá pasar sin revancha a la cota de coronamiento de la presa (Cota 68 msnm), considerando una compuerta fuera de servicio.
- La crecida de 1:10.000 años debe pasar con revancha reducida (rev.=1,30 m), cota máxima 66,7 msnm, con todas las compuertas operativas.
- El 75% de la crecida máxima probable (CMP) deberá pasar sin revancha con todas las compuertas operativas.

La nueva obra se proyectó al norte del evacuador existente en el empotramiento derecho de la presa, y contará con 3 compuertas de 5,8 m de ancho y 10,5 m de altura.

El funcionamiento del nuevo evacuador se complementó con la capacidad hidráulica que pueda aportar el evacuador existente, una vez se aborde la rehabilitación del colchón dissipador de éste que presenta problemas de poco espesor de las losas de radier las que pueden colapsar por solicitaciones hidrodinámicas.

Se proyectó el umbral vertedero del nuevo evacuador a la cota 55,0 msnm. El actual tiene el umbral a cota 59,3 msnm. Ambas obras al tener diferentes cotas de umbral permitirán una mayor flexibilidad para vaciamientos del embalse en condiciones de emergencia. Operando siempre en primer lugar el evacuador existente, y luego el nuevo evacuador complementario.

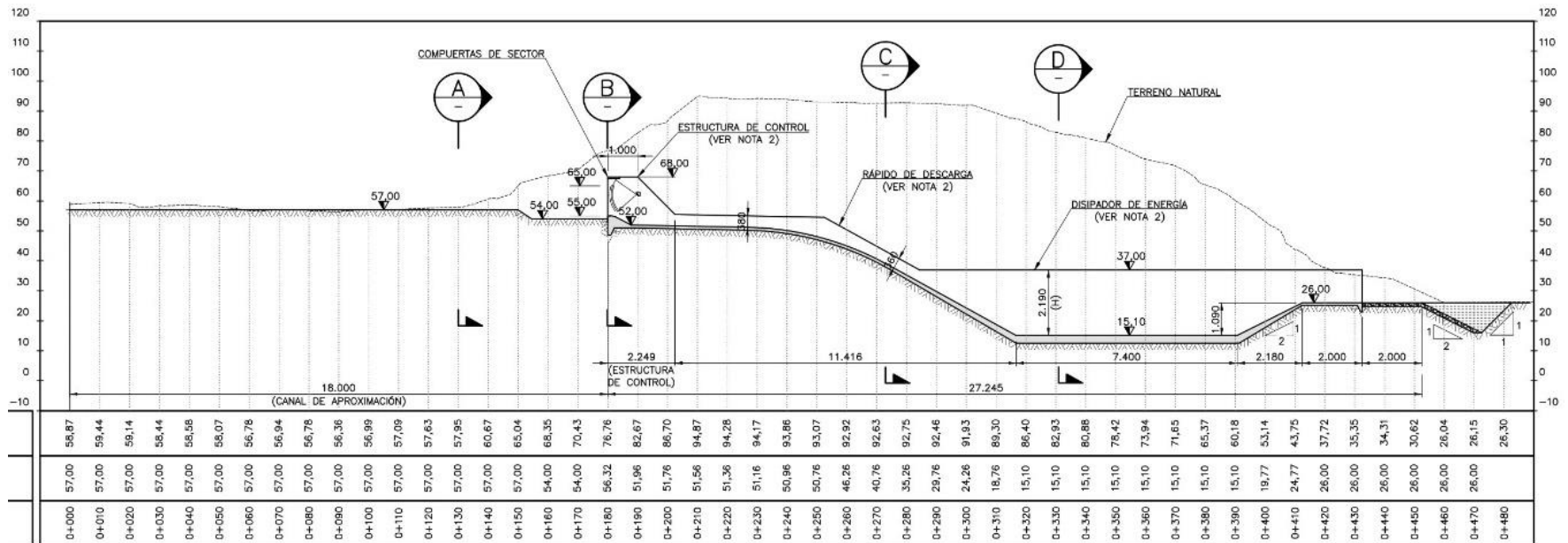
Tabla 3-2 – Parámetros principales nuevo evacuador de crecidas (EDIC 2018)

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Caudal de diseño	m ³ /s	1.000
Cota del umbral vertedero	m s.n.m.	55,0
Cota al pie del vertedero	m s.n.m.	52,0
Ancho de la obra (interior)	m	21,4
Compuertas		
Número	-	3
Ancho	m	5,8
Altura	m	10,0
Colchón disipador		
Cota de radier	m s.n.m.	15,1
Longitud de muros con altura máxima	m	74,0
Altura máxima de muros	m	21,9

(Fuente: Cuadro 2.2, Entregable E.3)

A continuación, se presenta un perfil longitudinal y un corte transversal del evacuador.

Tabla 3-3 - Nuevo Evacuador (EDIC 2018)



(Fuente: Plano NUEVO EVACUADOR CON ANALISIS DE TALUDES-REV 2)

Nota: Los valores indicados, de arriba hacia abajo, son: cota de terreno (msnm), cota de rasante (msnm) y distancia acumulada.

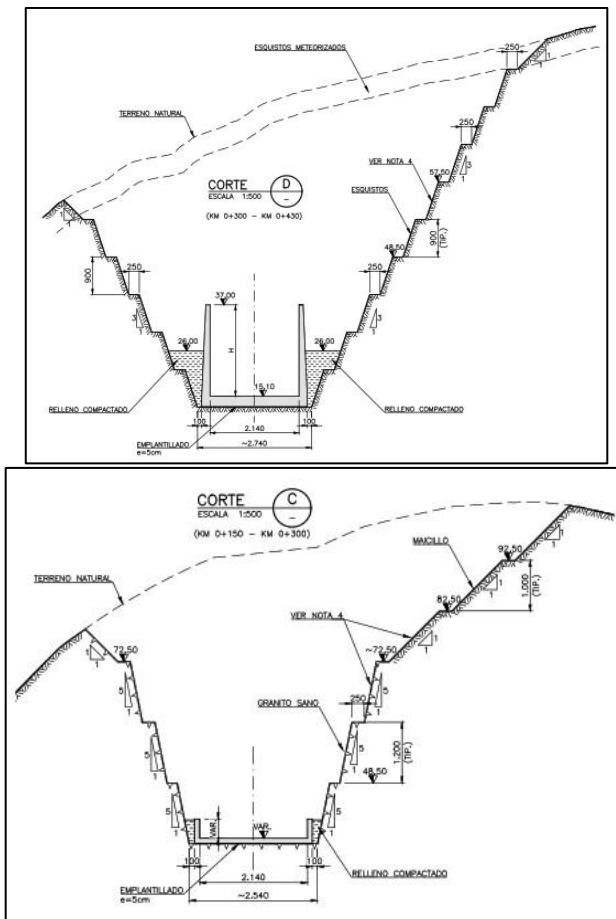


Figura 3.2 – Nuevo evacuador de crecidas, perfil transversal (EDIC 2018)

(Fuente: Plano NUEVO EVACUADOR CON ANALISIS DE TALUDES-REV 2)

Finalmente, el funcionamiento del nuevo evacuador da como resultado, las siguientes cotas:

- La crecida de diseño de 1:1.000 años de período de retorno, con todas las compuertas abiertas, se tiene que la cota de aguas para el paso de dicha crecida es 64,15 msnm. Por lo anterior, la revancha es 3,85 m (68,00- 64,15) este valor es superior a la revancha normal (3,0 m) del muro de presa, por lo que se verifica el cumplimiento de este criterio.
- La crecida de 1:1.000 años de periodo de retorno, en el caso de una compuerta fuera de servicio, pasa por el umbral a la cota 65,53 msnm. la revancha en este caso es 2,47 m (68,00 – 65,53). Dado que la revancha no es nula, se verifica que se cumple el criterio.
- La crecida de 1:10.000 años de retorno pasa con todas las compuertas operativas a la cota 66,23 msnm. la revancha en este caso es 1,77 m (68,00 – 66,23), que corresponde a una revancha reducida, por lo que se cumple el criterio para el paso de la crecida con todas las compuertas operativas.

- El 75% de la crecida máxima probable (CMP) pasa a la cota 66,90 msnm y se tiene una revancha de 1,10 m (68,00-66,90) por lo que se cumple el criterio para el caso con todas las compuertas operativas.

En el informe final, cuadro 9.4, se indica que el nuevo evacuador tiene un costo preliminar de USD \$30.141.126.

Si bien hidráulicamente el evacuador funciona, resulta bastante onerosa su construcción. Se pueden apreciar excavaciones cercanas a 50 m de profundidad, lo que, a juicio de este Consultor, implicará importantes costos para estabilizar taludes.

Comentario de este Consultor a Ref. [1] para la presente Consultoría

Se mantienen los comentarios realizados en la reciente Consultoría “Rehabilitación Embalse Aromos” (Ref.[3]) desarrollada por MN Ingenieros Ltda., para este estudio de Diseño de Obras para la Ampliación del Embalse Aromos, Región de Valparaíso, (EDIC, 2018), en otros:

- ✓ En el capítulo 4 para el evacuador existente se constató errores de cálculos en la verificación del caudal evacuado, ya que se consideró erróneamente la altura de carga de un vertedero, esto implicó un caudal vertido menor al real, el detalle se presentó en Ref [3].
- ✓ El análisis no contempló la verificación de la longitud del vertedero.
- ✓ Un punto relevante que se destaca y se comparte es la aparente inexistencia de planos “As Built” e informes de trabajo que den cuenta de los habituales cambios que se hacen a los planos de proyecto durante la construcción.
- ✓ De la revisión de antecedentes queda en evidencia que el colchón disipador del embalse Aromos, tiene una capacidad para un caudal extremadamente bajo, correspondiente a 383 m³/s, lo que equivale a un caudal que puede ocurrir cada 8 años según este estudio de EDIC 2018. Esta capacidad reducida limita a todo el resto del evacuador de crecidas.
- ✓ Dado lo anterior EDIC analizó 3 alternativas para ampliar su capacidad a la crecida 1:1.000 años (1.355 m³/s), recomendando la Alternativa 3 (evacuador auxiliar por empotramiento derecho) con un costo preliminar de US\$30.141.126, si bien el evacuador funciona hidráulicamente, a juicio de este Consultor resulta bastante oneroso.

En el Anexo N°1 de esta Consultoría como ya se mencionó anteriormente, se incorporó la revisión de antecedentes de temas como el túnel de desvío, estabilidad de presa y otros, que si bien se encontraban dentro de los alcances de la mencionada referencia no tenían directa relación con esta Consultoría, en el cuerpo del informe se colocó lo relacionado con el evacuador de crecidas y el estudio hidrológico, temas relevantes para desarrollar la presente Consultoría.

3.2.2 Actualización Hidrológica Embalse Aromos, Región de Valparaíso (Universidad de Chile, 2020) Ref. [2]

El estudio tuvo por objetivo realizar un análisis crítico y actualizar lo desarrollado por EDIC, con el fin de determinar el caudal de diseño y verificación para las obras de excedencia del embalse Aromos, incorporando, además, la componente del cambio climático.

3.2.2.1 Estudio Hidrológico y Cambio Climático

A partir de lo realizado, se determinó que las obras de evacuación dispuestas actualmente en el embalse Aromos logran evacuar crecidas con periodo de retorno 1.000 años y tormenta de 24 horas, pero no son capaces de regular la crecida decamilenaria ni la crecida máxima probable, para ninguna de las duraciones estudiadas (24, 48 y 72 horas), comprometiendo la seguridad del embalse. Así también, se obtuvieron diferencias significativas entre los resultados asociados a la Precipitación Máxima Probable (respecto al promedio de los métodos) y Crecida Máxima Probable con Hidrograma Unitario Sintético tipo Linsley (respecto al promedio de los métodos).

Respecto a la situación con cambio climático, las proyecciones dan cuenta de una disminución generalizada de la precipitación, y un aumento de la temperatura media anual.

En relación a eventos de máxima precipitación, la mayoría de los modelos proyecta una disminución en el caudal máximo instantáneo de crecida. No obstante, existen ciertos modelos, también considerados representativos del periodo histórico, que proyectan un aumento en la magnitud de los eventos extremos de precipitación y, en consecuencia, de las crecidas generadas, por lo que se recomienda incluir este tipo de análisis en estudios futuros.

A continuación, se presentan los valores de los caudales máximos instantáneos calculados.

Tabla 3-4 - Resumen caudales máximos instantáneos (U. de Chile 2020)

T (años)	Duración Tormenta		
	24 horas	48 horas	72 horas
2	189	51	58
5	373	147	85
10	512	406	317
25	696	749	687
50	836	1.008	966
75	917	1.160	1.129
100	975	1.268	1.245
200	1.114	1.527	1.524
500	1.298	1.870	1.893
1.000	1.438	2.129	2.172
10.000	1.901	2.991	3.100
CMP	2.020	3.038	3.133

(Fuente: Tabla 3.1, Resumen ejecutivo)

Nota: En negrita se marcan los valores máximos

Este Consultor destaca que este estudio incorpore nuevas metodologías para la estimación de las precipitaciones máximas, precipitación máxima probable y caudales máximos, sin embargo, al compararlo con el resto de los estudios revisados (ver Ref.[3]), pareciera presentar ciertas incongruencias en la estimación de las precipitaciones y caudales máximos, sobreestimando en demasía estos valores para una duración de tormenta de 48 y 72 horas. Esta situación pareciera generarse por una elección muy conservadora de la distribución de mejor ajuste en el análisis de frecuencia de precipitaciones máximas para las duraciones 48 y 72 horas, entregando para la precipitación decamilenaria de 2 días de tormenta, un coeficiente de duración de 2,29 y para 3 días, un coeficiente de 2,84, muy por encima de lo que la bibliografía entrega para esta zona. Finalmente, llama la atención que la precipitación de 48 horas es más del doble de la precipitación de 24 horas, para la crecida decamilenaria

Además de lo anterior, en el cálculo de los caudales máximos se establece el flujo base, el cual se ha definido igual a un 10% de la escorrentía directa, valor que no se condice con los recursos de este estero y que debiese ser bien fundamentado. Por último, en la estimación del caudal máximo se trabaja con un método probabilístico, incorporando la probabilidad de ocurrencia de la condición del suelo, ya sea seca, normal o húmeda, corrigiendo posteriormente los periodos de retorno y definiendo los caudales máximos a partir de una curva envolvente superior, que parece también muy conservadora.

3.2.2.2 Verificación del Vertedero

Realizó la verificación del vertido, considerando los caudales de 1.000 años, 10.000 años y CMP (crecida máxima probable). La verificación se realizó con un rastreo de las crecidas, teniendo como condición de borde, que el embalse se encuentra lleno de agua, es decir, hasta la cota 59,3 msnm (cota umbral del vertedero).

En el capítulo 9.1 ref (2), se presenta la ecuación 9.6 que representa el caudal vertido. Esta ecuación corresponde a la indicada por Mery, 2013, sin embargo, el tipo de vertedero (Creager), implica la utilización de las expresiones del "Small Dams". No se encontraron anexos o planillas que permitirán dilucidar el cálculo realizado del vertedero.

Se concluyó que la actual obra de excedencia es capaz de regular una crecida de periodo de retorno 1.000 años generada por una tormenta de 24 horas de duración, pero no crecidas asociadas a un periodo de retorno 10.000 años o CMP, dado que se excedería la cota de coronamiento del muro del embalse (i.e., 68 msnm) y se produciría un rebase sobre dicho muro, comprometiendo la seguridad de la obra.

También se verificó que, sólo para el caso de tormenta de 24 horas y QMI con periodo de retorno 1.000 años, el sistema actual es capaz de regular la crecida sin producir rebase sobre la cota de coronamiento del muro del embalse. El resto de los casos resultan desfavorables, siendo el QMI con periodo retorno 10.000 años y tormenta de 48 horas, el escenario que reporta el mayor nivel de agua máximo durante la crecida (i.e., condición más desfavorable).

3.2.2.3 Aumento de Capacidad de Evacuación

Propone sin mayor cálculo ni explicación "... duplicar el largo efectivo del vertedero (i.e. incluir al menos tres vanos adicionales) o cualquier alternativa equivalente".

A juicio de este Consultor esto pareciera poco factible, ya que, si se aumentan los vanos hacia la izquierda del vertedero existente, se afectaría el pie de la presa.

3.2.2.4 Conclusiones y Recomendaciones

Las principales conclusiones del estudio de Ref. [2], son:

- "Si bien las obras de evacuación dispuestas actualmente en el embalse Aromos logran evacuar crecidas con periodo de retorno 1.000 años y tormenta de 24 hrs., no son capaces de regular la crecida decamilenaria, ni la crecida máxima probable para ninguna de las duraciones estudiadas (i.e., 24, 48 y 72 hrs.), comprometiendo la seguridad del embalse."
- "Las proyecciones de cambio hidrológico en el periodo 2030-2100 dan cuenta, en general, de periodos futuros con menor disponibilidad hídrica respecto al caso histórico 1985-2015, existiendo algunos periodos incluso más severos que la mega sequía de 2010-2015."

Los principales comentarios y sugerencias, se resumen a continuación:

- "... La forma en que se decida aumentar dicha capacidad (de evacuación) queda sujeta a aspectos técnico-económicos; sin embargo, se sugiere evaluar la posibilidad de duplicar el largo efectivo del vertedero (i.e., incluir al menos tres vanos adicionales), o cualquier alternativa equivalente".
- En contexto de cambio climático, se concluye que las variaciones proyectadas no resultan significativas respecto al caso histórico derivado del análisis de las estadísticas del periodo 1979-2019 y, en caso de ser mayores, con la revancha mínima exigida por norma se logra amortiguar dicha diferencia. No obstante, se recomienda incorporar una "revancha por variabilidad climática futura", dada por la máxima variación positiva en el nivel de agua máximo alcanzado durante la crecida de diseño. La propuesta antes mencionada no responde a una norma vigente, pero se sugiere adoptar y promover este tipo de consideraciones en el diseño de obras hidráulicas, especialmente en aquellas cuya falla tenga consecuencias catastróficas y/o letales como, por ejemplo, obras de evacuación de crecidas, muros de embalses, viaductos, etc.
- Monitoreo con controles fluviométricos aguas arriba del embalse y en la parte media de la cuenca, para así poder orientar la toma de decisiones en tiempo real.

MN Ingenieros confirma que la capacidad del vertedero existente bordea los 1.000 m³/s (ver Ref.[3]), sin embargo, este estudio sólo considera el vertedero y se olvida del rápido y colchón disipador, los cuales podrían limitar el caudal a evacuar.

Por último, como ya se dijo en el numeral 3.2.2.1, llama la atención la diferencia entre los caudales máximos instantáneos, ya que son bastante más altos que los determinados por EDIC. A continuación, se muestran ambos, destacando en rojo, los valores máximos adoptados.

Tabla 3-5 – Comparación QMI (m³/s) Universidad de Chile (2020) v/s EDIC (2018)

T (años)	Universidad de Chile 2020			EDIC 2018
	Duración Tormenta			QMI
	24 horas	48 horas	72 horas	
2	189	51	58	-
5	373	147	85	295
10	512	406	317	420
25	696	749	687	595
50	836	1.008	966	730
75	917	1.160	1.129	-
100	975	1.268	1.245	870
200	1.114	1.527	1.524	1.015
500	1.298	1.870	1.893	1.200
1.000	1.438	2.129	2.172	1.355
10.000	1.901	2.991	3.100	1.800
CMP	2.020	3.038	3.133	2.731 (24h)

(Fuente: Tabla 3.15, Anexo 7 de la Ref.[1] y Tabla 3.3 del presente informe)

Este Consultor sugiere y mantiene en esta Consultoría al igual que en Ref. [3] que el evacuador de crecidas se diseñe y materialice en la Rehabilitación del embalse para la crecida decamilenaria y se verifique para la CMP. Esto, debido a que el embalse se encuentra ubicado próximo a lugares densamente habitados, por lo que se debe maximizar la seguridad del embalse.

Comentario de este Consultor a Ref. [2] para la presente Consultoría

Se mantienen los comentarios realizados en la reciente Consultoría “Rehabilitación Embalse Aromos” (Ref.[3]) desarrollada por MN Ingenieros Ltda., para el estudio de [Actualización Hidrológica Embalse Aromos, (Universidad de Chile, 2021), destacando:

- ✓ Este Consultor destaca que este estudio incorpore nuevas metodologías para la estimación de las precipitaciones máximas, precipitación máxima probable y caudales máximos, sin embargo, al compararlo con el resto de los estudios revisados, pareciera presentar ciertas incongruencias en la estimación de las precipitaciones y caudales máximos, sobreestimando en demasía estos valores para una duración de tormenta de 48 y 72 horas.
- ✓ En el cálculo de los caudales máximos se establece el flujo base, el cual se ha definido igual a un 10% de la escorrentía directa, valor que no se condice con los recursos de este estero y que debiese ser bien fundamentado.
- ✓ Por último, en la estimación del caudal máximo se trabaja con un método probabilístico, incorporando la probabilidad de ocurrencia de la condición del suelo, ya sea seca, normal o húmeda, corrigiendo posteriormente los periodos de retorno y definiendo los caudales máximos a partir de una curva envolvente superior, que parece también muy conservadora.

- ✓ MN Ingenieros confirma que la capacidad del vertedero existente bordea los 1.000 m³/s (ver Ref.[3]), sin embargo, este estudio sólo considera el vertedero y se olvida del rápido y colchón disipador, los cuales podrían limitar el caudal a evacuar.
- ✓ Es así como quedó en evidencia que el colchón disipador del embalse Aromos, tiene una capacidad para un caudal extremadamente bajo, correspondiente a 383 m³/s, lo que equivale a un caudal que puede ocurrir cada 5 años según este estudio de la Universidad de Chile 2021. Esta capacidad reducida limita a todo el resto del evacuador de crecidas.
- ✓ La alternativa de aumentar la capacidad de evacuación propuesta comprometería el pie de la presa

3.2.3 Diagnóstico y Definiciones de Terreno y Gabinete para Estudio de Rehabilitación Embalse Aromos (Ref [3])

Este estudio, encargado a MN Ingenieros el año 2022, tuvo como objetivo principal realizar una revisión y análisis de los antecedentes existentes, para poder efectuar un diagnóstico del estado del embalse Aromos, y así poder determinar el tipo de suelos en los que se encuentra fundado y en base a esto, proponer los trabajos de gabinete y terreno que son necesarios para su rehabilitación.

Revisada la Referencia [3], en la presente Consultoría **se mantienen los comentarios realizados en ésta**, tal como ya se ha venido mencionando con anterioridad en el presente informe.

En esta Consultoría (Ref [3]) se hizo una recopilación, revisión crítica de una serie de antecedentes y visitas a terreno, entre los antecedentes tenidos a la vista estaban:

Información Digital

- Anteproyecto Embalse Aromos - Dirección de Riego – 1972.
- Actualización del proyecto Obras de Salida Embalse Aromos - San Martín – 2000.
- Perfil Obras E Aromos - Jorquera – 2009.
- Vertedero Embalse Aromos - Dirección de Riego – 1974 (incompleto)
- Presa Aromos Fusegate Sistema, Proposición Preliminar - Hydroplus Int – 2000.
- Geología del Área de Ubicación del Embalse Los Aromos – 1971.
- Actualización Diagnóstico Embalse Aromos del año 1981.
- Aromos - Diagnóstico y Definiciones de Terreno y Gabinete para estudio de Rehabilitación.
- Diseño de Obras para la Ampliación del Embalse Aromos - EDIC 2018.
- Estudio Sísmico Bidimensional Simplificado Analítico de la Presa del embalse Aromos, Región de Valparaíso – Universidad de Chile – 2021.
- Diseño Obras de Atravesado, Subida Lateral y Descarga para proyecto Conducción Los Aromos-Concón – ESVAL – 2020.
- Actualización Hidrológica Embalse Aromos Región de Valparaíso - Universidad de Chile – 2020.
- Informe Final Embalse Aromos – IDIEM – 2001.
- FUSE GATE – 2012.
- Información Instrumentación.
- Planos Expropiación Aromos – 1975.

- Info Digital (Cartografía 2020).

Información Física

- Anteproyecto Embalse Aromos – 1972.
- Embalse Aromos, Especificaciones Técnicas – 1974.
- Estudio Geotécnico Proyecto Embalse Aromos, Provincia de Valparaíso - (Universidad de Chile), Talloni, 1973.
- Informe Preliminar Hormigones en el Vertedero, 1980.
- Libro de Obras (años 87-88-89-90).
- Memoria de Construcción Muro Embalse Aromos, 1980.
- Vertedero Embalse Aromos, Dirección de Riego - 1974.

Cada profesional realizó con esta información un diagnóstico preliminar por cada especialidad involucrada (Hidráulica, Hidrología, Geotecnia de Presas y Licuefacción, y Mecánica de Suelos y Rocas), si bien se encontraban dentro de los alcances de la mencionada referencia, algunos temas como túnel de desvío, estabilidad de presa y otros no tenían directa relación con la presente Consultoría, por lo que en este caso solo se revisó lo relacionado con el evacuador de crecidas y el estudio hidrológico, temas relevantes para desarrollar el presente Estudio.

En este estudio se realizaron visitas a terreno verificando que la DOH no lleva un registro del embalse, tales como controles topográficos, piezométricos, entre otros, sólo la empresa Esvál maneja la entrega de agua del embalse, por otra parte, el especialista geotécnico observó una diferencia entre lo observado y lo informado en un plano geológico del proyecto, concluyendo que esta situación podría contribuir a filtraciones por el estribo derecho.

Los principales puntos del diagnóstico preliminar efectuado, son los siguientes:

- El cuerpo de la presa como tal, no debiera presentar problemas de estabilidad si no fuera por la incertidumbre que genera la presencia de materiales potencialmente licuables en su fundación, y por la inconsistencia que muestran los controles de instrumentación.
- El problema de mayor probabilidad de ocurrencia inmediata, lo constituye la incapacidad que presenta el sistema de evacuación de crecidas, el cual sería insuficiente ante eventos de baja probabilidad de ocurrencia.
- Actualmente, el vertedero es capaz de evacuar un caudal de 1.000 m³/s, sin embargo, el colchón disipador, sólo puede descargar una crecida con un periodo de retorno aproximado de 8 años, lo cual equivale a 383 [m³/s], valor muy por debajo de la que debería ser la crecida de diseño, la cual, en este caso, y de acuerdo con la experiencia del presente Consultor, debiera corresponder a la crecida decamilenaria (T=10.000 años), por la cantidad de asentamiento humano aguas abajo de la presa, es decir en este caso, un caudal equivalente a 1.800 m³/s, según lo planteado por EDIC/2018 o 3.100 m³/s, de acuerdo al estudio de la Universidad de Chile/2021.

3.2.3.1 Análisis de Soluciones para Aumentar Capacidad de Evacuación

A raíz del punto anterior, MN Ingenieros analiza las soluciones propuestas en el estudio de EDIC (Ref.[1]) y en el de la Universidad de Chile (Ref.[2]), descartando ambas, ya que la de EDIC si bien soluciona el problema de evacuación, es una alternativa muy costosa desde el punto de vista económico, y la de la Universidad de Chile, por ser poco factible y no tener cálculos ni explicaciones al respecto, pudiendo afectar el pie de la presa.

Por otro lado, MN Ingenieros propone nuevas soluciones, las cuales se presentan a continuación:

- Propuesta 1: Presa Rebalsable

MN Ingenieros plantea transformar parte del coronamiento y el talud de aguas abajo de la presa, en un vertedero frontal y una caída escalonada mediante hormigón rodillado, el cual trabajaría en conjunto con el evacuador existente (1.000 m³/s).

Al final de la caída, se proyectaría un colchón mucho menor a uno tradicional, que se conectaría con el colchón existente, es decir, las aguas evacuadas por la caída escalonada, serían descargadas por sobre el muro del colchón existentes. Este comportamiento deberá ser modelado física y/o computacionalmente.

Esta alternativa sería de construcción económica y veloz, debido al uso de hormigón rodillado.



Figura 3.3 – Esquema propuesta 1, presa rebalsable
(Fuente: Ref. [3])

- Propuesta 2: Dos (2) túneles de descarga

Se propone construir 2 túneles de 12 m de diámetro al costado derecho del evacuador existente, en la zona del canal de aproximación. Por cada túnel se transportaría 1.050 m³/s y trabajarían en conjunto al evacuador existente (1.000 m³/s), con una velocidad aproximada sería de 10 m/s y una longitud de 270 m aproximadamente.



Figura 3.4 – Esquema propuesta 2, 2 túneles
(Fuente: Ref. [3])

En relación a la capacidad actual del evacuador y los alcances de la presente Consultoría, en ésta se adoptará una solución compatible con ambas alternativas propuestas cuando el embalse esté operando con su capacidad de 60,3 hm³.

3.2.3.2 Propuesta de Trabajos Futuros Embalse los Aromos

a) Trabajos inmediatos

Estos trabajos surgen a partir de los problemas detectados al comienzo del proyecto, y el presente Consultor, al igual como se señaló en el numeral anterior, mantiene su postura indicada en Ref.[3] frente a esto, ya que posee un carácter de urgencia debido a que afectan a la seguridad de las obras, y de las poblaciones aledañas al embalse. Dichos problemas tienen relación con el nulo control realizado en el embalse (controles topográficos, piezométricos, etc), y la baja capacidad que posee el evacuador de crecidas, el cual sólo es capaz de descargar un caudal asociado a una crecida con periodo de retorno de 8 años.

Los trabajos de terreno propuestos son los siguientes:

- Catastro del estado y funcionamiento de todos los piezómetros existentes, tanto en el muro como aguas abajo de este.
- Catastro del estado de los monolitos de control topográfico del muro del embalse, así como de los puntos de referencia utilizados para la medición de deformaciones.

- Una vez realizados los puntos anteriores, y habiendo realizado los trabajos de rehabilitación y reconstrucción, se iniciarán las mediciones periódicas con los instrumentos.
- Protección con hormigón (del tipo compactado con rodillo o HCR) la parte inferior del paramento aguas abajo de la presa y el espacio entre dicho pie y el muro izquierdo del colchón disipador.
- Refuerzo del radier del colchón.
- La obra de entrada del evacuador de crecidas, en su estado actual sin compuertas, tiene capacidad para 1.000 m³/s. Sin embargo, el canal y el rápido que lo lleva al colchón disipador son para caudales mucho menores. Los consiguientes desbordes hacia la presa se habrían controlado con la protección indicada anteriormente. Se deben estudiar peraltes provisorios del lado derecho para evitar desbordes del flujo. El trabajo consistiría en peraltar los muros del canal de empalme y del rápido de descarga, hasta alcanzar la revancha de seguridad (calculada para el caudal indicado al comienzo).

Respecto a los estudios de gabinete propuestos, estos estarán enfocados en la seguridad del evacuador de crecidas. Para esto se indica que se deberá determinar la superficie entre el pie de presa y el colchón disipador que deberá ser protegido con HCR. Además, se deberá contemplar dejar descubiertos los pozos de alivio existentes y mantener operativo el pozo de agua existente, esto implica, por ejemplo, modificar la ubicación de los tableros eléctricos.

b) Trabajos de terreno

MN Ingenieros propone efectuar, luego de haber realizado los trabajos del punto anterior, las siguientes labores:

- Rehabilitación de la instrumentación existente
- Medición de instrumentación disponible, una vez que se haya realizado el punto anterior.
- Prospecciones e instrumentación adicional para mejorar la información disponible respecto de las propiedades geotécnicas de los materiales de las zonas 1 y 2.

c) Trabajos Definitivos

Estos trabajos se encuentran asociados a completar las obras de descarga y evacuación, rediseño e instalación de compuertas y rehabilitación del embalse.

- Aumentar la capacidad de evacuación de crecidas
- Verificar el impacto hídrico de las crecidas aguas abajo del embalse

- Habilitar las obras de entrega y desagüe del embalse
- Estudio de arrastre de sedimento y volumen muerto
- Habilitación de compuertas en vertedero
- Estudiar el potencial de licuefacción de los suelos del embalse y posibles soluciones:
- Análisis sobre influencia del emplazamiento de la tubería Esva en el espaldón de la presa, y su influencia sobre su estabilidad y operabilidad

Comentario de este Consultor a Ref.[3] para la presente Consultoría

Se mantienen los comentarios realizados en la reciente Consultoría “Rehabilitación Embalse Aromos” Ref.[3].

El alcance de la Consultoría de la Ref.[3] fue proponer los estudios y trabajos de terreno necesarios para una próxima ingeniería, la cual debería permitir materializar las obras para completar el embalse Aromos, y así pueda alcanzar su capacidad original de proyecto de 60,3 hm³.

En relación a la capacidad actual del evacuador y los alcances de la presente Consultoría, en ésta se adoptará una solución compatible con alternativas de evacuación propuestas cuando el embalse esté operando con su capacidad de 60,3 hm³.

Durante el desarrollo de la Consultoría surgió la necesidad inmediata de aumentar la capacidad del canal de empalme y colchón disipador del evacuador de crecidas, además de la protección del área ubicada aguas abajo de la presa dado que quedó en evidencia que el colchón disipador del embalse Aromos, tiene una capacidad para un caudal correspondiente a 383 m³/s, lo que equivale a un caudal que puede ocurrir cada 5 años según el estudio de la Universidad de Chile 2021 (Ref.[2]) y de 8, según estudio de EDIC (Ref.[1]). Sin embargo, la entrada del evacuador de crecidas, en su estado actual sin compuertas, tiene capacidad para 1.000 m³/s.

3.2.4 Carta Trabajos de Emergencia Ref. [4]

En relación a este documento no se tienen más antecedentes que difieran de lo planteado en este documento.

3.2.5 Levantamiento Topográfico Elaborado por Servicio de Operación del Embalse Aromos, MN Ingenieros 2022.

Planos topográficos proporcionados por la DOH de la zona del pie de presa entre éste y el muro izquierdo del colchón disipador, también se recibió parte de la planimetría del evacuador.

3.2.6 Planos 6557 (2/20), 6559 (4/20), 6562 (7/20), 6567 (12/20), 6568 (13/20), 6569 (14/20), 6570 (15/16/20) de proyecto elaborado por Solano Vega Vischi, 1977 para Dirección de Riego (Planos Evacuador Proyecto Original)

De acuerdo a inspección visual los planos del proyecto original del evacuador no coinciden con lo realmente construido, esto ya que en los muros canal de empalme y rápido, los planos indican 25 cm, sin embargo, estos tienen un espesor de 18 cm, por otra parte, en planos de diseño se observan contrafuertes, en revisión de terreno no se constata la construcción de éstos.

En los planos de diseño estructural del evacuador de crecidas no existe la cantidad de armadura y número de anclajes mínimos exigidos de acuerdo a normativa actual.

4 VISITAS A TERRENO

Se realizaron 3 visitas, la primera fue realizada el lunes 16-01-23, su objetivo fue confirmar o rectificar la ubicación propuesta para las calicatas y analizar en terreno las alternativas propuestas en la ya mencionada revisión de etapa tendientes a aumentar la capacidad de evacuación del embalse y proteger el pie de la presa.

En la visita se tomó conocimiento que el Servicio de Operación del Embalse Aromos realizarán algunos levantamientos topográficos en el área de esta Consultoría, información que se considera relevante para el diseño y especificaciones de las obras de Emergencia, por lo tanto, es importante disponer de ella.

En relación a las características geométricas de los muros, en la visita a terreno se observó que el espesor del evacuador de crecidas en el canal de empalme y rápido es de 18 cm, por lo que es una estructura esbelta considerando la altura del muro, lo que es un tema importante a considerar en el tipo de alternativa de solución a desarrollar para la obra del evacuador en la próxima etapa de esta Consultoría y en el estudio de aumento de capacidad del embalse a 60 hm³ próximo a licitar.

Por otra parte, para el evacuador de crecidas se constata que existen algunas diferencias entre el proyecto de diseño versus lo construido, entre otros:

- Muros canal de empalme y rápido, planos indican 25 cm, sin embargo, como ya se comentó en el párrafo anterior estos tienen un espesor de 18 cm.
- En el tramo desde el km 0,035 a 0,050 en planos se observan 5 contrafuertes equidistantes a 3,5 m y de espesor 25 cm, los cuales no se encuentran materializados.
- No se tiene certeza de los fierros y anclajes utilizados en la construcción de esta obra respecto de los planos de proyecto.

Posteriormente se hacen 2 visitas los días 3 y 10 de febrero del año 2023, las que tenían los siguientes objetivos:

- Inspección visual y levantamiento de equipos mecánicos y eléctricos afectados por la obra de protección de HCR
- Visualizar en terreno las alternativas de reubicación de equipos mecánicos y eléctricos.

Más detalles de la visita ver Anexo N°2 - Visita Terreno.

5 TRABAJOS DE TERRENO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Se excavaron 5 calicatas de 4 m de profundidad, las que fueron muestreadas en los diferentes estratos para obtener la caracterización geotécnica. En Anexo N°3 – Trabajos Terreno se entrega registro de perfiles estratigráficos, fotografías y certificados de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio que se realizaron son:

- ✓ Descripción Estratigráfica
- ✓ Límites de Atterberg
- ✓ Peso Unitario
- ✓ Densidad de partículas sólidas
- ✓ Peso Saturado
- ✓ Humedad natural
- ✓ Proctor
- ✓ CBR
- ✓ Clasificación

La excavación de calicatas se ejecutó mediante el uso de retroexcavadora montada en neumáticos marca JCB. El plan de excavación consideró la confección de bancos para el posicionamiento de la máquina a niveles inferiores a la superficie del suelo y de esta forma llegar a las profundidades deseadas.

La excavación de calicatas y ensayos de laboratorio fue supervisada por el Constructor Civil y Laboratorista Vial clase B Sr. Claudio Contreras, también formó parte del equipo el Laboratorista Vial C Sr. Javier Astudillo y un ayudante. Además, estuvo presente el Profesional Estructural de la Consultoría Felipe Contreras.

La fecha de ejecución de las calicatas fue el día 20 de enero 2023, continuando posteriormente con los ensayos de laboratorio.

La ubicación de las calicatas se muestra en la figura y tabla siguiente:



Figura 5.1 – Ubicación de calicatas

Las coordenadas de las calicatas, son:

Tabla 5-1 – Coordenadas de calicatas

Calicata	E	N	Prof	Ubicación	Justificación
C-1	275.743	6.351.370	4,0 m	Abajo borde izquierdo colchón disipador	Características geotécnicas en pie del cerro
C-2	275.768	6.351.384	4,0 m	Al medio borde izquierdo colchón disipador	Características geotécnicas en centro de apoyo del HCR
C-3	275.796	6.351.386	3,5 m	Llegada del rápido de descarga lado izquierdo del colchón disipador	Características geotécnicas del suelo cercano a al colchón disipador
C-4	275.772	6.351.356	4,0 m	En pie de presa	Determinar perfil estratigráfico en pie de presa
C-5	275.747	6.351.362	4,0 m	Entre C-2 y C-4	Determinación del límite del suelo limo orgánico encontrado en C-2

En primera instancia se tenía considerado hacer 3 calicatas (C-1 a C-3), sin embargo, en la calicata C-2 existe un estrato con materia orgánica que va desde 1,4 a 1,6 m (estrato N°3) por lo que se optó por realizar una calicata extra en el pie de la presa, no apareciendo este estrato acá, solo para verificar el límite en ubicación de este estrato se realizó una nueva calicata entre C-2 y C-4.

Las calicatas C-4 y C-5, fueron ejecutadas como complemento a las 3 calicatas oficiales para el contrato, con el objetivo de caracterizar de mejor forma el suelo de fundación del RCC a proyectar, estas calicatas son a completo cargo y responsabilidad de este Consultor

Con los resultados de los ensayos de laboratorio y descripción estratigráfica se determinaron:

- ✓ La profundidad de excavación para llegar al nivel de fundación apta para instalar el HCR, es así como el área se dividió en 3 sectores que van desde una excavación de 0,5 m a 1,8 m
- ✓ La capacidad de soporte del suelo de fundación resultó de 1,44 kg/cm² para la condición estática y 2,0 kg/cm² para la condición eventual (Anexo N°3 Informe de Mecánica de Suelos).

Resumen de ensayos realizados se encuentran en tabla siguiente, detalles de las estratigrafías de las calicatas y resultados de ensayos se encuentran en Anexo N°3 – Ensayos.

Tabla 5-2 - Resumen de ensayos realizados

Calicata	ESTRATO	Estrato Profundidad (m)		Clasificación Visual	Clasificación en Laboratorio		Límites de Atterberg		Proctor Modificado		
		Desde (m)	Hasta(m)	USCS	AASHTO	USCS	Limite Líquido, (%)	Índice de Plasticidad, (%)	D.M.C.S (kg/m ²)	Humedad Optima (%)	CBR 95% DMCS (%)
CECH-01	2	0,40	1,00	GM	A-2-4 IG:0	SM	Indeterminable	NP	1.836	13,5	
CECH-01	3	1,00	4,00	SP o SW	A1-a IG:0	SP-SM	Indeterminable	NP	2.110	8,2	69
CECH-02	2	0,40	1,40	GM	A-2-4 IG:0	SM	Indeterminable	NP	2.095	7,9	57
CECH-02	3	1,40	1,60	ML o MH	A-7-5 IG:25	MH	78	26	-----	-----	-----
CECH-02	3	1,60	4,20	SP o SW	A1- b IG:0	SW-SM	Indeterminable	NP	2.119	7,1	62
CECH-03	2	0,60	3,00	SP o SW	A1-b IG: 0	SW-SM	Indeterminable	NP	2.136	7,5	74
CECH-04	2	0,30	1,00	SP o SW	A1-b IG: 0	SM	Indeterminable	NP	2.055	8,5	46
CECH-04	3	1,00	2,60	GM	A1-b IG:0	SM	Indeterminable	NP	2.027	9,5	
CECH-04	4	2,60	4,00	SP o SW	A1-b IG:0	SW-SM	Indeterminable	NP	2.102	8,0	52
CECH-05	2	0,40	1,00	SP o SW							
CECH-05	3	1,00	4,00	SP o SW							

6 DISEÑO DE OBRAS DE EMERGENCIA

Con el fin de dar seguridad y mantener la operatividad del embalse mientras se desarrollen y materialicen los estudios definitivos de rehabilitación del embalse, y dado que no todo el evacuador tiene la capacidad de evacuar $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondientes al caudal de entrada del vertedero en su estado actual sin compuertas, se propuso en la Consultoría “Diagnóstico y Definiciones de Terreno y Gabinete para Estudio de Rehabilitación Embalse Aromos”, MN Ingenieros 2022 los siguientes mejoramientos:

- a) Peraltamiento muros canal de empalme – rápido de descarga
- b) Reforzamiento estructural losa colchón disipador
- c) Protección zona entre pie de presa y cochón disipador

Las soluciones antes indicadas consideran mantener la continuidad operacional del embalse y son compatibles con el futuro proyecto de rehabilitación a la capacidad de diseño original de $60,3 \text{ hm}^3$.

En esta Consultoría se evaluaron dichas soluciones considerando una revisión hidráulica y estructural de éstas, es así como:

6.1 PERALTE MUROS CANAL DE EMPALME - RÁPIDO DE DESCARGA Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL LOSA COLCHÓN DISIPADOR

6.1.1 Revisión Hidráulica Evacuador de Crecidas

Para determinar en donde es necesario peraltar el muro del rápido, se realiza un eje hidráulico a lo largo de esta obra, determinando las características hidráulicas del escurrimiento, las cuales se comparan con las cotas de los muros existentes.

Al no contar con planos As-built, se utilizan los planos originales (Referencia [6]) para determinar las cotas de fondo y las cotas de los muros de las obras existentes, además de la memoria de cálculo del evacuador, en donde se describen ciertas formas relevantes, como la del “Ogee”.

Los cálculos se realizan para distintos coeficientes de Manning, siendo el más desfavorable el $n=0,018$, el cual aumenta la altura de escurrimiento. Adicionalmente, se verifica la cota en el canal trapecial que permite evacuar los $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los resultados del eje hidráulico y revancha requerida se encuentran en la siguiente figura:

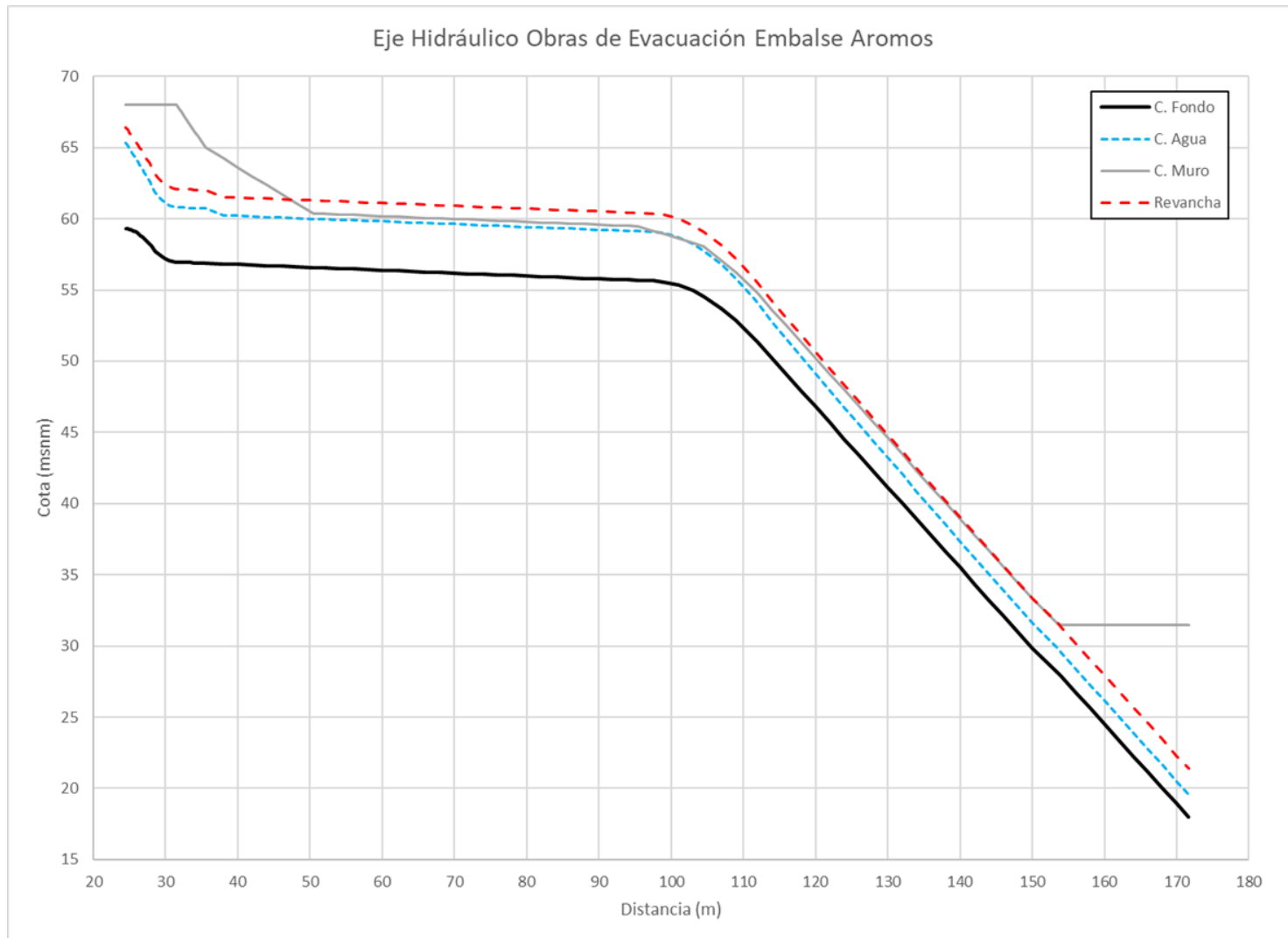


Figura 6.1 - Niveles Evacuador de Crecidas

Como se puede apreciar, desde el km 0,048 (canal de empalme) hasta el Km 0,153 (rápido de descarga), no se cumple el criterio de revancha. El punto más desfavorable, se encuentra en el Km 0,116 (parábola), con un déficit de 1,41 m de muro. Sin embargo, en términos generales, en el canal de empalme y rápido de descarga, el déficit no supera el metro de altura.

Entre el Km 0,099 y el Km 0,101, se aprecia que la cota de agua está por encima de la cota del muro por pocos centímetros. Esto implica un derrame del escurrimiento.

Considerando lo anterior, para cumplir con la capacidad del evacuador de 1.000 m³/s correspondientes al caudal de entrada del vertedero se define el siguiente peraltamiento en los distintos tramos del evacuador que permitirían estar por encima de la revancha calculada.

- Canal de empalme: Se debe peraltar los muros en 1,00 m, desde el Km 0,048 hasta el Km 0,0955.
- Rápido de descarga: Se deben peraltar los muros en 1,00 m, desde el km 0,11153 al Km 0,136.
- Parábola: en este tramo, entre el Km 0,0955 y el 0,10375, se debe mantener la pendiente del muro proveniente del canal de empalme ($i=0,02$). Entre el Km 0,10375 y el Km 0,11153, se debe mantener la pendiente del muro proveniente del rápido de descarga ($i=0,558$).

Es importante resaltar que, en el rápido de descarga sólo se consideraría peralte hasta el Km 0,136 debido a que el déficit de revancha desde ese punto en adelante, es menor (máximo 0,15 m). Además, se prevé que la topografía del sector, dificulte la construcción del peralte. Por último, la cercanía de la protección con HCR, confirma el peraltamiento del muro hasta el Km 0,136.

A continuación, se presenta un esquema de lo indicado anteriormente. La línea verde, representa el muro peraltado.

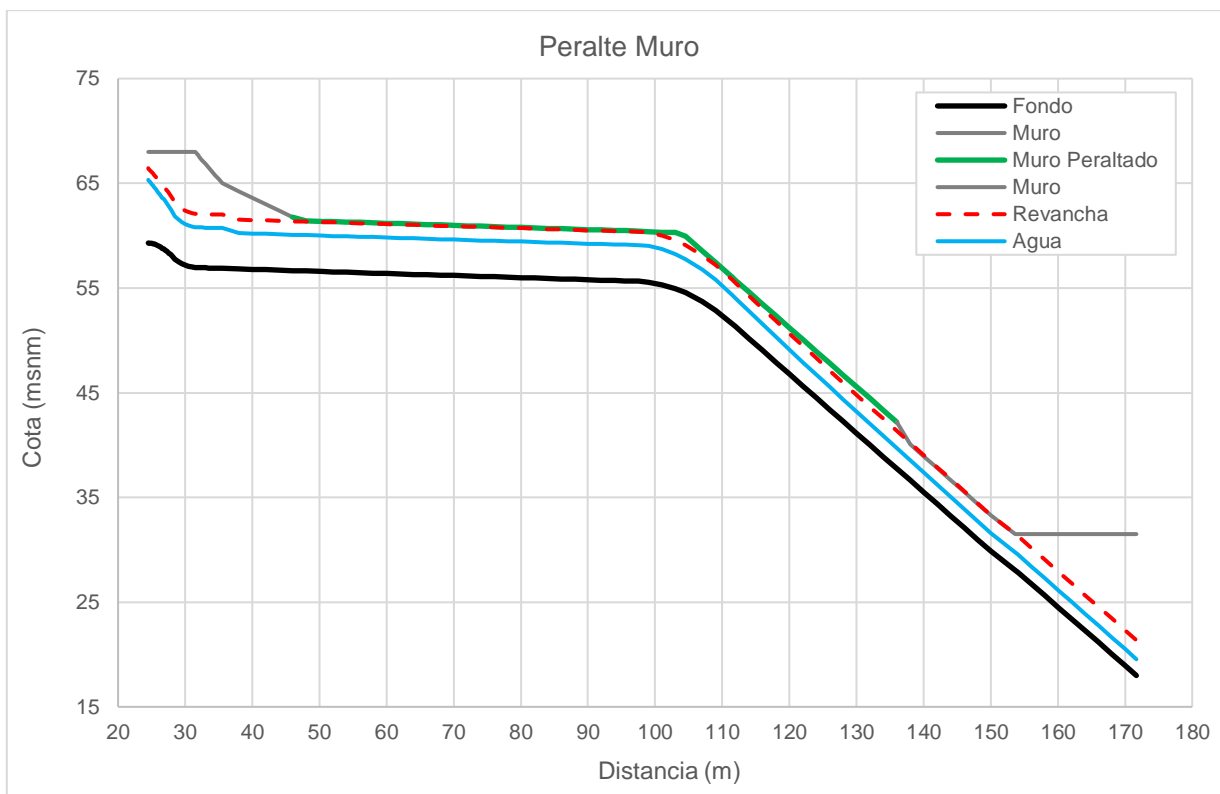


Figura 6.2 - Esquema peralte de muros

Detalles ver en Anexo 5 – Cálculo Hidráulico Peralte Rápido

6.1.2 Revisión Estructural Evacuador de Crecidas

6.1.2.1 Muros Canal de Empalme

Se realiza revisión de obra en terreno y planos de diseño, observando lo siguiente:

- Espesor de muros no coinciden con planos de diseño, en el proyecto se observan 25 cm y en terreno se constatan 18 cm.
- En planos de diseño se observan contrafuertes en el tramo, en revisión de terreno no se constata la construcción de éstos.
- Se realiza el cálculo estructural de los muros utilizando normativa vigente y según lo observado en planos las cuantías de acero utilizadas son menores a los estándares actuales (ver Anexo N°4 – Cálculo Muro Rápido de Descarga)

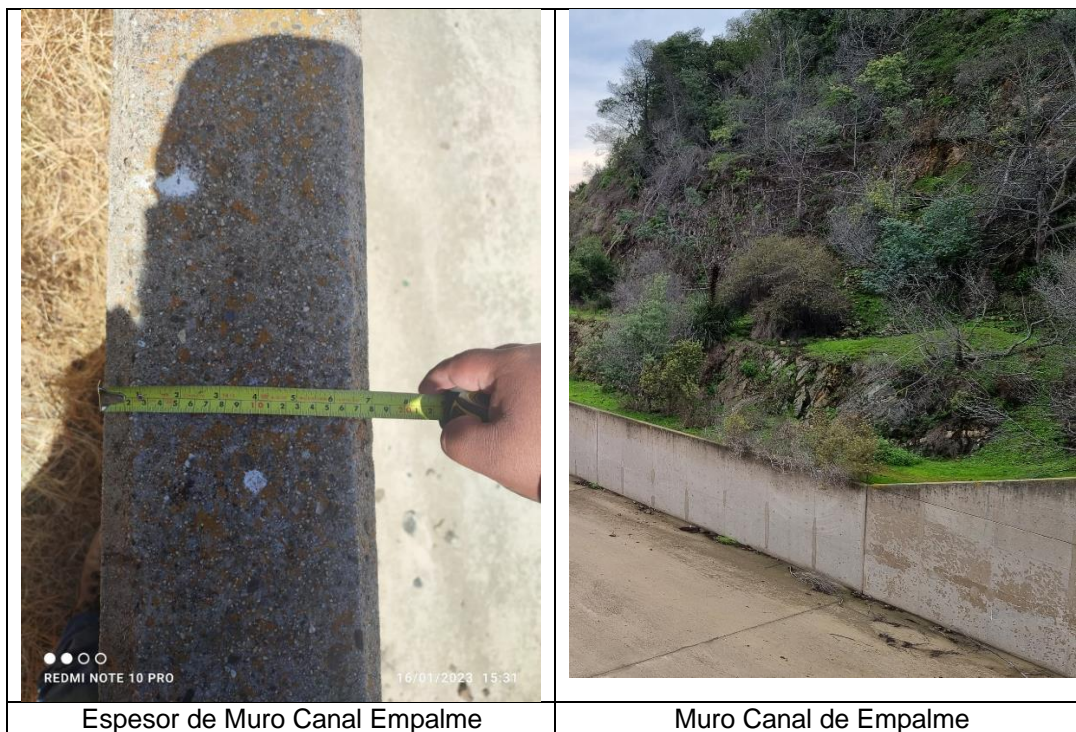


Figura 6.3 - Fotografías de Terreno

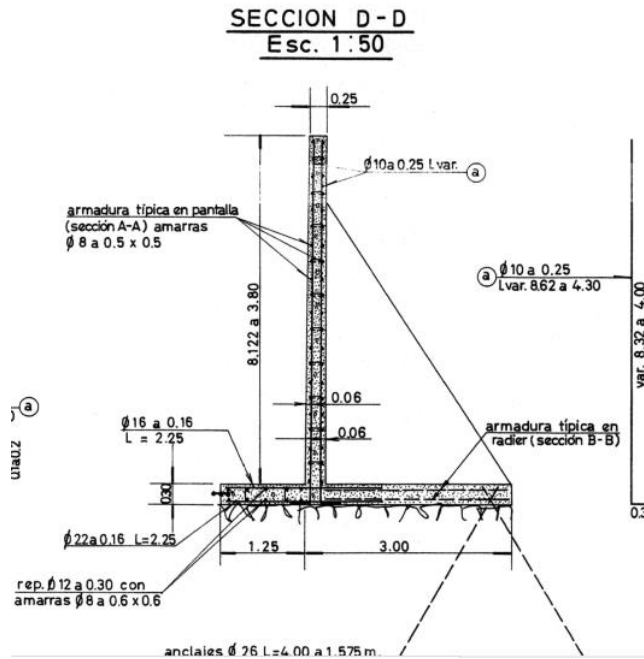


Figura 6.4 - Sección Típica del Muro

Nota: Se adjuntan planos de diseño en Anexo N°1 - Antecedentes Planos (Ref [6])

- d) No se dispone de planos As built, por lo que no se tiene certeza de la enfierradura realmente dispuesta en la construcción.

6.1.2.2 Muros Rápido de Descarga

Se realiza revisión de obra en terreno y planos de diseño, observado lo siguiente:

- a) Se realiza el cálculo estructural de los muros utilizando normativa vigente y según lo observado en planos las cuantías de acero utilizadas son deficientes para los estándares actuales, además se utiliza enfierraduras A 44 -28 H, de mayor ductilidad, pero de menos resistencia, se calcula además la fisuración, la cual no cumple con la fisuración admisible para obras hidráulicas, la cual es de 0,33 mm (ver Anexo N°4 – Cálculo Muro Rápido de Descarga)

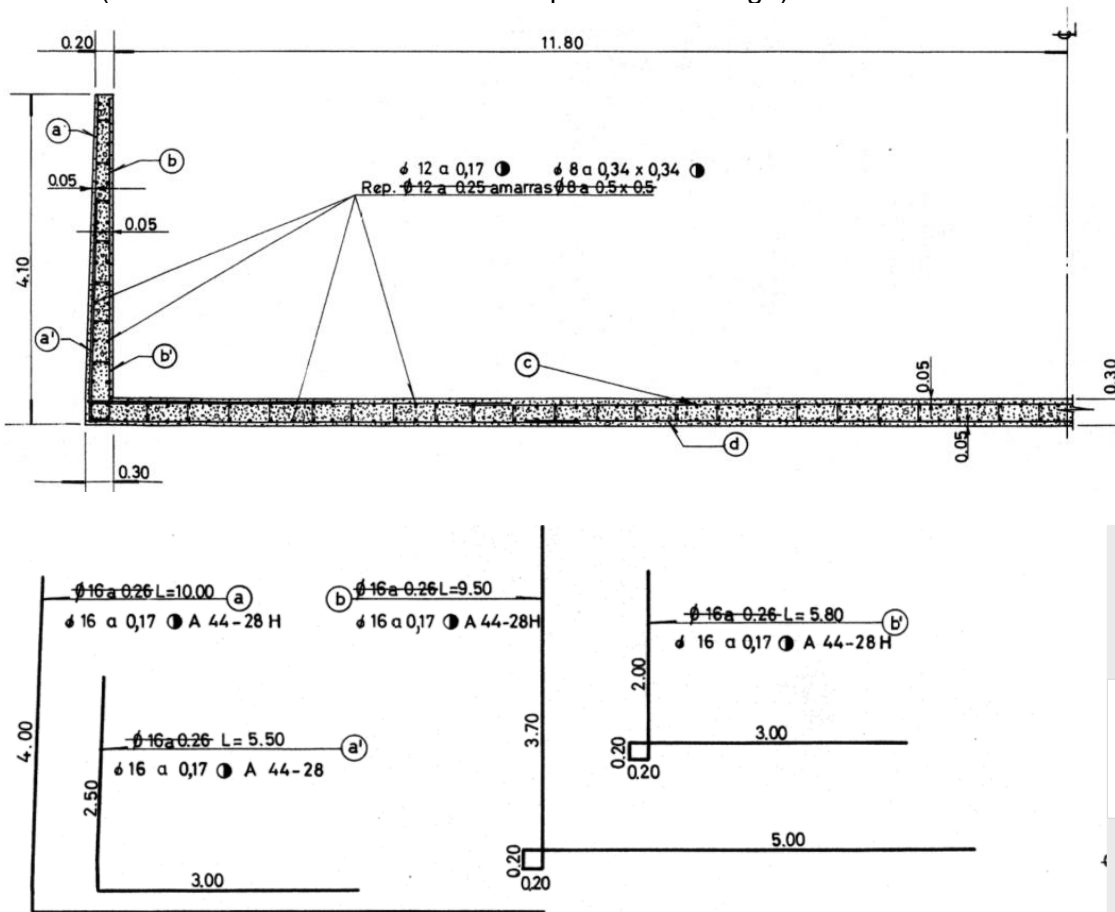


Figura 6.5 - Planos de Proyecto

- b) No se dispone de planos As built, por lo que no se tiene certeza de la enfierradura realmente dispuesta en la construcción.

6.1.2.3 Estabilidad Global del Evacuador de Crecidas

Según las normas actuales de la Dirección de Obras Hidráulicas, las cuales este consultor acoge y ha utilizado en los diseño de ingeniería de detalle de embalse tales como, Camiña, Livilcar, Valle Hermoso, Empedrado, Zapallar, en el cual se utilizan las fórmulas para estimar la subpresión en el piso de evacuador; $(0,15 V^2)/2g$ y $(0,20 V^2)/2g$, para casos normal y eventual respectivamente.

En base a lo indicado, se realizó en Anexo 5 - Peralte Rápido, el cálculo hidráulico del evacuador de crecidas y se obtuvo el perfil de velocidades de éste, con esta información se realizó el cálculo de la grilla de pernos que debería tener el evacuador de crecidas en el piso para evitar el despegue por la subpresión, el cual se resume en la siguiente tabla en condición normal para tener un valor mínimo de pernos:

Tabla 6-1: Cálculo de grilla de pernos condición normal

Km	V [m/s] T= 1.000 años	P = 22 mm	Normal $0,15V^2/2g$	Grilla	Area Grilla A x A	Area x Subp	C. Normal
38,000	12,40	14,36	1,18	2,5x2,5	6,25	7,36	OK
107,000	13,84	14,36	1,47	2,5x2,5	6,25	9,16	OK
109,000	14,47	14,36	1,60	2,0x2,0	4,00	6,41	OK
118,000	17,52	14,36	2,35	2,0x2,0	4,00	9,40	OK
120,000	18,11	18,56	2,510	2,0x2,0	4,00	10,040	OK
126,000	19,71	18,56	2,972	2,0x2,0	4,00	11,887	OK
128,000	20,19	18,56	3,120	1,5x1,5	2,25	7,020	OK
166,000	26,65	18,56	5,437	1,5x1,5	2,25	12,232	OK
168,000	26,90	18,56	5,538	1,25 x 1,25	1,56	8,654	OK
171,688	27,34	18,56	5,721	1,25 x 1,25	1,56	8,939	OK

Revisado los planos de diseño se observa solo una grilla de 2x2 m al final del rápido, lo cual resulta insuficiente de acuerdo a las normas actuales de la Dirección.

Por otra parte, al no tener planos As Built tampoco se tiene certeza de los pernos colocados.

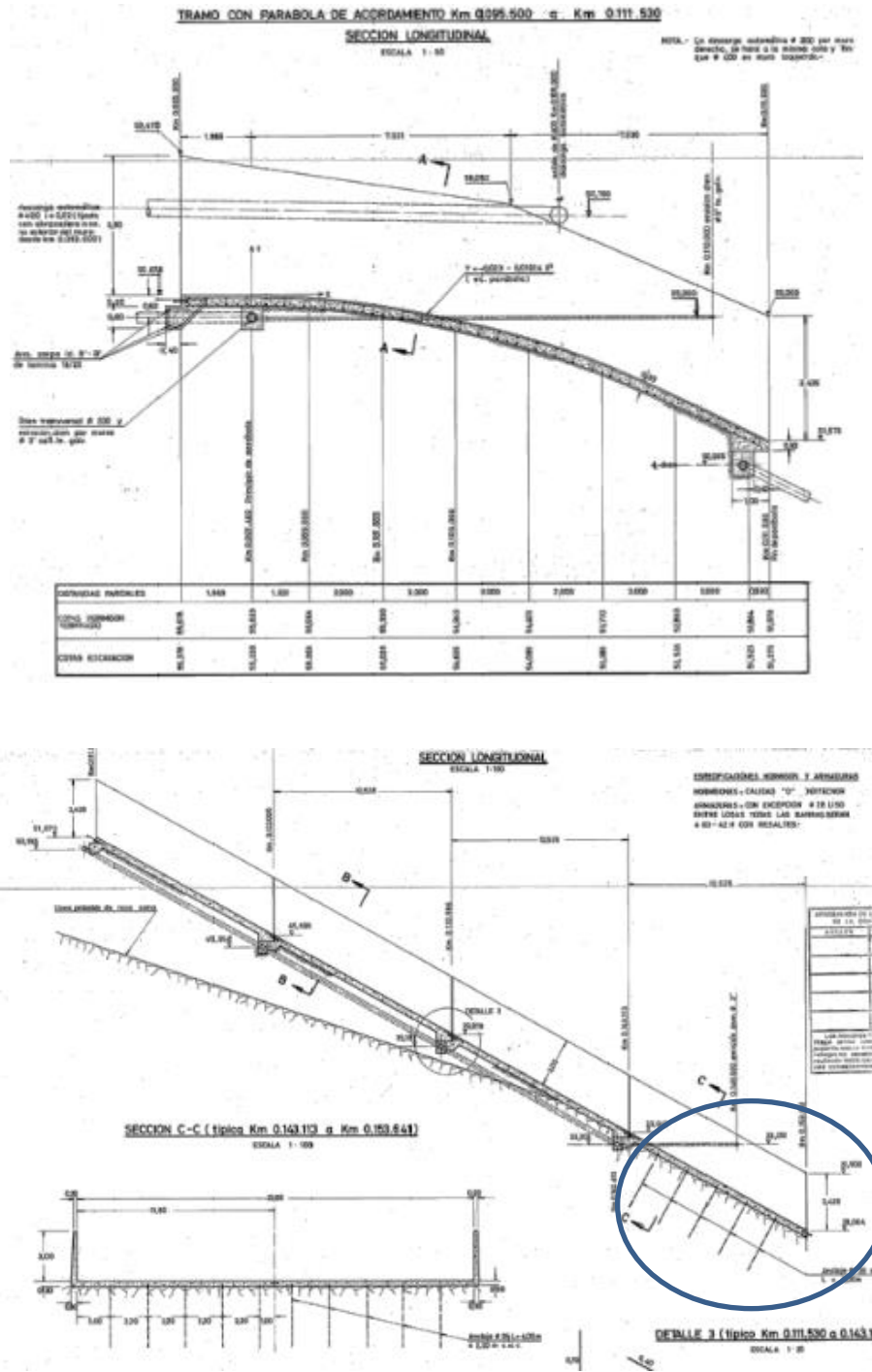


Figura 6.6 - Planos de Proyecto

6.1.3 Conclusión y Recomendación

A continuación, se detallan las conclusiones y recomendaciones en relación al **peraltamiento de muros y refuerzo del colchón disipador**.

- ✓ Aun cuando la revisión hidráulica de la obra indicaría que se podrían peraltar los muros del rápido de descarga en uno de sus tramos, de tal manera de cumplir con la revancha mínima requerida, realizada la revisión estructural descrita en el numeral 6.1.2, no se recomienda para este **Diseño de Emergencia** hacer una modificación en el evacuador de crecidas ya construido, dado lo siguiente:
 - En los planos de diseño del evacuador de crecidas no existe la cantidad de enfierradura y número de anclajes mínimos exigidos de acuerdo a normativa actual, ver Anexo N°3 Memoria Estructural Rápido de Descarga.
 - En visita a terreno se constató que no se observan los contrafuertes que están indicados en los planos de diseño y que el espesor de los muros del rápido de descarga y canal de empalme los planos indican 25 cm, sin embargo, estos tienen un espesor de 18 cm
 - Al no existir planos As built y no visualizar algunos elementos estructurales (contrafuertes) que estaban en los planos de proyecto, no se tiene certeza de las armadura y anclajes colocados.
- ✓ A cambio del peralte de los muros, se diseña una protección al pie de los muros del rápido, zona de parábola y canal de empalme. Esta protección estará constituida por una capa de hormigón convencional que cubrirá el terreno en el sector para evitar la erosión por el rebalse de los muros.
- ✓ Se recomienda para la futura ingeniería de rehabilitación del Embalse Aromos hacer un catastro del evacuador de crecidas en relación a lo realmente construido, es decir verificar la enfierradura y anclajes existentes con el fin de determinar si es necesario diseñar un reforzamiento estructural. Para investigar la situación de la armadura superficial en muros y su distribución, se podría realizar en terreno un ensayo no destructivo mediante georadar. Adicionalmente, se podría realizar ventanas de inspección para conocer el diámetro efectivo de las barras y su estado de corrosión.

6.2 PROTECCIÓN ZONA ENTRE PIE DE PRESA Y COLCHÓN DISIPADOR

Para la protección de la parte inferior del paramento aguas abajo de la presa y el espacio entre dicho pie y el muro izquierdo del colchón disipador se considera la colocación de un hormigón del tipo compactado con rodillo o HCR. Por el talud de aguas abajo de la presa, la cota a alcanzar por esta protección con HCR es la cota 35 msnm (ver Anexo 5 -Cálculo Hidráulico Cota de protección).

De acuerdo a los resultados de laboratorio para fundar el HCR en el pie de la presa se definieron en 3 sectores de excavación: sector 1 de 0,5 m, sector 2 de 0,6 m y sector 3 de 1,8 m.

Sobre la parte baja del talud de aguas abajo de la presa, la protección con HCR tendrá forma escalonada, de manera tal de hacerlo compatible con una posible solución definitiva planteada por MN en su estudio del 2022 (Referencia [3]). y que deberá ser evaluada en la futura Consultoría de Rehabilitación del embalse.

A continuación, se presenta un esquema con un escalón de 1,0 m de altura en el sector del muro y una cota de 35,0 msnm. Al pie de presa hasta el muro del rápido un espesor de 60 cm.

En las siguientes figuras se muestran la solución:

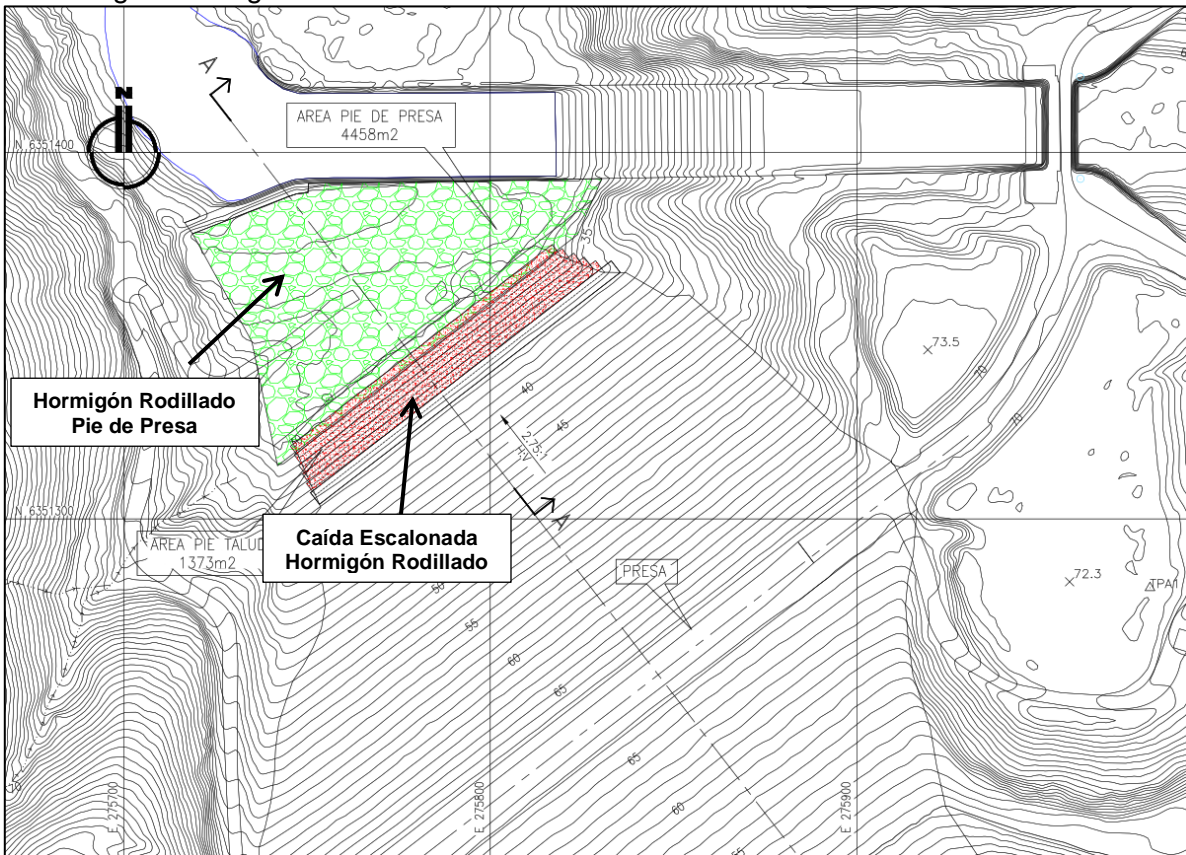


Figura 6.7 - Protección a pie de presa

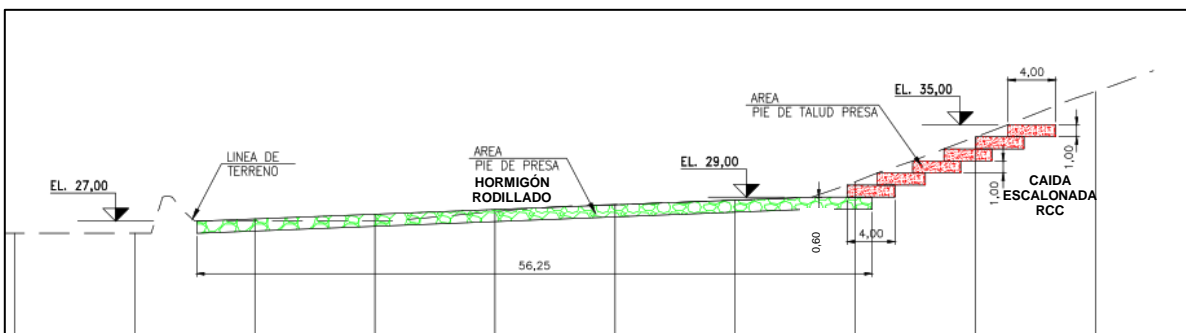


Figura 6.8 - Caída escalonada

Actualmente existe agua aposada al costado izquierdo del colchón disipador, sin tener la certeza de la causa, dado lo anterior cuando esta zona se inunde por rebalse del colchón disipador estos niveles de agua implicarán un peralte de los niveles dentro del cuerpo de la presa, por tanto, se estima necesario complementar el sistema de protección con HCR con un sistema de drenaje que evacúe las aguas hacia el estero.

Para el sistema de drenaje se proyectó, bajo los escalones (desde 35 msnm), la colocación de material drenante que descargarán en los 3 drenes perpendiculares ubicados al pie de presa que a su vez descargan las aguas a un canal rectangular de hormigón, paralelo al muro izquierdo del colchón disipador, a la salida de esta obra se diseña un caudalímetro (ver Anexo N°5: Cálculo Hidráulico Medidor de Caudal). Los 3 drenes se proyectaron con pendiente constante e igual a $i=2\%$.

Además, los mencionados drenes poseen drenes adicionales, en forma de “espina de pescado”, con el objetivo de captar la mayor cantidad de agua posible. Éstas últimas, no serán consideradas en los cálculos por su corta longitud. Este sistema de drenaje actuaría en paralelo a los pozos de alivio existentes.

El drenaje se construye bajo una excavación trapecial de taludes 2:3 (H:V), con base 1 m. Bajo esta base, en una excavación rectangular, se proyecta el dren, con una profundidad de 0,6 m. Sobre el dren, se rellenará la zanja con el mismo material de la excavación, compactado con placas.

El material drenante, se envolverá en un geotextil (200 gr/m²), durante toda la extensión del dren.

Con esta obra los caudales de crecidas que eventualmente sobrepasarían ambos muros del canal de empalme y el rápido de descarga por el lado izquierdo, verterían hacia el pie de la presa ya protegido y de ahí al colchón disipador y desde aquí escurrirían en conjunto hacia aguas abajo por el estero. Por el lado derecho inundarían temporalmente la salida del túnel, por donde la presa hace entrega de las aguas.

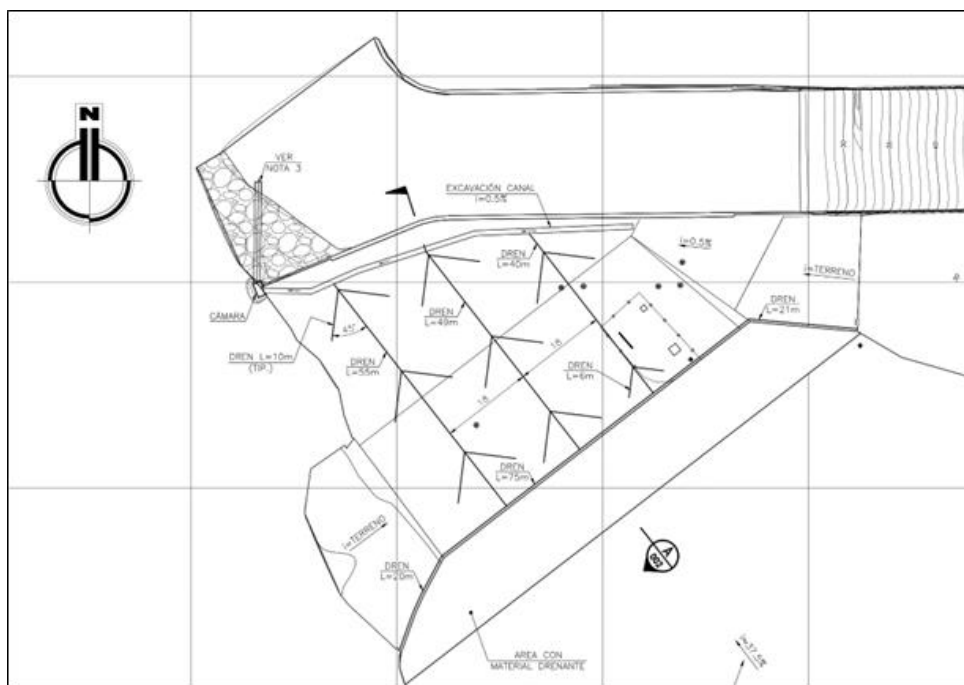


Figura 6.9 - Planta drenes

6.2.1 Diseño Hidráulico

a) Cálculo hidráulico para determinación cota nivel de protección HCR

En el caso de que se evacuen caudales altos y no se tengan las obras definitivas, inevitablemente se producirá un desborde. Los primeros se producirán por el rápido, lo que llegarán a la zona de pie de presa. Por lo tanto, la superficie a proteger, depende directamente de la cota de agua que se forme entre el colchón y el pie de presa. Si bien no existe ninguna metodología que aborde esta problemática, se modela la situación como si el muro derecho del colchón actuase como un vertedero de pared delgada, que vierte hacia el estero Limache el cual “ahoga” la salida del colchón por lo que se dificulta la estimación de caudal de entrega desde el colchón sino es por un modelo físico y/o computacional (fuera alcance de esta Consultoría).

Dado lo anterior, se procede a determinar una curva de descarga que relacione caudal evacuado sobre el muro y la cota de agua en la poza teniendo en consideración un caudal máximo de 1.000 m³/s, optando por considerar que el 50% del caudal vierte por sobre el muro y el restante 50% se entrega por el colchón.

Los siguientes esquemas muestran la modelación indicada:

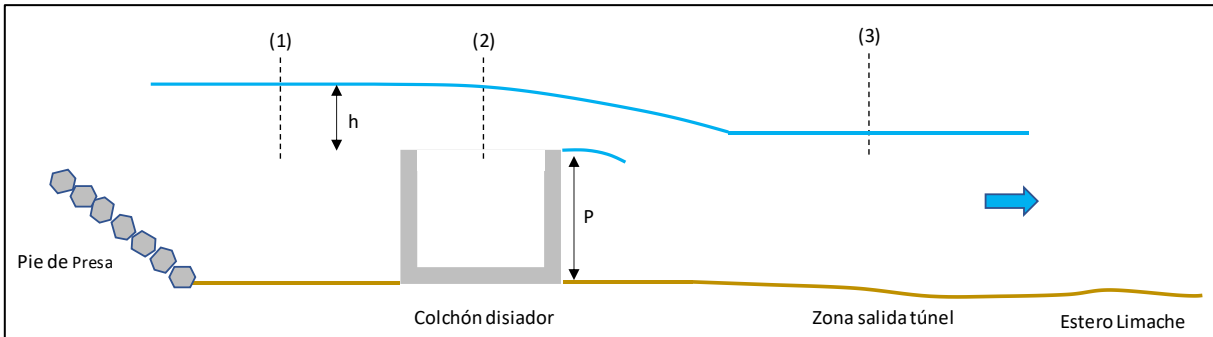


Figura 6.10 - Esquema modelación

El punto (1), corresponde a la poza que se formará entre el pie de presa y el colchón disipador. Este sector es el que se protegerá. El punto (2), corresponde al colchón disipador y, por último, el punto (3), corresponde al estero Limache a la altura del túnel de salida. Este último punto se escogió por la cercanía al colchón disipador y porque se conocen las condiciones de escurrimiento para distintos caudales.

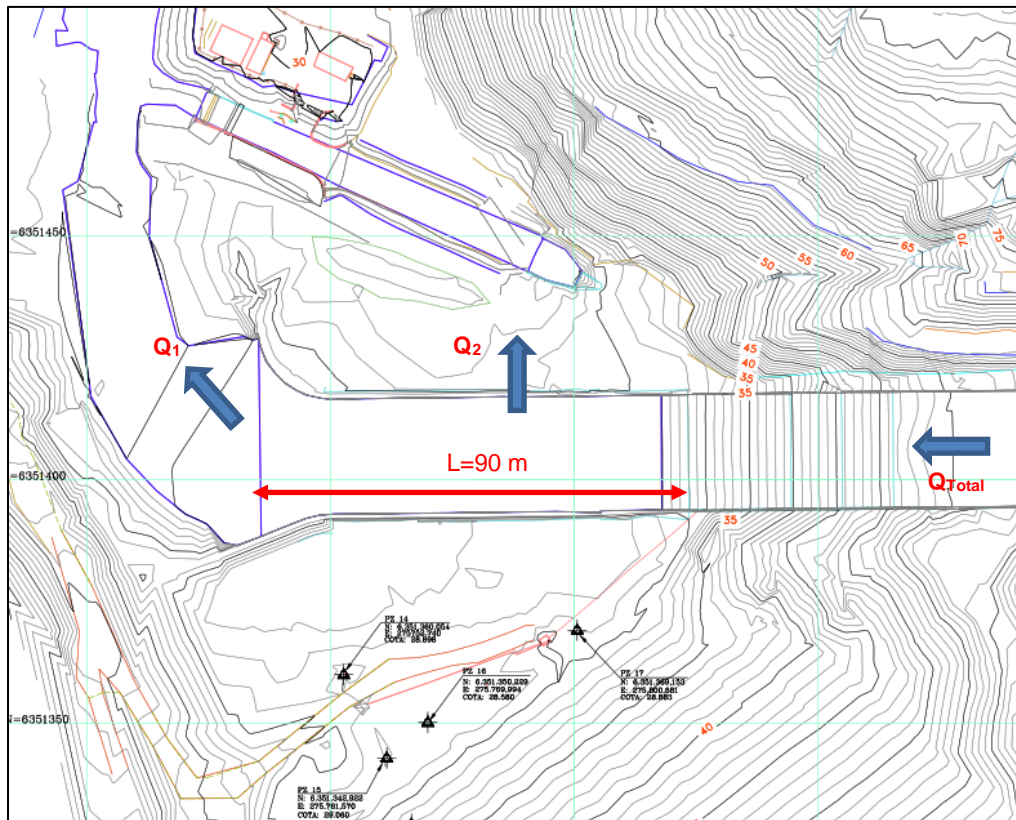


Figura 6.11 - Colchón disipador

Donde $Q_{Total} = Q_1 + Q_2$

A continuación, se presenta la curva de descarga del flujo que se descarga por sobre el muro izquierdo del colchón disipador, con las consideraciones ya mencionadas.

Tabla 6-2 - Curva de descarga

Q _{Total} (m ³ /s)	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₂ (m ³ /s)	H _c (m)	H _{c/a}	m	h/a	h (m)	Q (m ³ /s)	CA (msnm)
1.000	0	1.000	2,33	0,517	0,352	0,824	3,71	1000,0	35,21
1.000	100	900	2,17	0,482	0,344	0,780	3,51	900,03	35,01
1.000	200	800	2,01	0,446	0,324	0,750	3,38	800,02	34,88
1.000	300	700	1,83	0,408	0,300	0,722	3,25	700,03	34,75
1.000	400	600	1,66	0,368	0,269	0,700	3,15	600,00	34,65
1.000	500	500	1,47	0,326	0,240	0,670	3,01	500,06	34,51
1.000	600	400	1,26	0,281	0,201	0,649	2,92	399,99	34,42
1.000	700	300	1,04	0,232	0,160	0,624	2,81	300,01	34,31

De la tabla anterior, se puede concluir lo siguiente:

- ✓ Si se considera el caso más desfavorable, es decir, que todo el caudal (1.000 m³/s) es vertido al estero Limache por sobre el muro del colchón, la cota de la poza alcanzaría los 35,21 msnm.
- ✓ Para el caso adoptado, es decir que el 50% es vertido por sobre el muro del colchón, la cota de la poza alcanza los 34,51 msnm, por lo que se recomienda extender la superficie de protección de hormigón rodillado, hasta la cota 35,00 msnm.

Más detalles de la verificación hidráulica ver en Anexo N°5: Cálculo Hidráulico Cota protección.

b) Verificación hidráulica drenajes

- Los 3 drenes tienen una capacidad máxima de transporte de 36,6 l/s.
- El canal de hormigón rectangular, tiene una capacidad máxima de 2,83 m³/s, por lo que podría transportar sin problemas el agua proveniente de drenes o agua lluvia que se acumule en la zona de protección.

Más detalles de la verificación hidráulica ver en Anexo N°5: Cálculo Hidráulico Drenes

6.2.2 Diseño Estructural

Una vez obtenidos los parámetros de mecánica de suelos correspondientes, se comenzó con la modelación del hormigón rodillado (HCR) sobre el suelo de fundación, para esto se utilizó el programa SAFE, con el fin revisar la capacidad de soporte del suelo de fundación.

Los resultados del modelo de elementos finitos indican que la carga máxima a la que estará sometido el suelo de fundación es de 0,511 kg/cm² y 1,298 kg/cm² para las condiciones normales y eventuales respectivamente (ver Anexo N°4 - Memoria Cálculo Hormigón Rodillado).

Considerando los parámetros geotécnicos obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio, la capacidad de soporte del suelo donde se fundará la estructura es de $1,44 \text{ kg/cm}^2$ para la condición normal y de $2,05 \text{ kg/cm}^2$ para la condición eventual.

Considerando los valores antes mencionados, la capacidad de soporte es de 2,8 y 1,6 veces mayor a la compresión que estará sometido el suelo de fundación para las condiciones normal y eventual respectivamente, dado lo anterior el suelo de fundación del HCR es apto para su instalación.

Considerar además que el modelo aplicado es conservador, debido a que el suelo de fundación se encuentra confinado y sin alteraciones por lo cual no se deberían esperar asentamientos importantes en el tiempo.

6.2.3 Conclusiones y Recomendaciones

- ✓ De acuerdo al análisis hidráulico se recomienda extender la superficie de protección con hormigón rodillado, hasta la cota 35,00 msnm.
- ✓ Considerando los parámetros geotécnicos determinados, la capacidad de soporte del suelo donde se fundará la protección con hormigón rodillado es de $1,44 \text{ kg/cm}^2$ para la condición normal y de $2,05 \text{ kg/cm}^2$ para la condición eventual.
- ✓ Los resultados del modelo de elementos finitos indican que la carga máxima a la que estará sometido el suelo de fundación es de $0,511 \text{ kg/cm}^2$ y $1,298 \text{ kg/cm}^2$ para las condiciones normales y eventuales respectivamente.
- ✓ Como complemento a la protección con HCR en el área entre el pie de la presa y el colchón disipador se diseña un sistema de drenaje que descarga al estero Limache comprendida por 3 drenes perpendiculares ubicados al pie de presa (capacidad de $36,6 \text{ l/s}$) que descargan las aguas a un canal rectangular de hormigón (capacidad $2,83 \text{ m}^3/\text{s}$), paralelo al muro izquierdo del colchón disipador.
- ✓ Las obras de protección diseñadas no presentan problemas ante una eventual licuefacción de los materiales de fundación de la presa, más aún, además de aportar peso al pie de presa, ayudan al confinamiento de los materiales potencialmente licuables. Por otra parte, los pozos de alivio existentes mantienen su operatividad.
- ✓ De acuerdo a lo ya indicado, no se tiene certeza del origen de la poza de agua que actualmente se encuentra al costado izquierdo del colchón disipador, por lo que se recomienda que la Asesoría de Construcción para la ejecución de los trabajos de Emergencia, específicamente cuando se esté realizando el drenaje de la poza hacer una investigación para definir claramente la procedencia de las filtraciones que conforman la poza observada (fotos, filmaciones, etc), de tal manera de encontrar una solución a éstas si se considerara necesario.
- ✓ Para evitar el aposamiento aguas abajo del colchón disipador, se recomienda solicitar en el estudio de rehabilitación hacer un estudio hidráulico con el que se

diseñe el mejoramiento de evacuación del estero Limache en el área aguas abajo del embalse.

6.3 INTERFERENCIAS CON OBRAS EXISTENTES

Al proteger el área al pie de la presa se generan interferencias con obras existentes a las que se le dará solución para que continúen con el objetivo para la cual fueron construidas o instaladas, estas son:

- 5 pozos de alivio (emplazados entre la vegetación existente). Se diseña el peralte del tubo de tal forma que queden sobre el nivel de la protección y dejar un tubo para poder medir el nivel de agua con un pozómetro y la correspondiente apertura para el vertimiento ante un eventual funcionamiento del pozo.
- Pozo N°1 para agua potable oficinas de la Dirección Regional de la DOH, actualmente fuera de uso. Se desplazará el sistema eléctrico a la nueva plataforma del área eléctrica.
- Pozo N°2 para agua potable oficinas de la Dirección Regional de la DOH, actualmente en uso. Se protegerá el sistema de válvulas y flujómetro mediante una cámara de hormigón (spool), además se trasladará a esta cámara el manómetro digital que actualmente se encuentra a un costado del pozo N°1. Las tuberías quedarán sobre el nivel del HCR de protección.
- Tablero eléctrico (telemetría). Se trasladará a la nueva plataforma del área eléctrica, en su lugar se construirá una cámara de registro eléctrica, desde la mencionada cámara se construirá una zanja que llevará ductos con los cables eléctricos hacia la plataforma ya mencionada. Esta plataforma se ubicará en la ladera derecha y a una cota superior al nivel de aguas esperado en el área (cota 35 msnm)
- Poste eléctrico con tablero. Se trasladará, y al ducto de la zanja antes mencionada se le agregarán los cables de fuerza correspondientes a las bombas de los pozos N°1 y N°2 y desde ahí a la plataforma del área eléctrica.
- Caseta en desuso. Se considera demoler.
- Pozo de agua en desuso (no hay claridad por parte de la DOH regional). Este pozo se considera usar para control de nivel de aguas subterráneas, por lo que se peraltará el tubo sobre el nivel de HCR y se dejará un tubo para medir con un pozómetro.

A continuación, se presentan imágenes de las interferencias

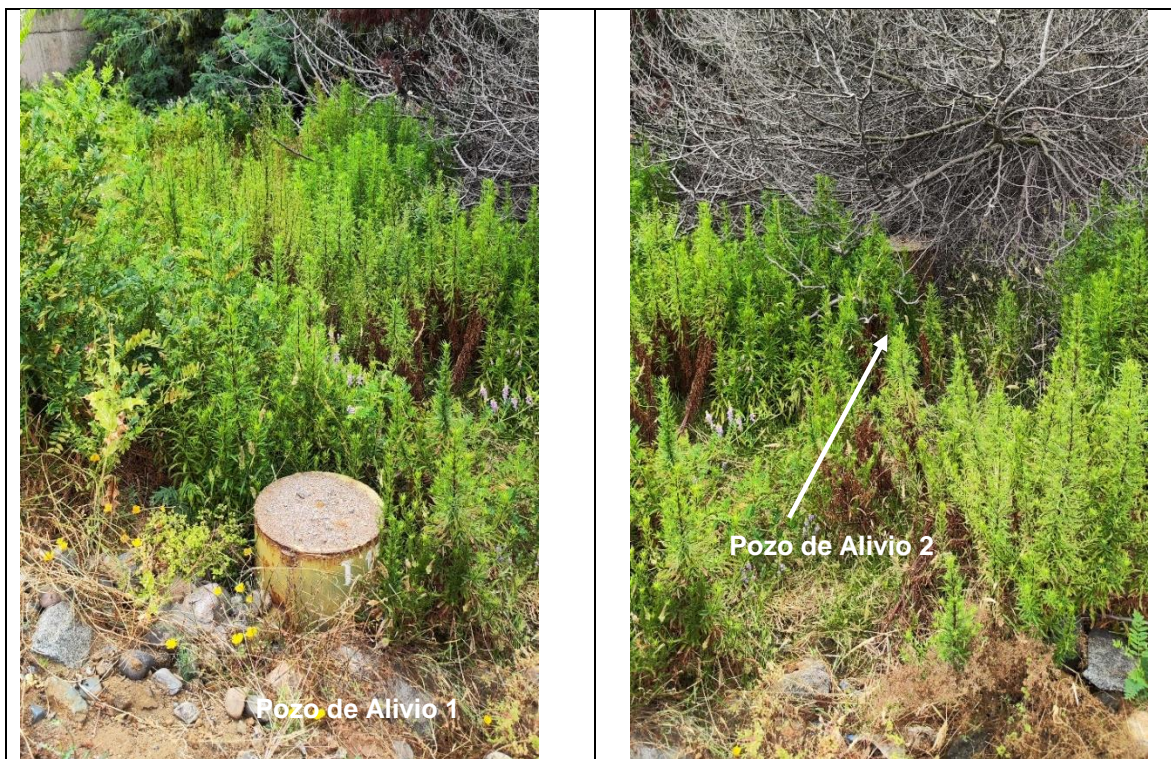


Figura 6.12 - Pozos de alivio 1 y 2

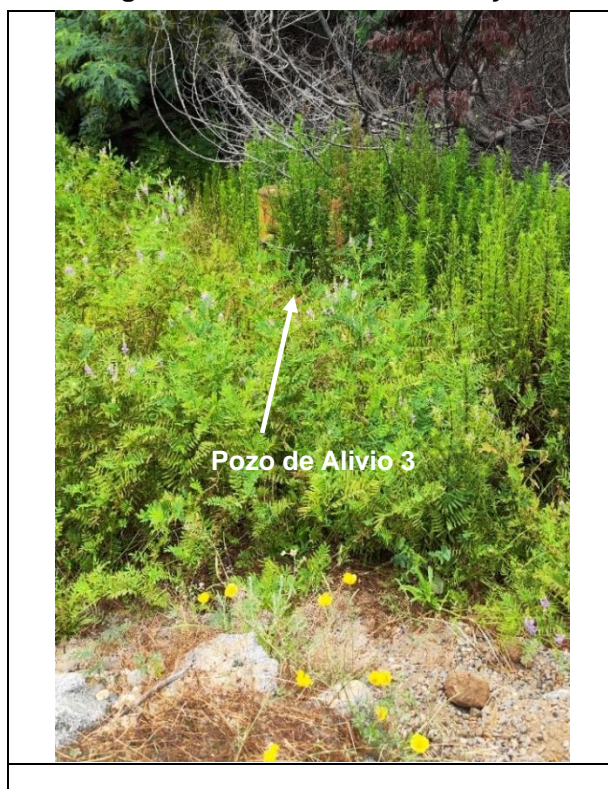


Figura 6.13 - Pozo de alivio 3, poste eléctrico con tablero y cámara de hormigón protección de pozo agua potable N°1



Figura 6.14 - Pozos de alivio 4 y 5



Figura 6.15 - Poste eléctrico con tablero y cámara de hormigón protección de pozo agua potable N°1



Figura 6.16 - Pozo agua potable N°2 con su línea de descarga soterrada y pozo agua potable N°1

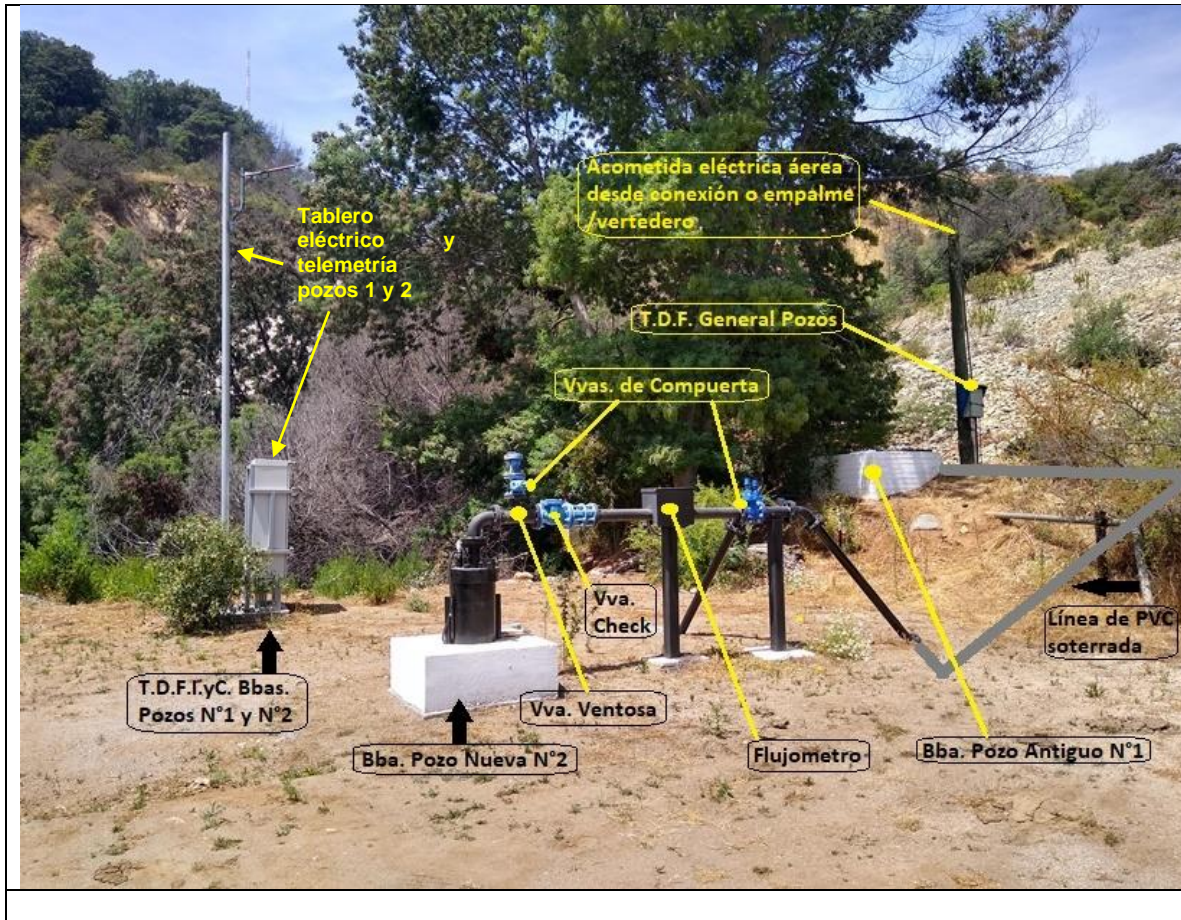


Figura 6.17 - Sistema eléctrico, instrumentación y bombas pozos N°1 y N°2



Figura 6.18 - Tablero eléctrico telemetría y caseta y pozo en desuso

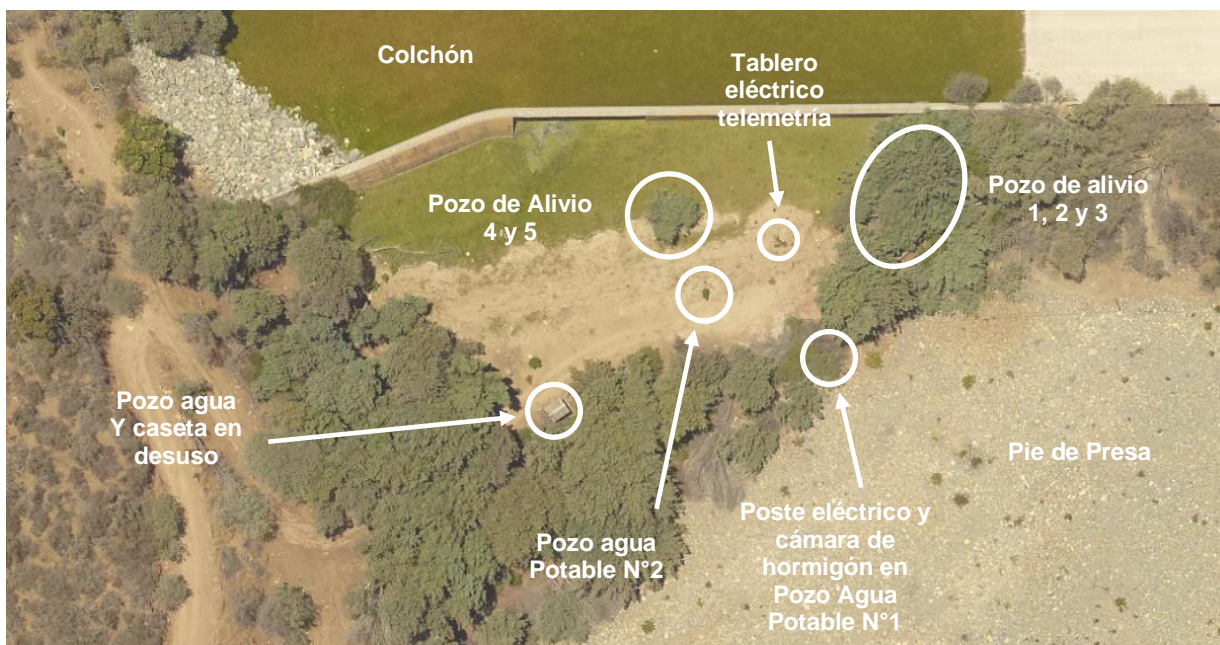


Figura 6.19 - Ubicación en planta de las interferencias

Las soluciones para las interferencias anteriormente planteada, fueron consensuadas con los profesionales de la DOH Regional en reunión con la Consultora y la DOH Nivel Central, en específico aquellas donde existe traslados y demolición.

7 DOCUMENTOS DE LICITACIÓN

7.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES Y ESPECIALES

Las especificaciones técnicas especiales de construcción de las obras (ETE), complementan las especificaciones técnicas generales de construcción del MOP (ETG).

Estas ETE incluyen todas las instrucciones y procedimientos adicionales a los incluidos en los planos, que son necesarios para definir las obras que conforman el proyecto, las modalidades de construcción de determinadas obras o la instalación de elementos que sean parte de éstas, es así como se realizarán las especificaciones para:

7.1.1 Obras Civiles

En éstas se especifican los replanteos, excavaciones, confección de hormigones, colocación de rellenos, colocación de hormigón HCR, entre otros, en Anexo 7 - ETE Electromecánicas se adjuntan detalle de las especificaciones.

7.1.2 Obras Eléctricas y Mecánicas

Se incluyen las especificaciones para el equipamiento eléctrico y mecánico incluido en las distintas obras del proyecto, incluyendo entre otras: servicios de ingeniería, suministro de equipos, montaje de equipos, puesta en servicio, en Anexo 7 - ETE Electromecánicas se adjuntan detalle de las especificaciones.

7.2 BASES DE MEDICION Y PAGO

Las Bases de Medición y Pago (BMP) definen la forma de medir cada uno de los ítems y los elementos que incluye y excluye el precio indicado en el presupuesto. El detalle de la base de medición y pago de cada uno de los ítems del presupuesto se encuentra en el Anexo 7 - BMP.

El detalle de la base de medición y pago de cada uno de los ítems del presupuesto se encuentra en el Anexo 7 - BMP.

7.3 PRESUPUESTO DE OBRA

El presupuesto de las obras del proyecto de “Diseño de Emergencia Embalse Aromos”, se obtuvo a partir de las cubicaciones de las obras, los Precios Unitarios utilizados se obtuvieron de la base de datos de este consultor, experiencia de los profesionales y cotizaciones de los materiales con más incidencia dentro de éste.

En la Tabla 7-1 se muestra un resumen del presupuesto de obra, con los respectivos porcentajes de incidencias de las partidas.

Tabla 7-1: Resumen del Presupuesto

RESUMEN DE PRESUPUESTO DE OBRA		
RESUMEN DE LA PARTIDA	PRECIO TOTAL	% DE INCIDENCIA
INSTALACION DE FAENA	\$ 85.490.000	5%
EXCAVACIÓN	\$ 45.175.286	3%
RELLENO	\$ 103.075.910	6%
HORMIGÓN	\$ 1.160.300.000	71%
ACERO	\$ 126.831.600	8%
ELEMENTOS ELÉCTRICOS, HIDRÁULICOS Y MECÁNICOS	\$ 38.188.146	2%
OTROS	\$ 77.500.400	5%
TOTAL COSTO DIRECTO	\$ 1.636.561.342	
GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (45%)	\$ 736.452.604	
IVA (19%)	\$ 450.872.650	
TOTAL	\$ 2.823.886.596	

Valores a Marzo 2023

Tal como se aprecia en la tabla la mayor incidencia en el presupuesto corresponde a la partida de hormigón, compuestas por hormigón G20 y hormigón rodillado (HCR) (71%), dentro de ellas la partida de hormigón G20 tiene una incidencia respecto al total del presupuesto del 13% y el HCR una incidencia del 58% (ver Anexo 7 – Presupuesto). Dado lo anterior se hizo un análisis de Precio Unitario de este último. (ver Anexo 7 – Cuadro de Precios).

7.4 PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN

De acuerdo a las obras a ejecutar, rendimientos considerados, la obra debería ejecutarse en su totalidad en 140 días.

Se consideran 15 días, para la instalación de faena, no obstante, los trabajos de escarpes y limpiezas, replanteos, entre otros se podrán ejecutar con anterioridad una vez que el contratista disponga de maquinaria, EPP y herramientas necesarias para los trabajos descritos.

Las partidas de mayores plazos corresponden a los hormigones, entre ellos el HCR, el cual está considerado en un plazo de 60 días con un rendimiento diario del orden de 100 m³/día

La instalaciones eléctricas y mecánicas, se considera un plazo de 70 días, y deberán quedar realizadas en su totalidad o con un porcentaje de avance sobre el 90% antes de comenzar con las obras del HCR, ya que se debe resguardar el suministro de agua potable para el campamento de la Dirección de Obras Hidráulicas ubicado en el Embalse Aromos.

En la siguiente figura se muestra un resumen del programa de construcción de la obra, el detalle de este se encuentra en el anexo 7 - Programa de Trabajo.

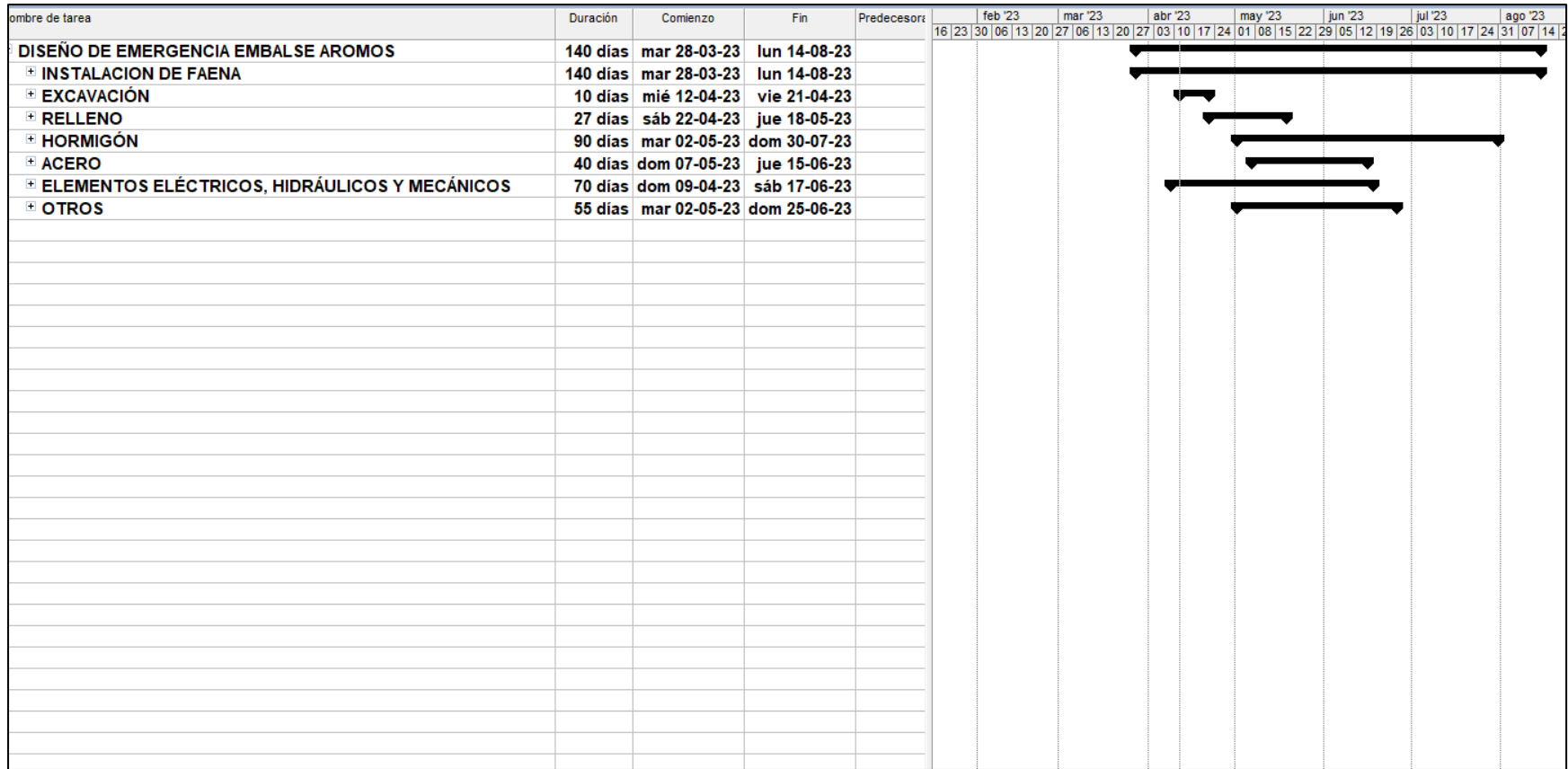


Figura 7.1 – Resumen de Programa de Trabajo

8 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

- ✓ En relación al peralte de muros y refuerzo en el colchón disipador se optó luego de una revisión estructural y visual del evacuador de crecidas no incluir en este Diseño de Emergencia ninguna modificación en el evacuador de crecidas ya construido a pesar que en el estudio que derivó en la presente Consultoría se había propuesto, ya que:
 - En los planos de diseño del evacuador de crecidas no existe la cantidad de enfierradura y número de anclajes mínimos exigidos de acuerdo a normativa actual.
 - En visita a terreno se constató que no se observan los contrafuertes que están indicados en los planos de diseño.
 - Al no existir planos As built y no visualizar algunos elementos estructurales (contrafuertes) que estaban en los planos de proyecto, no se tiene certeza de las armadura y anclajes colocados.
- ✓ Dado lo anterior, y a cambio del peralte, se diseña una protección al pie de los muros del rápido, zona de parábola y canal de empalme. Esta protección estará constituida por una capa de hormigón convencional que cubrirá el terreno en el sector para evitar la erosión por el rebalse de los muros.
- ✓ Se recomienda para la futura ingeniería de rehabilitación del Embalse Aromos hacer un catastro del evacuador de crecidas en relación a lo realmente construido, es decir verificar la enfierradura y anclajes existentes con el fin de determinar si es necesario diseñar un reforzamiento estructural.
- ✓ En relación a la protección con hormigón rodillado (HCR) se extiende la superficie de protección a la cota 35,00 msnm.
- ✓ Como complemento a la protección con HCR en el área entre el pie de la presa y el colchón disipador se diseña un sistema de drenaje que descarga al estero Limache comprendida por 3 drenes perpendiculares ubicados al pie de presa (capacidad de 36,6 l/s) que descargan las aguas a un canal rectangular de hormigón (capacidad 2,83 m³/s), paralelo al muro izquierdo del colchón disipador.
- ✓ Al no tener certeza del origen de la poza de agua que actualmente se encuentra al costado izquierdo del colchón disipador, se recomienda que la Asesoría de Construcción cuando se ejecuten los trabajos de este Diseño de Emergencia específicamente al realizar el drenaje de la poza, hacer una investigación del origen de las aguas (fotos, filmaciones, etc) ya que el agua podría provenir de filtraciones del estribo derecho de la presa.
- ✓ Para evitar el aposamiento aguas abajo del colchón disipador, se recomienda solicitar en el estudio de rehabilitación hacer un estudio hidráulico con el que se

diseño el mejoramiento de evacuación del estero Limache en el área aguas abajo del embalse.

- ✓ Se recomienda que a partir de cuando se tengan ejecutados los trabajos de emergencia llevar una estadística permanente de los niveles del agua en los pozos de alivio.

9 LISTADO PLANOS

Tabla 9-1 - Listado de Planos (Ver Anexo N°9)

LISTADO DE PLANOS		
N° PLANO	NOMBRE DEL PLANO	CÓDIGO
1	Planta General	
2	Pie Presa. Planta Excavaciones	DEA-DOH-110-PLACI-001
3	Pie Presa. Perfiles Transversales	DEA-DOH-110-PLACI-002
4	Pie Presa. Planta de Drenajes	DEA-DOH-120-PLACI-001
5	Pie Presa. Sección Drenaje	DEA-DOH-120-PLACI-002
6	Pie Presa. Planta HCR	DEA-DOH-130-PLACI-001
7	Pie Presa. Secciones - Rellenos. HCR 1 de 2	DEA-DOH-130-PLACI-002
8	Pie Presa. Secciones - Rellenos. HCR 2 de 2. Detalles Cámara	DEA-DOH-130-PLACI-003
9	Pie Presa. Canal. Planta - Secciones - Detalles	DEA-DOH-130-PLAES-001
10	Pie Presa. Rejillas y Tapas Canal 1 de 2. Planta - Detalles	DEA-DOH-130-PLAES-002
11	Pie Presa. Rejillas y Tapas Canal 2 de 2. Secciones - Detalles	DEA-DOH-130-PLAES-003
12	Pie Presa. Armaduras Canal 1 de 1. Planta - Secciones	DEA-DOH-130-PLAES-004
13	Cámara Pie Presa. Plantas - Secciones. Armaduras 1 de 2	DEA-DOH-130-PLAES-005
14	Cámara Pie Presa. Secciones. Armaduras 2 de 2	DEA-DOH-130-PLAES-006
15	Evacuador. Revestimiento Lateral 1 de 2. Planta	DEA-DOH-140-PLAES-001
16	Evacuador. Revestimiento Lateral 2 de 2. Secciones - Detalles	DEA-DOH-140-PLAES-002
17	Situación Proyectada. Armaduras. Planta - Elevaciones y Detalles	DEA-DOH-140-PLAES-003
18	Situación Proyectada. Disposición Tapas y Caja Estanca. Planta - Elevaciones y Detalles	DEA-DOH-140-PLAES-004
19	Planta Situación Actual Pie de Presa. Área Mecánica y Eléctrica	DEA-DOH-100-PLAEL-001
20	Planta Situación Proyectada Pie de Presa. Área Mecánica y Eléctrica	DEA-DOH-100-PLAEL-002
21	Situación Proyectada Manifold de Impulsión. Planta - Elevaciones y Detalles	DEA-DOH-100-PLAEL-003
22	Diagramas Eléctricos. Detalles	DEA-DOH-100-PLAEL-004

