



**MINISTERIO OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN OBRAS HIDRÁULICAS**

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

## **RESUMEN EJECUTIVO**

**Junio 2023**

**ÍNDICE**

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
3.1	ANTECEDENTES .....	6
3.2	REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES .....	7
3.2.1	Diseño de Obras para la Ampliación del Embalse Aromos (EDIC 2018) Ref. [1] ....	7
3.2.2	Actualización Hidrológica Embalse Aromos, Región de Valparaíso (Universidad de Chile, 2020) Ref. [2] .....	9
3.2.3	Diagnóstico y Definiciones de Terreno y Gabinete para Estudio de Rehabilitación Embalse Aromos (Ref [3]) .....	9
3.2.4	Carta Trabajos de Emergencia Ref. [4].....	10
3.2.5	Levantamiento Topográfico Elaborado por Servicio de Operación del Embalse Aromos, MN Ingenieros 2022. ....	10
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) .....	10
<b>4</b>	<b>VISITAS A TERRENO .....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>TRABAJOS DE TERRENO Y ENSAYOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>DISEÑO DE OBRAS DE EMERGENCIA .....</b>	<b>14</b>
6.1	PERALTE MUROS CANAL DE EMPALME - RÁPIDO DE DESCARGA Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL LOSA COLCHÓN DISIPADOR.....	14
6.1.1	Revisión Hidráulica Evacuador de Crecidas .....	14
6.1.2	Revisión Estructural Evacuador de Crecidas.....	16
6.1.3	Conclusión y Recomendación.....	17
6.2	PROTECCIÓN ZONA ENTRE PIE DE PRESA Y COLCHÓN DISIPADOR .....	18
6.2.1	Diseño Hidráulico .....	21
6.2.2	Diseño Estructural .....	23
6.2.3	Conclusiones y Recomendaciones .....	23
6.3	INTERFERENCIAS CON OBRAS EXISTENTES .....	24
<b>7</b>	<b>DOCUMENTOS DE LICITACIÓN .....</b>	<b>25</b>
7.1	ESPECIFICACIONES Técnicas Generales y Especiales .....	25
7.1.1	Obras Civiles .....	26
7.1.2	Obras Eléctricas y Mecánicas .....	26
7.2	Bases de Medicion y Pago .....	26
7.3	Presupuesto de Obra.....	26
7.4	Programa de construcCión .....	27
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>LISTADO PLANOS .....</b>	<b>30</b>






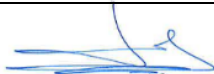



**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 5-1 – Coordenadas de calicatas .....	12
Tabla 5-2 - Resumen de ensayos realizados.....	13
Tabla 6-1: Cálculo de grilla de pernos condición normal .....	17
Tabla 6-2 - Curva de descarga.....	22
Tabla 7-1: Resumen del Presupuesto.....	26
Tabla 9-1 - Listado de Planos (Ver Anexo N°9) .....	30

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 5.1 – Ubicación de calicatas .....	11
Figura 6.1 - Niveles Evacuador de Crecidas.....	15
Figura 6.2 - Protección a pie de presa .....	19
Figura 6.3 - Caída escalonada .....	19
Figura 6.4 - Planta drenes.....	20
Figura 6.5 - Esquema modelación .....	21
Figura 6.6 - Colchón disipador .....	22
Figura 6.7 - Ubicación en planta de las interferencias .....	25
Figura 7.1 – Resumen de Programa de Trabajo.....	28

**DISEÑO DE EMERGENCIA AROMOS**

<b>Profesional</b>	<b>Cargo</b>	<b>Firma</b>
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 hm<sup>3</sup>, 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 hm<sup>3</sup>. 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 hm<sup>3</sup> 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 disipador del embalse Aromos, tiene una capacidad para un caudal extremadamente bajo, correspondiente a 383 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s, según lo planteado por EDIC/2018 o 3.100 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s, refuerzos en el colchón disipador y protección con hormigón rodillado o HCR en la zona entre pie de presa y colchón disipador.

## **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] 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)

### 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 hm<sup>3</sup>, hasta su capacidad de proyecto, que es de 60,3 hm<sup>3</sup>. 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.

Cabe mencionar que en este Resumen Ejecutivo no se incorporaron las especialidades que no tienen relación directa con las obras que se pretenden diseñar en esta Consultoría. Revisiones adicionales del presente informe.

### **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 dissipador del embalse Aromos, tiene una capacidad para un caudal extremadamente bajo, correspondiente a 383 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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.

### 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.

#### **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 m<sup>3</sup>/s (ver Ref.[3]), sin embargo, este estudio sólo considera el vertedero y se olvida del rápido y colchón dissipador, los cuales podrían limitar el caudal a evacuar.
- ✓ Es así como quedó en evidencia que el colchón dissipador del embalse Aromos, tiene una capacidad para un caudal extremadamente bajo, correspondiente a 383 m<sup>3</sup>/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 (duplicar el largo efectivo del vertedero) 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.

### **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 hm<sup>3</sup>.

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 hm<sup>3</sup>.

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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 y que da origen a la presente Consultoría.

#### **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.

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.

#### 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.

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

Resumen de las estratigrafías de las calicatas y resultados de ensayos se encuentran en la siguiente tabla:

**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 <sup>2</sup> )	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 m<sup>3</sup>/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 hm<sup>3</sup>.

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

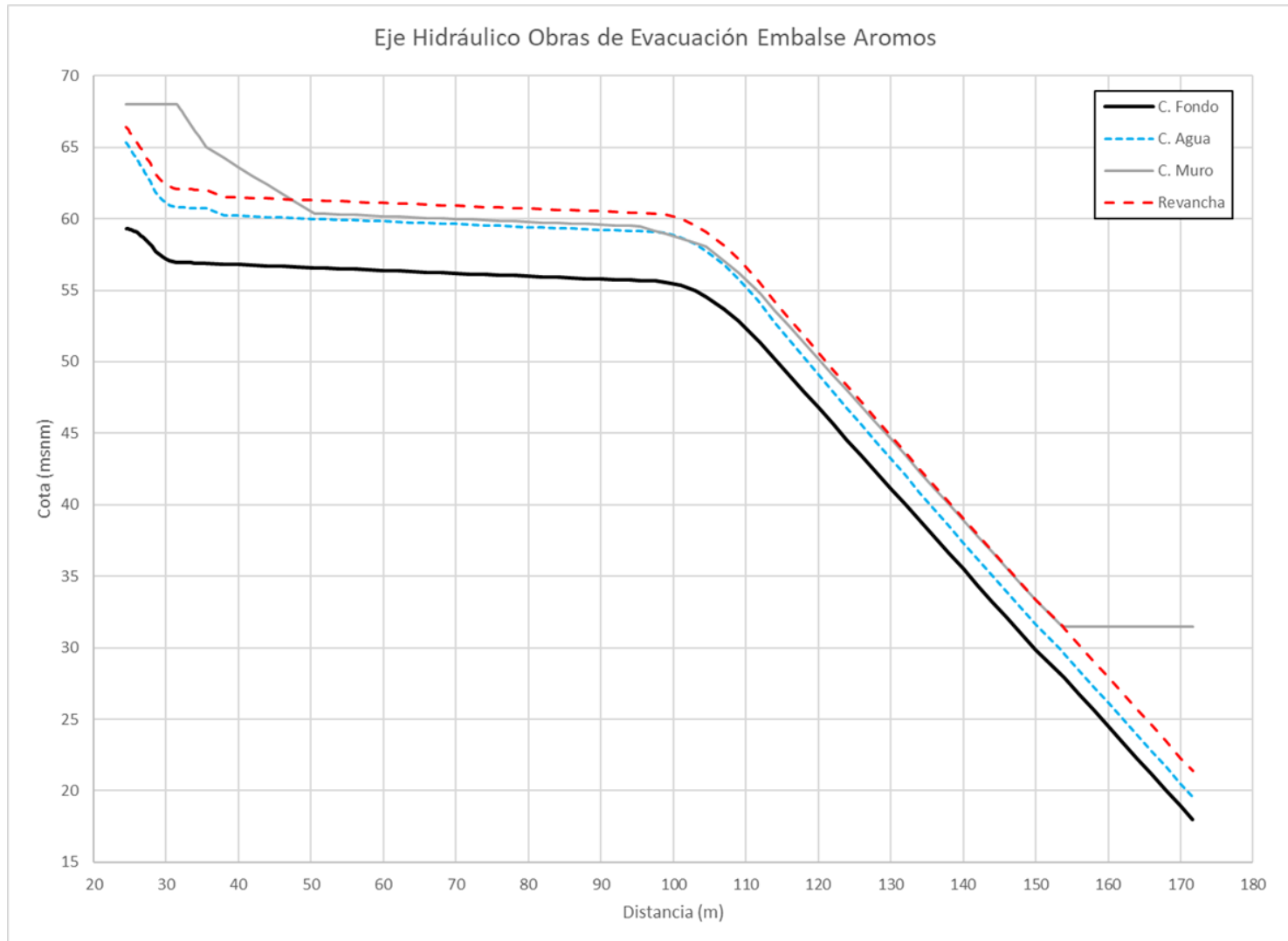
#### 6.1.1 Revisión Hidráulica Evacuador de Crecidas

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 m<sup>3</sup>/s.

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



**Figura 6.1 - Niveles Evacuador de Crecidas**

Considerando lo anterior, para cumplir con la capacidad del evacuador de 1.000 m<sup>3</sup>/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.

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 los estándares actuales (ver Anexo N°4 – Cálculo Muro Rápido de Descarga).
- ✓ 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:

- ✓ 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 de 0,33 mm (ver Anexo N°4 – Cálculo Muro Rápido de Descarga).

- ✓ 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

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. La siguiente es la grilla que debería tener considerando esta normativa.

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

Km	V [m/s] T= 1.000 años	P = 22 mm	Normal 0,15V <sup>2</sup> /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

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

### 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, dada las observaciones indicadas luego de la revisión estructural descrita en el numeral 6.1.2, se recomienda para este **Diseño de Emergencia**, no 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.
  - 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.

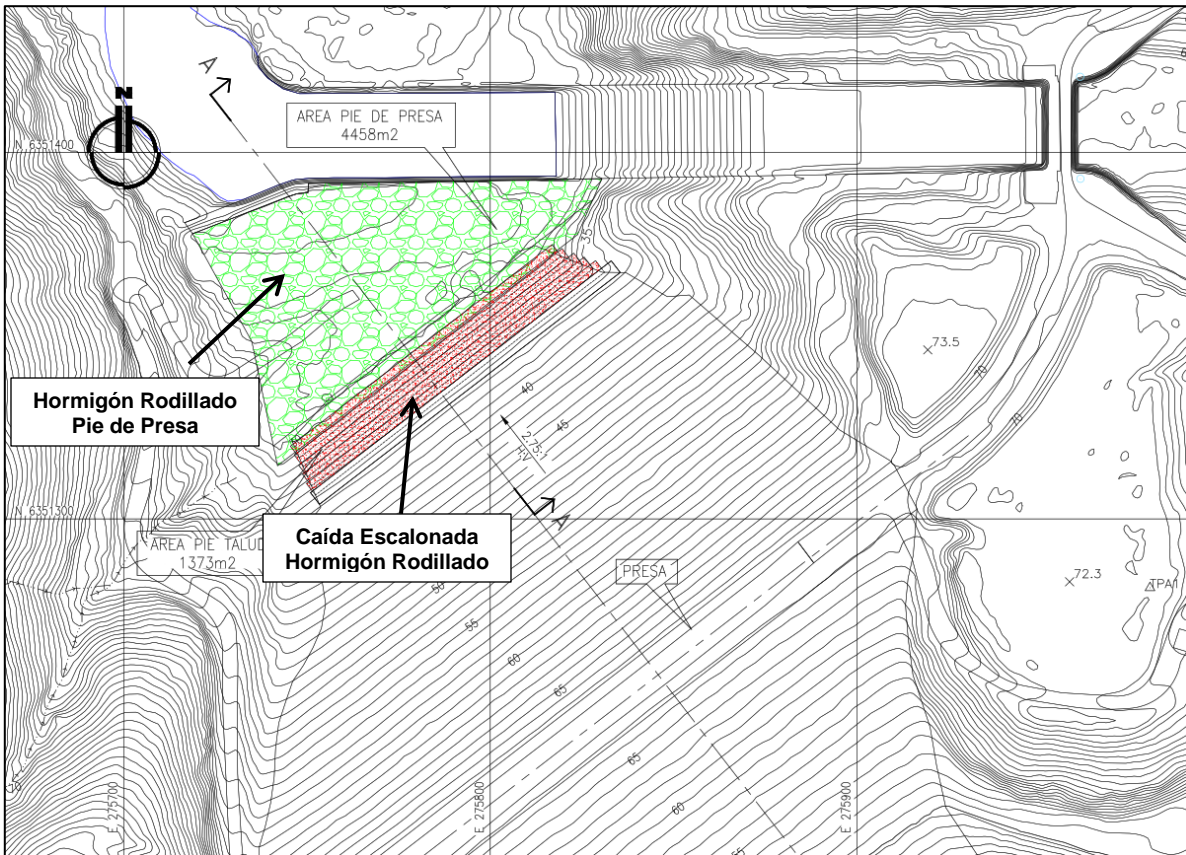
## 6.2 PROTECCIÓN ZONA ENTRE PIE DE PRESA Y COLCHÓN DISIPADOR

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. La cota a alcanzar por esta protección es la cota 35 msnm (ver Anexo 5 -Cálculo Hidráulico Cota de protección).

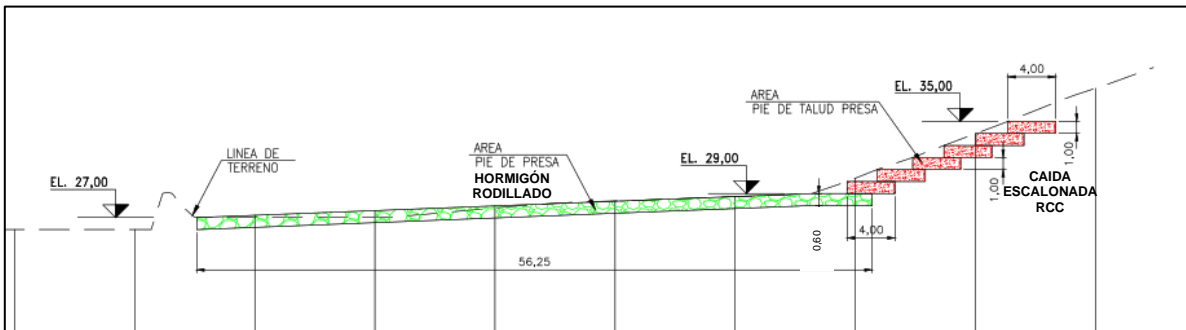
De acuerdo a los resultados de laboratorio para fundar el HCR en el pie de la presa se definieron 3 sectores de excavación: sector 1 de 0,5 m, sector 2 de 0,6 m y sector 3 de 1,8 m.

Sobre la parte baja del talud de aguas abajo de la presa, la protección 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 los muros del evacuador de crecidas, un espesor de 60 cm:



**Figura 6.2 - Protección a pie de presa**



**Figura 6.3 - 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/m<sup>2</sup>), 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.

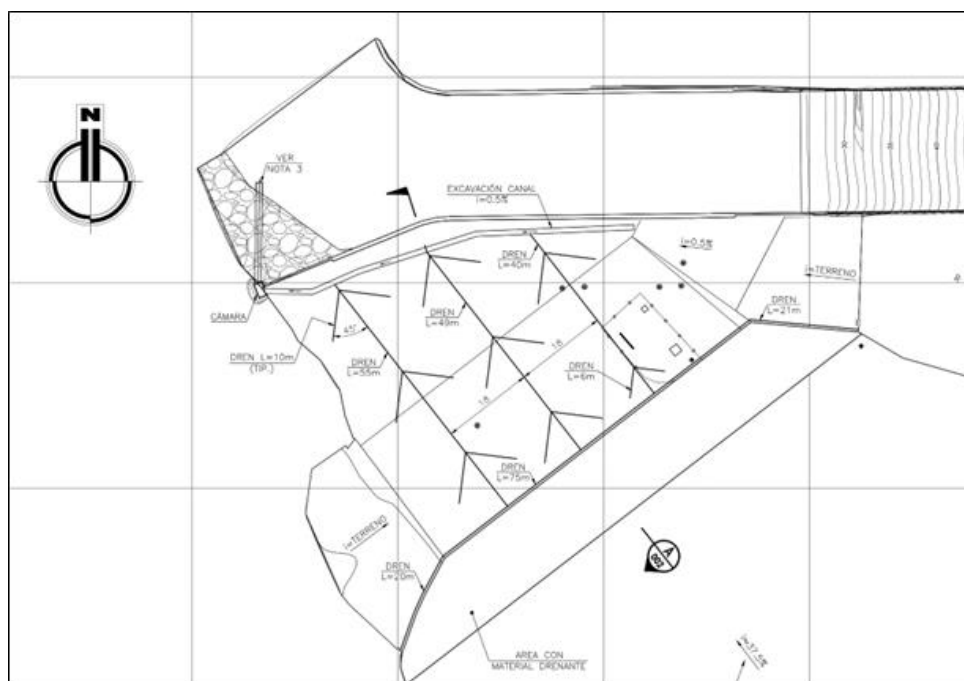


Figura 6.4 - Planta drenes

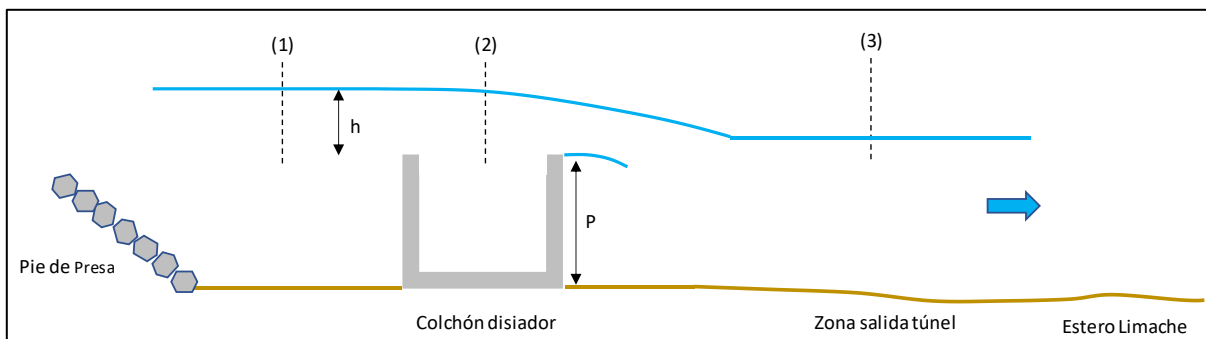
### 6.2.1 Diseño Hidráulico

#### 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 m<sup>3</sup>/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 6.5 - 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.

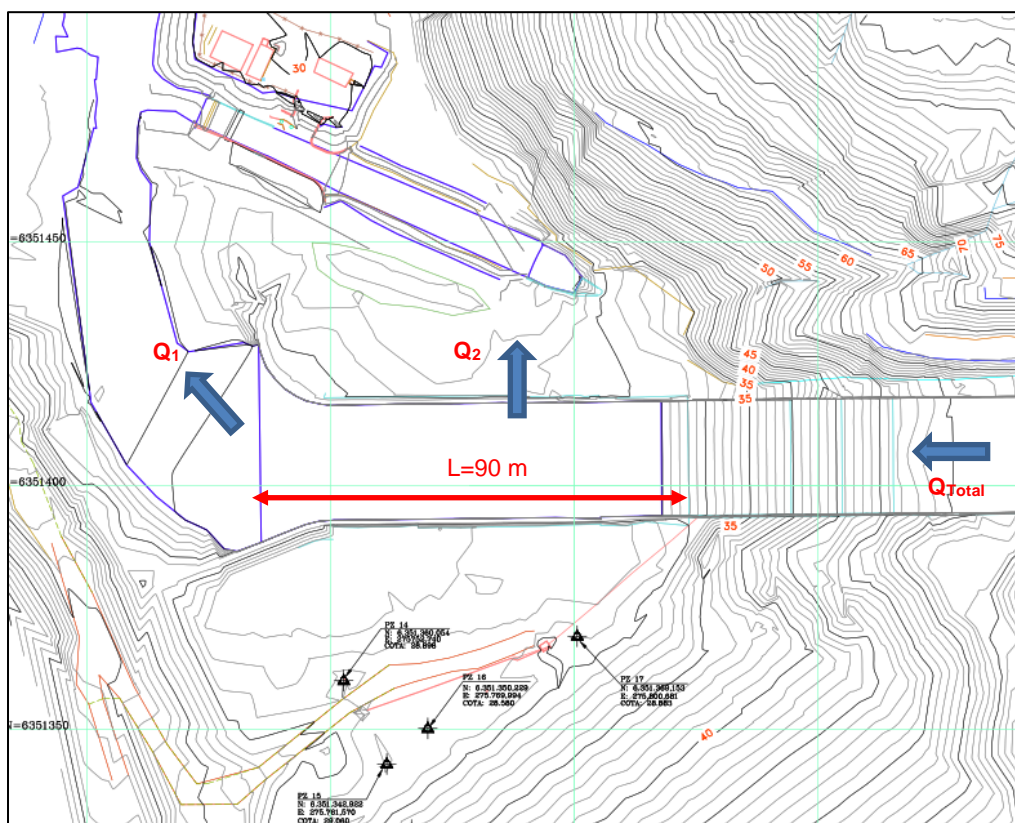


Figura 6.6 - Colchón disipador

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
<b>1.000</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>1,47</b>	<b>0,326</b>	<b>0,240</b>	<b>0,670</b>	<b>3,01</b>	<b>500,06</b>	<b>34,51</b>
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  $m^3/s$ ) 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 m<sup>3</sup>/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/cm<sup>2</sup> y 1,298 kg/cm<sup>2</sup> 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 kg/cm<sup>2</sup> para la condición normal y de 2,05 kg/cm<sup>2</sup> 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 kg/cm<sup>2</sup> para la condición normal y de 2,05 kg/cm<sup>2</sup> para la condición eventual.

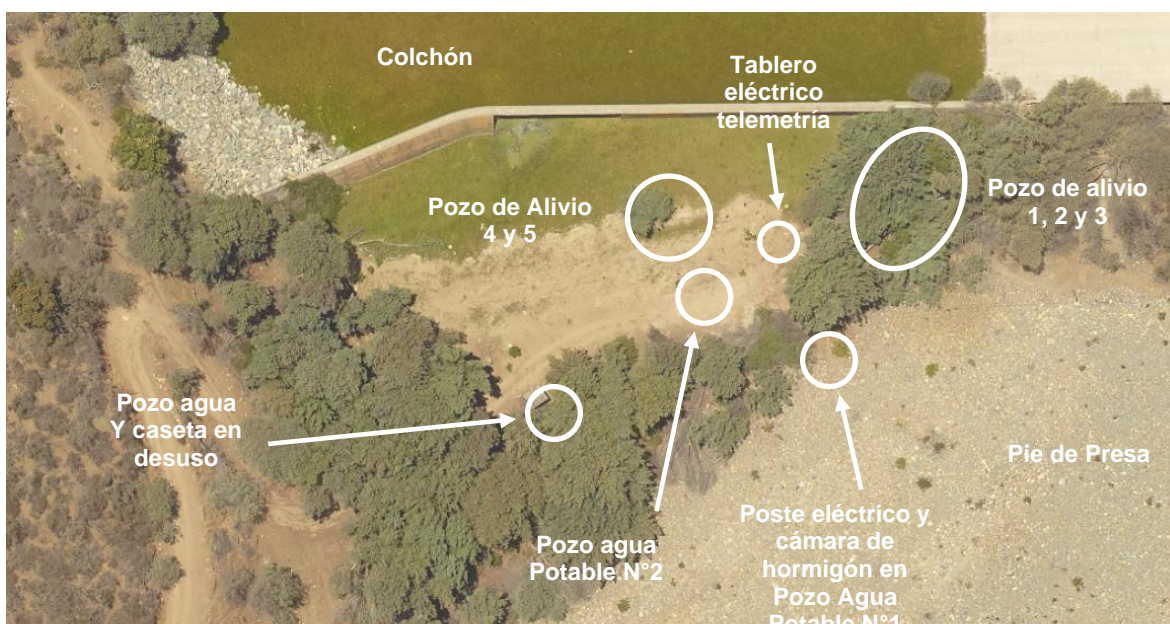
- ✓ Los resultados del modelo de elementos finitos indican que la carga máxima a la que estará sometido el suelo de fundación es de 0,511 kg/cm<sup>2</sup> y 1,298 kg/cm<sup>2</sup> para las condiciones normales y eventuales respectivamente.
- ✓ Como complemento a la protección con HCR en el área entre 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 l/s) que descargan las aguas a un canal rectangular de hormigón (capacidad 2,83 m<sup>3</sup>/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.



**Figura 6.7 - 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 TÉCNICAS 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 se adjunta de talle 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.

## 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%
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>\$ 1.636.561.342</b>	
<b>GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (45%)</b>	<b>\$ 736.452.604</b>	
<b>IVA (19%)</b>	<b>\$ 450.872.650</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.823.886.596</b>	

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 m<sup>3</sup>/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.

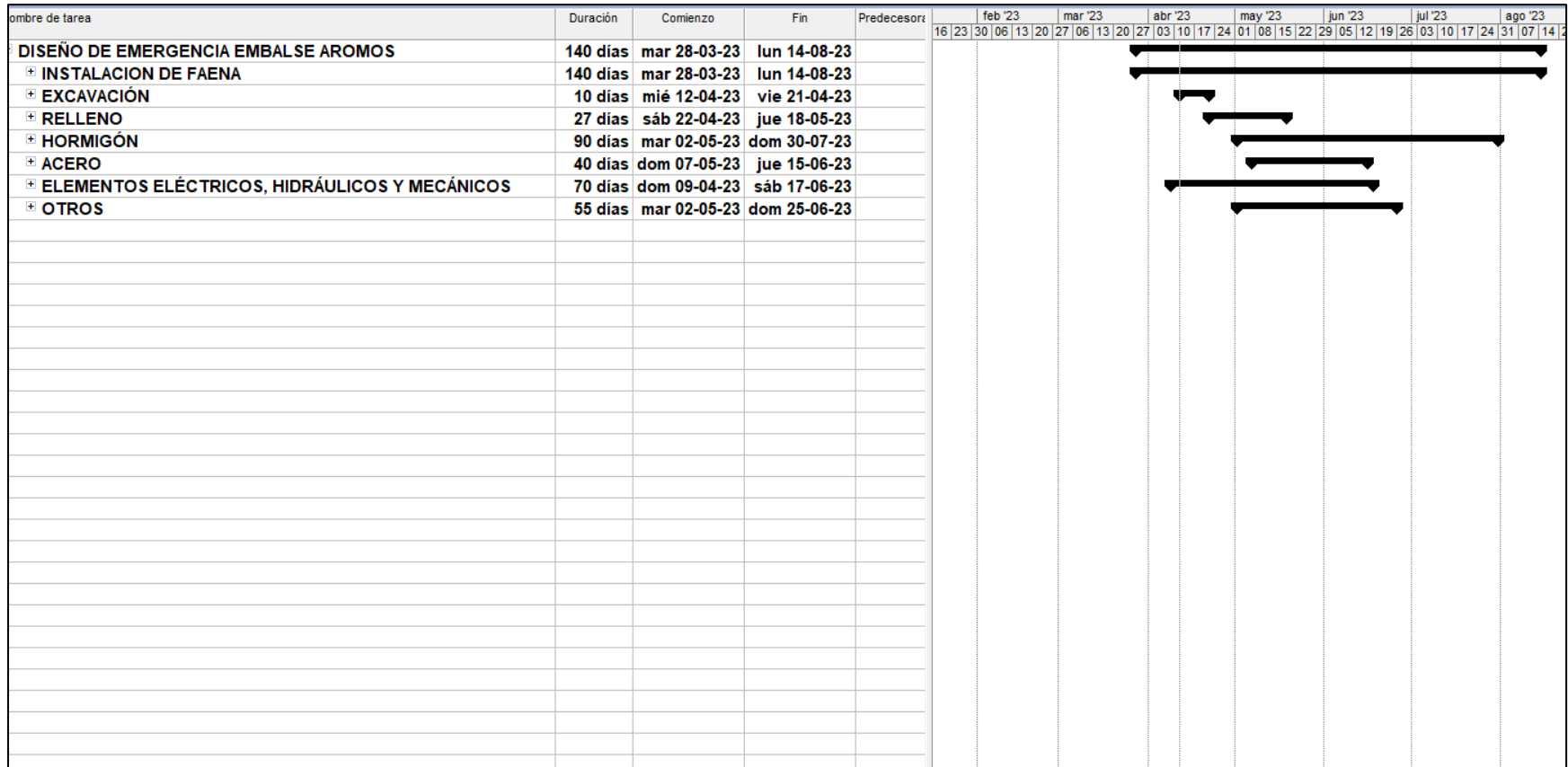


Figura 7.1 – Resumen de Programa de Trabajo

## 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 m<sup>3</sup>/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

diseñe 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