



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS TÉCNICO DEL ESTÁNDAR DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL  
PROYECTO EMBALSE LAS PALMAS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**AMARO PALMA LAGOS**

PROFESOR GUÍA:  
**ADOLFO OCHOA LLANGATO**

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
EZEQUIEL CAMUS HAYDEN  
ROBERTO GESCHE SCHULER

SANTIAGO DE CHILE

2022

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL  
POR: AMARO PALMA LAGOS  
FECHA: 2022  
PROFESOR GUÍA: ADOLFO OCHOA LLANGATO**

## **ANÁLISIS TÉCNICO DEL ESTÁNDAR DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO EMBALSE LAS PALMAS**

La implementación del Plan Nacional de Embalses ha sido una de las principales iniciativas impulsadas por la Dirección de Obras Hidráulicas para combatir los efectos de la sequía que ha afectado al país durante la última década, buscando otorgar mayor seguridad hídrica para potenciar el desarrollo de la agricultura.

Considerando este escenario, el presente trabajo de título tiene por objetivo realizar un análisis del desarrollo del proyecto Embalse Las Palmas, el cual se está ejecutando en una de las localidades más golpeadas por los efectos de la crisis hídrica, la comuna de Petorca; buscando determinar si la realización de este proyecto representa un aporte real para satisfacer las necesidades de las comunidades locales.

La construcción de un embalse es una obra de gran magnitud que requiere un trabajo ingenieril de alta envergadura y complejidad, por lo cual, en el presente informe se abordan tanto los aspectos técnicos del diseño del embalse, revisando los estudios de ingeniería desarrollados en las diferentes etapas del proyecto y estudiando si este se realizó conforme a las tendencias actuales establecidas en la bibliografía referente al diseño y construcción de presas; como los aspectos ambientales y sociales contenidos en el proyecto, revisando si los planes ambientales propuestos y la ejecución del proyecto se han realizado conforme a los estándares de sustentabilidad requeridos en una obra de estas características. Para esto se logró establecer una comunicación directa con la comunidad aledaña, que permitió conocer su visión respecto al desarrollo del proyecto.

En este trabajo se realiza una planificación para la construcción de la presa Las Palmas, tomando como referencia el programa de trabajo definido en la etapa final del diseño del proyecto y considerando los métodos utilizados en la práctica actual en la construcción de estas obras. El resultado conseguido es una propuesta de metodología de construcción y secuencia constructiva de las actividades principales del proyecto.

El análisis realizado en el presente trabajo indica que el desarrollo actual del proyecto presenta complicaciones, relacionadas principalmente a las condiciones climáticas e hidrológicas presentes en la zona de emplazamiento del Embalse Las Palmas, donde se ha demostrado que existen errores significativos respecto a la disponibilidad de agua considerada para el proyecto. Esta situación llevó a la empresa encargada de la construcción del embalse a solicitar la suspensión del contrato, generando un clima de incertidumbre en la población respecto al futuro del proyecto.

Además, este proyecto no considera dentro de sus beneficios el aporte de agua potable para consumo humano, factor identificado como la primera necesidad de las comunidades aledañas al sector donde se está llevando a cabo el mismo. Por lo tanto, se concluye que existe una inobjetable contradicción entre los objetivos para los cuales se está desarrollando el proyecto Embalse Las Palmas y las necesidades primordiales de la población.

## Dedicatoria

*Para Luna, que sea una motivación para cumplir su objetivo de ser ingeniera.*

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia santiaguina por haber estado presente durante todo el proceso de convertirme en un ingeniero, en especial a la tía Sole por abrirme las puertas de su casa y entregarme su apoyo a diario en este proceso.

Agradezco a mi familia por ser mi principal sostén en la vida. A mis padres, Ruth y Raúl, gracias por entregarme de pequeño los valores que me han permitido llegar a ser la persona que soy hoy. Gracias por el amor que me brindan a diario junto a mi hermana, y por el apoyo incondicional durante estos años lejos de casa.

Agradecer al profesor Adolfo por guiarme en el desarrollo de este trabajo, por su tiempo y disposición para sacar adelante este informe, por entregarme sus conocimientos relacionados a la ingeniería civil y por compartir experiencias que sin duda me han nutrido para poder llegar a ser un mejor ingeniero. Gracias por otorgarme tranquilidad cuando se presentaban ciertas dudas o inconvenientes que llamaban a la inseguridad.

También agradecer a los profesores Ezequiel Camus y Roberto Gesche por haber aceptado ser parte de la comisión de este trabajo.

Agradecimientos especiales al personal de la Municipalidad de Petorca que aportó su visión para el desarrollo de esta memoria, gracias Vladimir y Tamara por la disposición para realizar las distintas reuniones y por los conocimientos entregados sobre la situación que se vive en la comuna de Petorca. También agradecer a Pamela Proboste, por la confianza de dejarme entrar en su hogar y permitirme conocer en primera persona los impactos que están afectando a la comunidad aledaña al proyecto.

A los amigos que conocí en la facultad (los PDP), gracias por tantos momentos compartidos, sin duda fueron fundamentales para que mi etapa universitaria haya sido una tremenda experiencia.

A mis amigos de la vida, gracias por siempre bancarme a la distancia en el proceso de llegar a ser ingeniero.

Por último, pero no menos importante, agradecer a mi compañerita de vida, Paloma. Gracias por el infinito apoyo y motivación durante el transcurso de este trabajo y de la carrera en general. Gracias por siempre estar conmigo, en las buenas y en las malas. Gracias por confiar en mí y entregarme tu amor a diario. Gracias por ser parte de mi vida, eso me hace muy feliz.

## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivo general	2
1.3	Objetivos específicos	2
1.4	Metodología y Alcances	3
<b>2</b>	<b>Marco teórico</b>	<b>4</b>
2.1	Construcción de presas	4
2.1.1	Construcción de presas CFRD	10
2.2	Impacto ambiental en construcción de presas	17
2.2.1	Sustentabilidad en construcción de presas	19
<b>3</b>	<b>Antecedentes del proyecto Embalse Las Palmas</b>	<b>25</b>
3.1	Descripción del proyecto Embalse Las Palmas	26
3.1.1	Descripción obras principales	28
3.1.2	Descripción obras complementarias	31
3.1.3	Otros	33
3.2	Zona de influencia del proyecto	34
3.2.1	Contexto histórico del problema en la cuenca del río Petorca	35
3.2.2	Descripción de la situación actual en Petorca	35
<b>4</b>	<b>Análisis de la ingeniería de diseño del proyecto Embalse Las Palmas</b>	<b>37</b>
4.1	Análisis del estudio de prefactibilidad del proyecto	37
4.1.1	Antecedentes y descripción del proyecto	37
4.1.2	Análisis de la oferta y demanda del proyecto	39
4.1.3	Diseño y costos del proyecto	41
4.1.4	Conclusiones contenidas en el informe de prefactibilidad	43
4.2	Análisis del estudio de factibilidad del proyecto	43
4.2.1	Antecedentes y estudios básicos	44
4.2.2	Diseño de factibilidad del proyecto	54
4.2.3	Evaluación social	59
4.2.4	Conclusiones contenidas en el informe de factibilidad	60
4.3	Análisis del estudio de ingeniería de detalles del proyecto	60
4.3.1	Antecedentes y estudios básicos	61
4.3.2	Diseño de detalle del embalse Las Palmas	72
4.3.3	Diseño de detalle del canal alimentador Las Palmas	85

4.3.4	Evaluación social .....	87
4.3.5	Conclusiones contenidas en el informe de ingeniería de detalles .....	88
<b>5</b>	<b>Análisis del proceso de Evaluación Ambiental del proyecto .....</b>	<b>89</b>
5.1	Revisión de documentación ambiental del proyecto .....	90
5.2	Estudio de planes ambientales propuestos .....	98
<b>6</b>	<b>Descripción del proceso de contratación del proyecto .....</b>	<b>103</b>
6.1	Periodo de licitación .....	103
6.2	Adjudicación del contrato .....	104
<b>7</b>	<b>Análisis de la relación con las comunidades en el proyecto Las Palmas .....</b>	<b>108</b>
7.1	Antecedentes en la puesta en marcha del proyecto.....	108
7.2	Descripción de la situación actual del proyecto Embalse Las Palmas .....	116
<b>8</b>	<b>Planificación de construcción presa Las Palmas .....</b>	<b>121</b>
8.1	Antecedentes .....	121
8.2	Metodología de construcción.....	124
8.2.1	Medios y recursos.....	124
8.2.2	Procesos y actividades principales .....	126
8.3	Secuencia y programa de construcción .....	142
<b>9</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>146</b>
9.1	Cumplimiento de objetivos .....	146
9.2	Comentarios.....	147
<b>10</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>150</b>

## Índice de Tablas

Tabla 2-1: Determinación de la calidad de la roca según sistema RMR. ....	8
Tabla 2-2: Propiedades estratégicas definidas por la WCD. ....	22
Tabla 3-1: Características muros del embalse Las Palmas. ....	26
Tabla 3-2: Características de rellenos muro principal. ....	28
Tabla 3-3: Características de rellenos muro secundario. ....	29
Tabla 4-1: Resumen de resultados obtenidos mediante modelación MOS. ....	40
Tabla 4-2: Resumen de características de los embalses del valle Petorca. ....	41
Tabla 4-3: Resumen de los costos de construcción de obras civiles en el valle Petorca. ....	42
Tabla 4-4: Resultado de la evaluación social del proyecto. ....	42
Tabla 4-5: Programa de sondajes por sitio para embalses. ....	47
Tabla 4-6: Programa de calicatas por sitio para embalses. ....	48
Tabla 4-7: Resultados obtenidos en los sondajes. ....	48
Tabla 4-8: Caudal de crecida obtenido según distintos métodos. ....	52
Tabla 4-9: Terremotos destructores en valles de Petorca y La Ligua. ....	52
Tabla 4-10: Aceleración peak para el embalse Las Palmas. ....	53
Tabla 4-11: Estimación sismo máximo probable para embalse Las Palmas. ....	54
Tabla 4-12: Características de los sismos de diseño para embalse Las Palmas. ....	54
Tabla 4-13: Parámetros de diseño del embalse Las Palmas. ....	55
Tabla 4-14: Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad. ....	56
Tabla 4-15: Sectores levantados en embalse Las Palmas. ....	63
Tabla 4-16: Caracterización geotécnica para el embalse Las Palmas. ....	65
Tabla 4-17: Volúmenes por material de empréstito para el muro principal. ....	66
Tabla 4-18: Volúmenes por material de empréstito para el muro secundario. ....	66
Tabla 4-19: Precipitación de diseño embalse Las Palmas. ....	68
Tabla 4-20: Resumen de caudales de crecida para el embalse Las Palmas. ....	68
Tabla 4-21: Aceleración máxima del suelo según análisis probabilístico. ....	70
Tabla 4-22: Parámetros de escenarios sísmicos considerados en análisis determinístico. ....	71
Tabla 4-23: Valores de aceleración máxima según análisis determinístico. ....	72
Tabla 4-24: Cuantías de armadura para la pantalla de hormigón. ....	73
Tabla 4-25: Parámetros geotécnicos del suelo de fundación del plinto. ....	74
Tabla 4-26: Largo para cada tipo de plinto. ....	75
Tabla 4-27: Cuantías de armadura para el plinto. ....	76
Tabla 4-28: Cálculo comparativo de costo y ahorro en caso de un parapeto tipo L. ....	77
Tabla 4-29: Factores de seguridad admisibles para análisis de estabilidad. ....	81
Tabla 4-30: Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad. ....	81

Tabla 4-31: Esfuerzos máximos obtenidos en el análisis estático.....	83
Tabla 4-32: Desplazamientos máximos obtenidos en el análisis estático.....	83
Tabla 4-33: Aceleraciones y desplazamientos máximos obtenidos en el análisis dinámico. ....	84
Tabla 4-34: Esfuerzos máximos obtenidos en el análisis dinámico.....	84
Tabla 4-35: Desplazamientos máximos obtenidos del análisis dinámico.....	84
Tabla 5-1: Resumen de áreas de influencia según componente ambiental.....	91
Tabla 5-2: Rangos de valor del Índice de Calificación Ambiental (ICA) .....	95
Tabla 5-3: Impactos negativos altos en fase de construcción. ....	96
Tabla 5-4: Impactos negativos medios en fase de construcción.....	96
Tabla 5-5: Impactos negativos altos en fase de operación.....	98
Tabla 5-6: Impactos negativos medios en fase de operación.....	98
Tabla 5-7: Plan de medidas de mitigación. ....	98
Tabla 5-8: Medidas de compensación.....	99
Tabla 5-9: Régimen de caudal ecológico propuesto para la operación del embalse Las Palmas (l/s) .....	102
Tabla 6-1: Evaluación de las ofertas técnicas. ....	105
Tabla 6-2: Evaluación de las ofertas económicas. ....	106
Tabla 7-1: Resumen de actividades de Participación Ciudadana Anticipada (PAC).....	112
Tabla 8-1: Actividades pertenecientes a la ruta crítica del programa de construcción.....	122
Tabla 8-2: Tabla comparativa de características de los embalses Chironta y Las Palmas. ....	123
Tabla 8-3: Tabla comparativa entre programas de trabajo del embalse Las Palmas y Chironta.....	123
Tabla 8-4: Listado de maquinarias. ....	124
Tabla 8-5: Mano de obra para fase de construcción del proyecto. ....	126
Tabla 8-6: Resumen volúmenes de material para construcción de presa Las Palmas. ....	129
Tabla 8-8: Volumen de hormigón requerido para cada tipo de plinto. ....	136
Tabla 8-9: Análisis de las etapas de hormigonado del plinto.....	136
Tabla 8-10: Estimación de volumen de hormigón para las distintas fajas.....	140



## Índice de Figuras

Figura 2-1: Construcción de presa tipo CFRD.....	10
Figura 2-2: Características del proyecto tradicional de presas CFRD. ....	11
Figura 2-3: Características del proyecto de presas CFRD a principios de 1990 (ICOLD).....	12
Figura 2-4: Transmisión del empuje hidrostático al suelo de fundación en una presa con pantalla interior y exterior. ....	14
Figura 2-5: Características del proyecto de presas CFRD (2006). ....	14
Figura 2-6: Estado de cargas sobre un plinto.....	16
Figura 3-1: Ubicación general del valle de Petorca y zona de emplazamiento de las obras. ....	25
Figura 3-2: Planta general del embalse y obras anexas Las Palmas. ....	27
Figura 3-3: Configuración de rellenos muro principal. ....	28
Figura 3-4: Configuración de rellenos muro secundario. ....	29
Figura 3-5: Esquema del coronamiento de la presa y diseño del parapeto. ....	30
Figura 3-6: Disposición general obras de desvío y toma del embalse Las Palmas.....	32
Figura 3-7: Obras del evacuador de crecidas.....	33
Figura 4-1: Distribución general de los embalses en el valle Petorca.....	38
Figura 4-2: División del valle Petorca para modelación hidrológica.....	40
Figura 4-3: Esquema general de la poligonal principal.....	45
Figura 4-4: Geomorfología de la zona de emplazamiento del embalse Las Palmas.....	47
Figura 4-5: Tiempo de llenado del embalse en función de la capacidad de las bocatomas. ....	51
Figura 4-6: Diseño de factibilidad presa Las Palmas.....	57
Figura 4-7: Propuesta de modificación para la presa del embalse Las Palmas. ....	62
Figura 4-8: Ubicación de los escenarios sísmicos considerados para análisis determinístico. ..	71
Figura 4-9: Disposición de los plintos considerados en el proyecto.....	74
Figura 4-10: Diseño del plinto considerado para el proyecto.....	75
Figura 4-11: Esquema de fuerzas actuantes en el plinto.....	76
Figura 4-12: Diseño muro parapeto tipo L.....	77
Figura 4-13: Diseño del parapeto considerado en el proyecto. ....	78
Figura 4-14: Sección de análisis muro principal embalse Las Palmas. ....	79
Figura 4-15: Sección de análisis muro secundario embalse Las Palmas. ....	80
Figura 4-16: Puntos de control escogidos para el análisis dinámico. ....	83
Figura 4-17: Desarrollo del canal alimentador Las Palmas. ....	85
Figura 4-18: Sección trapecial tipo del canal alimentador. ....	86
Figura 4-19: Sección rectangular tipo del canal alimentador. ....	86
Figura 6-1: Línea de tiempo del proceso de adjudicación del contrato.....	105
Figura 7-1: Evidencia de las conclusiones del proceso PAC.....	110

Figura 7-2: Esquema de actividades Participación Ciudadana Anticipada (PAC).....	112
Figura 7-3: Distribución de las observaciones realizadas en el programa de Participación Ciudadana Formal. ....	114
Figura 8-1: Carta Gantt para Embalse Las Palmas. ....	122
Figura 8-2: Zona de empréstito para embalse Las Palmas. ....	127
Figura 8-3: Funcionamiento de una planta de áridos. ....	128
Figura 8-4: Etapas definidas para la colocación de materiales de relleno. ....	131
Figura 8-5: Compactación material tipo 2B. Presa La Yesca-México. ....	133
Figura 8-6: Construcción del plinto.....	135
Figura 8-7: Planta disposición plintos.....	135
Figura 8-8: Hormigonado de la pantalla de la presa con encofrado deslizante.....	138
Figura 8-9: Vista en planta de la pantalla de hormigón. ....	139
Figura 8-10: Vista transversal de la presa Las Palmas. ....	139
Figura 8-11: Vista general de la zona del muro principal y del túnel de desvío. ....	145

# 1 Introducción

La sequía y la escasez hídrica son dos eventos que a menudo ocurren simultáneamente, pero que no son sinónimos. Mientras la sequía se define como el déficit de precipitaciones (sequía meteorológica) y/o caudal de los ríos (sequía hidrológica), por otro lado, la escasez hídrica involucra no solo procesos hidrológicos y meteorológicos, sino también los usos que se le da al agua. Este último factor, está ligado a la toma de decisiones y a la gestión del recurso por parte de sus administradores, lo que lleva al ser humano a tener un rol preponderante. (Morales, 2021)

En Chile se está desarrollando, desde hace años, una política pública para combatir los efectos de la crisis hídrica, basada principalmente en la construcción de obras civiles que contribuyen a una mejor utilización del recurso, concretamente, existe el Plan Nacional de Embalses impulsado por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas. La primera etapa de dicho plan fue emitida durante el gobierno de la presidenta Michelle Bachelet, la cual consideraba la construcción de 20 obras de embalsamiento entre los años 2015 y 2025 (Dirección de Obras Hidráulicas, 2016). Para el año 2019 se presenta la ampliación del Plan de Embalses, aumentando el número de obras a 26. (Comisión Nacional de Riego, 2019)

El presente estudio surge del interés de investigar un caso particular de este plan nacional, específicamente, el desarrollo del proyecto Embalse Las Palmas, ubicado en la comuna de Petorca, región de Valparaíso.

## 1.1 Motivación

Es de público conocimiento que actualmente en Chile existe un déficit de recursos hídricos, provocado, en gran parte, por el manejo del recurso, donde se ha priorizado la función productiva del agua, principalmente en la industria minera y agropecuaria, quienes representan las principales fuentes de demanda de agua en el país; también influyen la alta demanda por parte de las personas para atender todas sus necesidades y los efectos que trae consigo el cambio climático, como la disminución de las precipitaciones en gran parte del territorio nacional. Esta crisis se acentúa en las cuencas del norte y centro del país, donde se concentra la gran mayoría de comunas decretadas con escasez hídrica. (Dirección General de Aguas, 2021)

Es en este contexto, y desde el punto de vista de la ingeniería, que toman gran relevancia los proyectos civiles asociados al almacenamiento de estos recursos, como por ejemplo la construcción de embalses, los que ayudan a mitigar los efectos de esta problemática otorgando suministro para suplir las necesidades de riego, y en ciertos proyectos, abasteciendo de agua potable a las comunidades aledañas que lo requieran.

Es por ello que resulta interesante estudiar la construcción del Embalse Las Palmas, el que actualmente se encuentra en su etapa de ejecución. Este proyecto se emplaza en la región de Valparaíso, particularmente, en la comuna de Petorca. Esta localidad es una de las zonas más afectadas por la crisis hídrica en el país (Dirección General de Aguas, 2021), por lo que mediante el presente trabajo se investigarán los potenciales beneficios

que este proyecto puede generar a mediano y largo plazo en la comunidad, que ha visto mermada su calidad de vida por la falta de agua.

Considerando el escenario en el cual se está desarrollando este proyecto, resulta prudente plantear una mirada crítica al diseño del embalse, analizando si este se realiza teniendo en cuenta las condiciones existentes en la zona y las necesidades de la población, buscando concluir en qué medida este embalse representa un aporte para paliar la crisis.

Adicionalmente, la visión respecto al desarrollo de proyectos de embalses en el país no es favorable, por los impactos ambientales y sociales que estos generan. Dentro de este ámbito surge uno de los grandes desafíos de la ingeniería, referido a identificar de manera certera los impactos ambientales y sociales en la ejecución del proyecto, y proponer soluciones acordes a los perjuicios ocasionados, que sean compartidas por las comunidades y la sociedad en general.

La construcción de obras de esta magnitud requiere la inversión de grandes cantidades de dinero, y, el retraso en sus plazos de ejecución, eleva aún más el costo del proyecto, por lo que resulta primordial lograr eficiencia en la construcción de estos embalses. Sin embargo, el cumplimiento de los plazos de construcción definidos en estas obras no es algo habitual en Chile y, generalmente, se retrasan respecto de su planificación. Es por lo mismo, que este trabajo tiene la intención de aportar, desde la academia, una metodología más adecuada para la construcción de embalses, contemplando que el desarrollo de estos proyectos cumpla con los estándares de sustentabilidad requeridos en todos los procesos contenidos en el mismo.

Basado en lo anterior, el trabajo de título plantea los siguientes objetivos, de carácter general y específicos.

## **1.2 Objetivo general**

- Realizar un análisis completo del desarrollo del proyecto Embalse Las Palmas, estudiándolo desde sus etapas de diseño hasta la planificación de su construcción, revisando y comentando los estándares de diseño, contratación, ejecución y medio ambientales adoptados.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Revisar los estudios de ingeniería de diseño del Embalse Las Palmas y estudiar la suficiencia de estos para garantizar la materialización del proyecto.
- Estudiar rigurosamente los procedimientos y planes definidos en materia ambiental del proyecto Las Palmas.
- Examinar la relación con comunidades y/o participación ciudadana en la puesta en marcha del proyecto. Analizar los efectos que provoca la construcción de obras civiles mayores en las comunidades aledañas.

- Analizar el proceso de adjudicación del contrato de construcción del Embalse Las Palmas.
- Aplicar los conocimientos adquiridos de planificación a la construcción de la presa Las Palmas, incluyendo metodología y programa de construcción.

#### 1.4 Metodología y Alcances

Con el fin de precisar los aspectos que se abordan en este estudio y delimitar los efectos que se pretenden obtener, es importante especificar el ordenamiento de las acciones que se llevan a cabo. Por consiguiente, a continuación se exponen los alcances y la metodología del trabajo.

- a) Revisión bibliográfica: mediante el estudio de bibliografía pertinente, se estudiará en detalle el estado del arte de la construcción de presas, particularmente aquellas de tipo CFRD, como la contemplada en el Embalse Las Palmas. También se abordará el tema relacionado con el impacto ambiental y la sustentabilidad en este tipo de proyectos.
- b) Solicitud y revisión de estudios relacionados con el proyecto Las Palmas: se solicitan, mediante la ley de transparencia, los estudios de todas las etapas de la ingeniería de diseño del embalse y la documentación asociada a la evaluación ambiental del proyecto a la autoridad correspondiente.
- c) Análisis de la información: se estudia el alcance de todas las etapas de ingeniería de diseño, analizando la repercusión e importancia que tiene cada una en el desarrollo de un proyecto de construcción de una obra civil, concluyendo acerca de la suficiencia de este proceso. También se analizan los planes ambientales propuestos por el titular del proyecto.
- d) Conocer la realidad de la comunidad: se analizará la participación ciudadana en la puesta en marcha del proyecto, mediante la revisión de los documentos solicitados. Posteriormente, se pretende establecer comunicación con personas afectadas por la construcción del embalse y conocer su visión (en primera persona) respecto al desarrollo del proyecto.
- e) Planificar la construcción de la presa Las Palmas: se identificarán las actividades y tareas más importantes en la construcción de una presa CFRD, para posteriormente proponer una planificación eficiente para la construcción de esta obra ingenieril.

## 2 Marco teórico

Con la finalidad de abordar los temas más relevantes que este trabajo pretende estudiar, en el presente capítulo se establece el marco teórico que permite fundamentar los análisis y conclusiones realizadas en el desarrollo de este informe.

### 2.1 Construcción de presas

Una presa se define como un muro colocado transversalmente en el cauce de un río y que al ser ubicado modifica localmente el escurrimiento de agua. (Espinosa, 2010)

La presencia de una presa en un río tiene por efecto inmediato, tras su entrada en operación, elevar el nivel del pelo de agua, con lo que es posible derivar agua fuera del cauce del río. En este contexto, según el modo de escurrimiento de la derivación, las presas se pueden agrupar en dos clases: presas de embalse y presas de derivación.

En los comienzos del siglo XX, la construcción de presas en todo el mundo ya había planteado importantes problemas técnicos, económicos y sociales que interesaron a sectores científicos, gubernamentales y empresarios a tal punto que se consideró conveniente constituir una entidad internacional para promover y difundir el estado del arte de estas obras de ingeniería. Así, en el seno de la Comisión Mundial de la Energía en 1928 surgió la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD=International Commission on Large Dams), entidad que promovió la creación de Comités Nacionales cuyo conjunto reúne a más de 10.000 profesionales que contribuyen al arte, ciencia y técnicas ingenieriles para la planificación, construcción y operación de presas que aseguren el desarrollo sustentable y la gestión de los recursos hídricos.

En la Comisión Internacional de Grandes Presas se llegó al acuerdo de llamar grandes presas a aquellas construcciones que satisficieran las siguientes condiciones:

1. Tener una altura, entre el coronamiento de la presa y el plano mínimo de fundación igual o mayor a 15 metros.
2. Si la altura está comprendida entre 10 y 15 m, se cumpla alguna de estas condiciones:
  - Aliviadero capaz de evacuar una creciente de caudal mayor de 2.000 m<sup>3</sup>/s
  - Embalse mínimo superior a 1 hm<sup>3</sup>
  - Longitud de coronamiento mayor de 500 m
  - Características singulares de su proyecto

Naturalmente surge la pregunta, ¿para qué construir una presa? La creación e instalación de un gran recipiente en el curso de un río, capaz de ser llenado y vaciado, modifica la distribución del agua que escurre naturalmente por el mismo aguas abajo del sector donde se emplaza la presa. Esto se denomina regulación en hidráulica fluvial y se opta por esta solución para alcanzar objetivos tales como:

- Abastecimiento de agua potable a poblaciones
- Satisfacción de demandas de agua para riego
- Generación de energía hidroeléctrica

- Transporte de cargas pesadas y voluminosas
- Control de inundaciones
- Aliento de prácticas recreativas y turismo

Un listado tentativo de los estudios que serán necesarios para la construcción de una presa, es el que propone Espinosa (2010), este surge de la práctica profesional de la ingeniería en el ámbito de presas de embalse del siglo XX, junto a disciplinas orientadas a las ciencias sociales:

1. Estudios hidrológicos
2. Estudios topográficos
3. Estudios geotécnicos
4. Estudio del dominio de los terrenos interesados
5. Estudios socio-económicos
6. Estudios de impacto ambiental

Los tres primeros son típicamente los aspectos de los que se ocupará primordialmente la ingeniería, mientras que el cuarto y quinto están reservados a profesiones específicas. En el último, se requiere la intervención de todos los actores.

Del listado se desprende que el desarrollo del proyecto de una presa es una cuestión compleja e interdisciplinaria, por lo cual se considera conveniente regular desde el principio los alcances de cada uno de ellos.

A continuación, se abordarán aquellos estudios del listado anterior relacionados con el desarrollo de la ingeniería como ámbito primordial. Los temas referentes al impacto ambiental se revisarán más adelante.

- Estudios hidrológicos: la historia del comportamiento de un río en un sitio dado es parte de la riqueza social de la comunidad a la cual pertenece, ya que el conocimiento del recurso natural agua, proporciona la base para intentar su mejor aprovechamiento presente y futuro. En efecto, el conocimiento de las características del recurso natural, permite saber la disponibilidad en el tiempo del mismo en calidad y cantidad. Por otra parte, el conocimiento de los requerimientos del recurso por parte de los beneficiarios de su utilización, las prácticas actuales y las que se proyectan para el futuro, componen una demanda de servicios que la ingeniería intentará satisfacer mediante la ejecución de ciertas obras pertinentes. El dimensionamiento hidráulico de las obras que componen el embalse, sean definitivas o provisionales (aliviadero, desvío del río, desagües de fondo, etc.) se realiza en principio considerando el máximo caudal que circulará por ellas y la configuración de las obras singulares que las integren. Tal caudal máximo es el caudal de diseño, distinto para cada una de ellas. Cabe señalar que este caudal no se refiere al caudal máximo del río, pues las obras hidráulicas se deben diseñar considerando cierto grado de seguridad hidrológica. En el curso de los estudios hidrológicos, es frecuente la aplicación de criterios probabilísticos, que consideran el periodo de utilización del desvío y el análisis de frecuencia de los caudales máximos registrados. Estos últimos datos

generalmente se obtienen del registro de caudales de la estación de aforos de referencia del proyecto. En su defecto se recurre a la información registrada de cuencas semejantes o próximas a la perteneciente al proyecto. El objetivo es obtener un hidrograma probable de la crecida correspondiente al caudal máximo probable de la misma.

El camino seguido por la hidrología en su desarrollo durante el siglo XX permite mostrar actualmente cuatro tipos de métodos para dar respuesta a estos requerimientos: históricos, probabilísticos, empíricos y de simulación hidrológica.

- Estudios topográficos: se pueden identificar tres áreas principales que requieren ayuda topográfica importante con el fin de obtener información básica para la formulación del proyecto y seguimiento posterior de la obra construida:
  - El vaso, para determinar el volumen disponible bajo diversas cotas y verificar la existencia de cualquier depresión en su perímetro por donde pudiera escapar el agua embalsada.
  - El emplazamiento de la presa, para determinar los volúmenes de excavación y de materiales para la construcción de la presa, la planta general de la obra y los caminos de acceso durante el desarrollo del proceso constructivo.
  - Puesta en operación, verificar que la presa se comporta de acuerdo a los criterios de diseño aplicados (auscultación).

Independiente de la magnitud del proyecto, es necesario establecer tempranamente el sistema de referencias topográficas básico mediante puntos fijos adecuadamente monumentalizados y relacionados con una triangulación, que podrán o no servir para etapas posteriores del proyecto, como el replanteo de las obras y las operaciones de control durante la explotación.

- Estudios geotécnicos: la rama de la ingeniería denominada geotecnia, se ocupa del conocimiento de las propiedades de los materiales que constituyen los terrenos que soportan las obras que construye el hombre y de las relaciones particulares que se producen entre la naturaleza y el producto de las acciones de estas. La geotecnia tiene un nivel de intervención especial en el proyecto de una presa, donde surgen inmediatamente la planificación de las tareas a realizar, tanto en el campo como en laboratorio y gabinete. A continuación, se enlistan los principales aspectos a tratar en el desarrollo de los estudios geotécnicos:
  - Excavaciones: definición de los niveles adecuados para fundación de la presa y de obras complementarias, principalmente de hormigón, además de obtener materiales para la construcción de la presa.
  - Carga sobre fundaciones: el cuerpo de la presa aplica cargas sobre los terrenos que generan temas de compresibilidad de la fundación, se debe asegurar su estabilidad contra desplazamientos tanto aguas arriba como aguas abajo del emplazamiento, antes y después del llenado del embalse.
  - Inundación – Llenado del embalse: este proceso genera cambios en el régimen del agua subterránea, descenso de la resistencia de suelos



cohesivos, rocas blandas y cemento de juntas, producto de los esfuerzos generados por este estado de carga, provocando, además, una disminución de las tensiones efectivas. Estos efectos se agregan a las cuestiones de estabilidad de la presa y de su fundación, como también la estabilidad de los márgenes del vaso. Dichos temas de estabilidad son más importantes cuando los niveles del embalse varían ampliamente y con rapidez.

Conceptualmente, la presa forma una unidad con el vaso y los terrenos que le sirven de cimentación, para poder retener el agua del embalse. El correcto funcionamiento del conjunto depende del de sus partes, de origen diverso, para esto los terrenos para la fundación y los estribos deben ser capaces de soportar las cargas a transmitir por la presa y oponerse a la pérdida de agua por infiltración. Además, los terrenos que serán inundados por el embalse han de ser estancos y las laderas estables.

El estudio preliminar del emplazamiento de un proyecto debe comenzar con la descripción general de la fracción de la corteza terrestre y de los fenómenos que ocurren en la misma, identificados como aspectos geológicos.

Durante el diseño y la construcción de una gran presa no es suficiente conocer simplemente el tipo de roca o de suelo existente, sus propiedades mecánicas y su distribución aproximada. La comprensión del ambiente geológico local implica también el de los procesos geológicos que se han desarrollado en la región donde se emplaza el proyecto.

Una práctica usual para el estudio del sitio de emplazamiento de una presa, es la descripción de la fundación de esta mediante perfiles transversales y longitudinales. La descripción de los materiales naturales por debajo de la superficie del terreno se alcanza mediante métodos de investigación de campo, como los geofísicos (geosísmica de refracción), para una primera aproximación de lo que se encuentra en profundidad, y los de distintas técnicas de sondeos con perforaciones y excavaciones (túneles, trincheras, calicatas), ensayos in-situ e investigaciones de laboratorio que permitan determinar los parámetros geomecánicos de los materiales presentes. La ejecución de perforaciones con recuperación de testigos de los materiales atravesados es también ocasión para la obtención de información acerca del comportamiento del terreno, donde los ensayos in-situ de permeabilidad (Lefranc) y de absorción de agua (Lugeon) constituyen clásicas investigaciones de campo.

Respecto a la clasificación del macizo rocoso, existe una tendencia a utilizar sistemas de clasificación con aplicación a la ingeniería. Los parámetros aplicados en estos sistemas tienden a describir la calidad del macizo empleando las propiedades de las rocas sanas y la naturaleza de las discontinuidades.

Uno de los parámetros más empleados para caracterizar un macizo rocoso es el RQD (Rock Quality Designation), sin embargo, este no es del todo fidedigno, ya que depende del tipo de técnica y equipo utilizados para la extracción del testigo. Sistemas de clasificación de macizos rocosos considerados más completos,

debido a que se apoyan en un número mayor de parámetros, son el sistema RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski (1976) y el sistema Q (o bien NGI) de Barton y otros (1974).

La determinación de la relación RMR, variable entre 0 y 100, se hace por medio de la tabla de Bieniawski, la cual se presenta a continuación.

**Tabla 2-1: Determinación de la calidad de la roca según sistema RMR.**

<b>Clasificación de roca [RMR]</b>	<b>Gradientes</b>
80-100	18-20
60-80	14-18
40-60	10-14
20-40	4-10
<20	(*)
(*) Se recomienda profundizar la fundación, o bien disponer trincheras o pantallas de estanqueidad.	

*Fuente: Espinosa (2010).*

Finalmente, se debe considerar que la existencia en el lugar de materiales naturales de construcción, en volumen y calidad, es una información esencial para el diseño, la elaboración del presupuesto de obra y su construcción.

En efecto, los materiales disponibles en la mayoría de los casos son los que determinan el tipo de presa a construir, ya que todas las soluciones posibles deben cumplir con las exigencias de la estructura a erigir, estas son: producir una estructura impermeable para regular y almacenar el agua, y resistir el empuje del agua y evacuarla cuando sea preciso. (Gandarillas, 2010)

Luego, en relación a los materiales que se van a utilizar en su construcción, los tipos de presas más comunes en la actualidad son: presas de tierra, presas de escollera y presas de hormigón.

Dentro de las presas de tierra, se distinguen las presas homogéneas de capas compactadas y las presas zonificadas, las que se caracterizan por poseer un núcleo impermeable.

Las presas de escollera se construyen con rocas de todos los tamaños que aseguran la estabilidad de la estructura y poseen una pantalla impermeable que le otorga estanqueidad.

Por su parte, las presas de hormigón se pueden subdividir, según el modo de resistir el empuje hidrostático y su transmisión al terreno de fundación, en: presas de gravedad, presas arco y presas de contrafuertes.

Desde un punto de vista conceptual, la presa está constituida por una estructura de gran volumen, que inferiormente continúa en el terreno en que se apoya hasta una profundidad donde los efectos de su presencia se puedan considerar despreciables, mientras que lateralmente se prolonga su función de pared contenedora del embalse por las laderas

del terreno que completan el vaso. Se puede considerar que la presa es un invasor del ambiente, ya que primeramente se introduce en la litosfera con su fundación, luego se apodera de un espacio en la atmósfera y después obliga a la hidrósfera a elevar su nivel local.

Respecto al comportamiento de las presas, Espinosa (2010) sostiene que estas estructuras deben cumplir las siguientes condiciones fundamentales para considerar que están logrando sus objetivos y entregando beneficios a la comunidad:

- Ser estable: permanecer en equilibrio ante acciones que pretendan derribarla.
- Ser estanca: lograr junto con el vaso que no se pierda agua del embalse en tal cantidad que afecte a los beneficiarios de los usos propuestos para su erección.
- Ser durable: mantener sus características constituyentes idóneas durante la vida útil de la obra.

Una presa es una construcción que se encuentra sometida a solicitudes provenientes del funcionamiento general de la naturaleza, manifestada por acciones que son propias de los fenómenos que se producen dentro del ambiente que rodea la estructura. Aquellas solicitudes consideradas relevantes para verificar la estabilidad de la misma son las siguientes:

- Peso propio: corresponde al peso de la obra y se traduce en una fuerza vertical cuya resultante actúa de forma permanente y es igual al producto de la aceleración local por la sumatoria de masas de los componentes de la presa. El conocimiento de los materiales de construcción que serán utilizados en la obra permite tener un orden del peso específico de estos, y con la geometría definida para la presa se puede determinar la magnitud del peso propio a considerar en las verificaciones de estabilidad.
- Empuje hidrostático: para una estructura de este tipo resulta fundamental evaluar las acciones ejercidas por el agua contra las superficies en contacto con ella, ya que corresponden a la sollicitación activa principal en las evaluaciones de estabilidad, tanto estáticas como dinámicas. En el punto que se considere su acción, el tensor de tensiones está representado por una esfera de radio igual a  $\gamma_w \cdot h$ , en que "h" es la distancia vertical entre el punto y el pelo de agua del embalse. ( $\gamma_w$  representa el peso específico del agua)

Otras solicitudes consideradas importantes en el diseño de una presa para evaluar su comportamiento son: las presiones intersticiales y sub-presiones, los efectos térmicos, el empuje de sedimentos, el oleaje, la reacción del terreno y los terremotos.

Con la evolución de los equipos para la construcción durante el siglo XX y la globalización en los recursos técnicos y financieros, ha ocurrido una especialización en dos tipos de presas fundamentalmente, porque han conseguido mejorar la resistencia y durabilidad de estas estructuras, logrando además disminuir los costos y los periodos de construcción. Se trata de las presas de hormigón compactado a rodillo (RCCD) y presas de escollera con pantalla de hormigón (CFRD).

Estas últimas resultan de particular interés, ya que este tipo de presa es la considerada en el embalse en estudio, por lo cual, en la siguiente sección se estudia el estado del arte de las presas tipo CFRD.



**Figura 2-1: Construcción de presa tipo CFRD.**

*Fuente: Materón (2015).*

### **2.1.1 Construcción de presas CFRD**

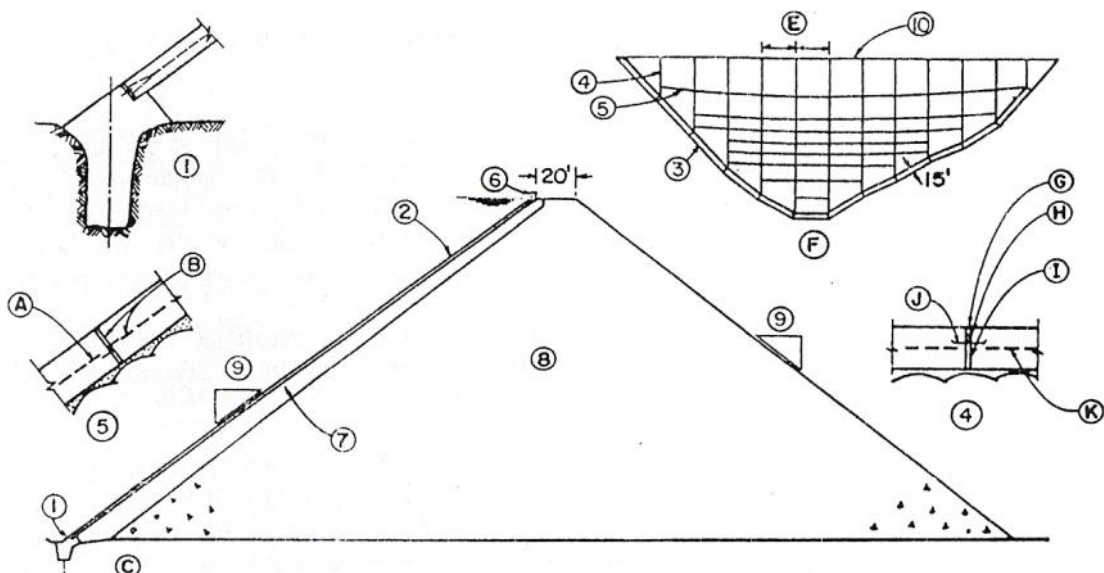
Las presas de escollera están formadas por enrocados volcados y compactados, que constituyen un porcentaje superior al 50% del volumen de la presa, luego, los cuerpos resistentes resultan ser muy permeables, por lo que se debe recurrir a otros materiales para retener el agua embalsada y cumplir con la función de estanqueidad.

Esta condición ha permitido la aplicación de distintas alternativas en pos de lograr el objetivo previamente descrito, entre las que se encuentran, presas con núcleo de estanqueidad, presas con estanqueidad asfáltica y presas con pantalla de hormigón.

Este último tipo de presas contiene una pantalla de estanqueidad vertical en el centro de la presa o apoyada en el paramento de aguas arriba. El perfeccionamiento en las técnicas constructivas, principalmente en juntas, ha permitido la utilización de hormigón armado en obras de gran altura, por lo tanto, en la actualidad el diseño de presas con pantalla de hormigón corresponde a una solución habitual en este tipo de obras civiles.

A continuación, se presentan las características principales de las presas de escollera con pantalla de hormigón en el paramento de aguas arriba (CFRD) consideradas durante gran parte del siglo XX.

- Cuerpo de escollera vertida en franjas de gran espesor.
- Talud de aguas arriba V:H=1:1,3.
- Talud de aguas abajo V:H=1:1,4 (próximo al ángulo de reposo).
- Base de pantalla de hormigón armado formada por grandes bloques de roca.
- Paramento de aguas arriba curvo para reducir la tendencia de las juntas a abrirse.
- Pantalla de hormigón relativamente gruesa, con un espesor determinado por  $0,3+0,0067H$  [m] (H=altura de la presa).
- Cuantía de armadura de la losa en ambas direcciones, de 0,005 (0,5%) del espesor teórico.
- Juntas horizontales y verticales más una junta perimetral articulada para permitir movimientos lineales y rotacionales de la pantalla.
- Trinchera para la fundación a lo largo del pie de la pantalla y entalladura en la roca de los estribos para el apoyo perimetral de la losa de hormigón.
- Deflector del oleaje en el parapeto del coronamiento, de 1,20 m de altura.



**Figura 2-2: Características del proyecto tradicional de presas CFRD.**

*Fuente: Espinosa (2010).*

Las presas construidas siguiendo estos criterios han presentado un comportamiento satisfactorio para alturas de hasta 75 m. Presas de mayor altura han tenido problemas de fisuración y fugas, algunas de cierta magnitud, que no afectaron su seguridad.

En el boletín n°70 de ICOLD (1989) se presenta una versión más actualizada del estado del arte de este tipo de presas, donde se describen las características principales de una concepción moderna para la época, las que difieren de las tradicionales mencionadas anteriormente en los siguientes aspectos:

- a) Material de apoyo de la pantalla: Se sustituyó el material tradicional por una zona de transición de escollera seleccionada y bien graduada, con mayor contenido de

finos, compactada horizontalmente y a lo largo del talud, para asegurar un soporte uniforme a la pantalla.

- b) Pantalla impermeable: En lugar de una trinchera excavada en roca y compuesta de hormigón, la unión entre la pantalla y la cimentación se materializa mediante un plinto, fundado a profundidad aceptable y anclado a la roca de fundación con barras de acero. En el contacto entre el plinto y la pantalla se dispone una junta de compresión y tracción.
- c) Pantalla de hormigón: Lámina constituida por fajas verticales, con una separación del orden de 18 m. Se eliminan juntas horizontales, excepto las de construcción, que se reducen al mínimo posible. El espesor de la pantalla se reduce respecto al tradicional.
- d) Armadura de pantalla: La mayor parte de la pantalla está en compresión, se admite reducir la cuantía en cada dirección a valores entre 0,4 y 0,35% de sección teórica de hormigón.
- e) Armadura del plinto: Emplear armadura de repartición en la parte superior, para absorber esfuerzos de tracción debido a la presión de inyecciones. Cuantía de 0,3% en cada dirección.

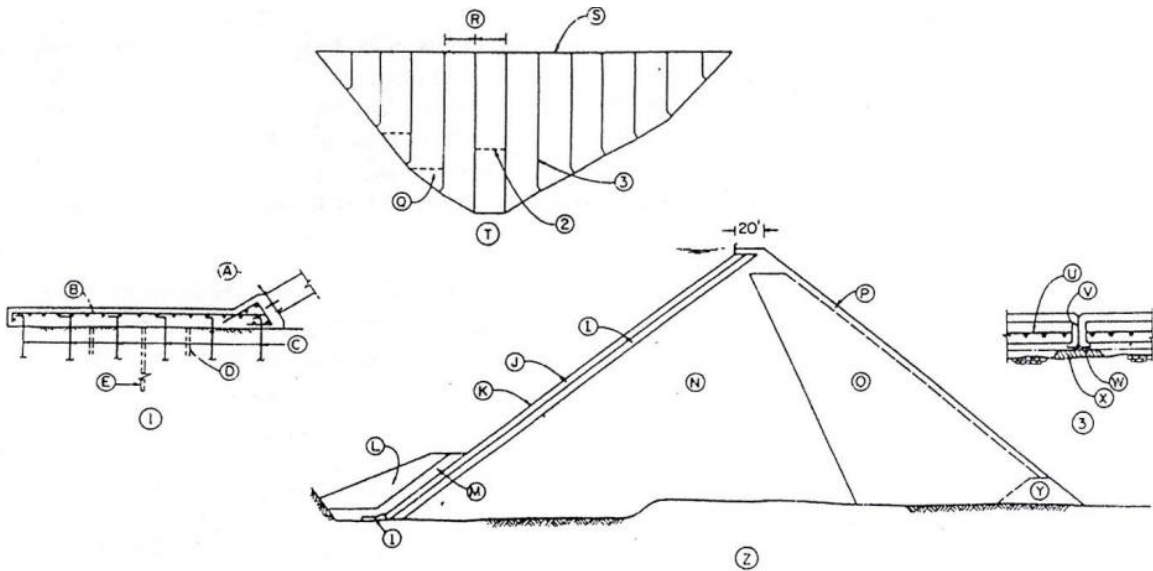


Figura 2-3: Características del proyecto de presas CFRD a principios de 1990 (ICOLD).

Fuente: Espinosa (2010).

Una presa CFRD debe cumplir las tres condiciones fundamentales previamente descritas para considerar que está cumpliendo los objetivos planteados, es decir, ser estable, estanca y durable.

La condición de estabilidad es cumplida por el cuerpo de la presa, construido con materiales de adecuada resistencia, capaces de transmitir a las fundaciones las solicitaciones que se ejerzan sobre esta, incluido su peso propio.

La condición de estanqueidad se logra gracias a la construcción de una pantalla de hormigón armado apoyada sobre el talud de aguas arriba de la presa, además aportan a esta función el plinto, la losa de pie de la pantalla y la cortina de inyecciones de cemento.

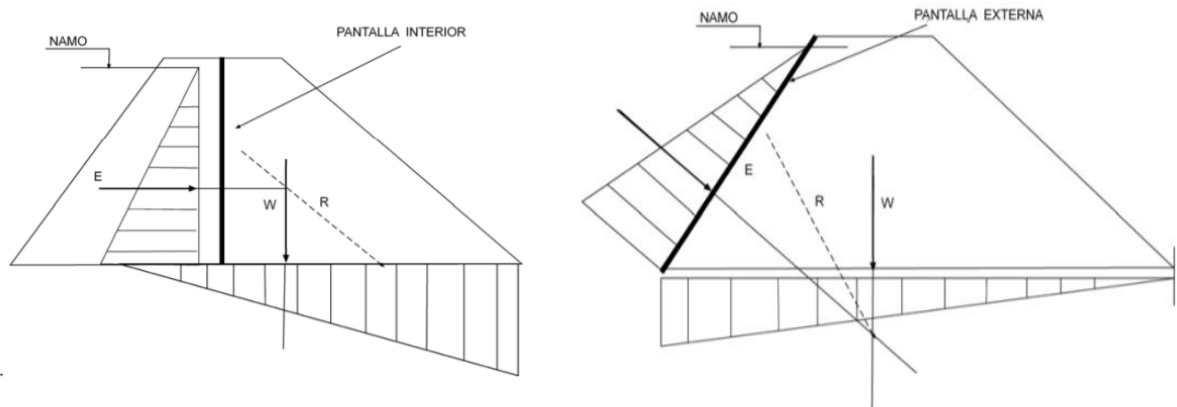
La condición de durabilidad está confiada inicialmente en la supervisión de los procesos constructivos, basados en las especificaciones técnicas generales y particulares del proyecto. Posteriormente, esta condición se resguarda en la etapa de operación de la presa, por medio de distintos métodos y técnicas, como por ejemplo la auscultación, necesarios para la conservación del proyecto y su mantención.

Una de las exigencias principales para una presa de estas características, guarda relación con obtener una baja compresibilidad, principalmente en el paramento de aguas arriba. El análisis del comportamiento de algunas presas ha demostrado que la máxima deformación, tras la puesta en carga, se produce en el tercio inferior de la presa, próximo al paramento de aguas arriba y disminuye gradualmente hacia aguas abajo. Luego, resulta lógico tener un apoyo de la pantalla de hormigón lo más incompresible posible, de forma de minimizar las deformaciones.

Esta zona especial de apoyo de la pantalla trae consigo diversas ventajas para la ejecución y la operación del proyecto, entre ellas: asegurar que las fugas a través de la presa no sean excesivas cuando se produzcan fallas en la pantalla, ya que esta actúa como una barrera semi-impermeable, la colocación del material con un fin determinado resulta fácil, se evitan excesos de hormigón y se dispone de un soporte más uniforme para la pantalla.

Respecto a las fundaciones de una presa CFRD, lo recomendado es disponer el plinto sobre roca sana, dura, no erosionable y que pueda ser inyectada. Si no se tienen estas características en la zona de emplazamiento, existen varios métodos para tratar las imperfecciones locales, el criterio general consiste en eliminar la posibilidad de erosión o de sifonaje en la fundación. La excavación se debe realizar cuidadosamente de forma de minimizar la fracturación de la superficie rocosa sobre la cual se ubicará el plinto.

Dentro de los aspectos destacables de las presas CFRD, se puede mencionar que todo el cuerpo de escollera está aguas debajo de la pantalla de estanqueidad, el ancho de la base es más de 2,6 veces la altura y esencialmente toda la carga hidráulica es transmitida a la fundación rocosa situada aguas arriba del eje de la presa. Este tipo de presas tiene una ventaja respecto a las presas con pantalla interior, referida a la mejor distribución de los esfuerzos aplicados a nivel de la fundación y a la contribución de todo el cuerpo de la presa en la absorción de los empujes hidrostáticos, razones consideradas principales en su preferencia en la práctica actual, además de la constructiva. A continuación, se puede apreciar un esquema de la distribución de esfuerzos en ambos tipos de presas.

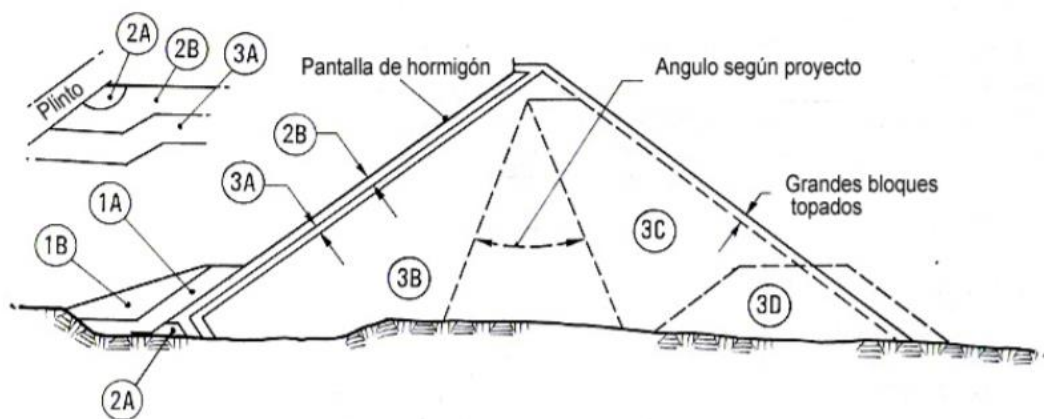


**Figura 2-4: Transmisión del empuje hidrostático al suelo de fundación en una presa con pantalla interior y exterior.**

*Fuente: Espinosa (2010).*

La pantalla de hormigón constituye el órgano principal y que recibe mayor atención de los encargados del proyecto. Estructuralmente corresponde a una lámina delgada, dividida constructivamente en fajas por juntas longitudinales, al estar simplemente apoyada en el espaldón de la presa de aguas arriba, le transmite directamente a éste el empuje hidrostático del agua acumulada en el embalse, por lo que resulta fundamental la congruencia de las deformaciones entre ambos materiales, ya que su comportamiento estructural depende de las deformaciones permanentes que se produzcan en el paramento del relleno sobre el cual descansa.

La evolución de los métodos constructivos, principalmente relacionados a la mayor capacidad de las maquinarias, ha permitido la erección de presas de este tipo en lugares impensados y con alturas superiores a los 200 m. En el boletín n°141 del ICOLD (2006) se propone una zonificación básica para la colocación de los materiales de relleno, la cual es mostrada a continuación.



**Figura 2-5: Características del proyecto de presas CFRD (2006).**

*Fuente: Espinosa (2010).*



Las características de cada zona se presentan a continuación:

- Zona 1A: su función se basa en proveer material fino que se pueda introducir en grietas y fisuras de la pantalla de hormigón o en aberturas de las juntas. Limos y arenas finas son materiales adecuados para esta función, las que son colocadas en capas de 20 a 30 cm de espesor con una leve compactación.
- Zona 1B: protección para la zona 1A, materiales adecuados son mezclas de limos, arcillas, arenas y gravas rodadas, colocadas en capas de 20 a 30 cm, compactadas.
- Zona 2A: esta zona constituye un filtro de arena y grava dentro de los dos o tres metros de la junta perimetral, impide la migración de partículas provenientes de la zona 1A hacia el cuerpo de la presa. El material adecuado es semejante al árido para hormigones, se coloca en capas de 20 a 40 cm, bien compactado con rodillo vibratorio.
- Zona 2B: corresponde a la zona de apoyo de la pantalla de hormigón, los materiales adecuados son partículas de arenas y gravas, colocadas en capas de 40 cm, compactadas con rodillo vibratorio de tambor. El ancho de esta zona varía entre 2 a 4 m según la altura de la presa.
- Zona 3A: zona de transición entre la zona 2B y la zona de escollera 3B. Los materiales adecuados son del tamaño de las partículas de escollera de hasta 40 cm, colocados en capas de 40 cm de altura, con un ancho entre 2 a 4 m en función de la altura de la presa y compactados de manera similar a la zona 2B.
- Zona 3B: generalmente los materiales adecuados son escolleras con tamaños del orden de 1 m, dimensión que fija la altura de colocación de las capas, compactadas con rodillo liso vibratorio.
- Zona 3C: esta zona generalmente está compuesta por escolleras cuyo tamaño máximo es de hasta 2 m. Tal material es colocado en capas de 2 m compactadas con pasadas de rodillo vibratorio.
- Zona 3D: estas zonas de escollera aseguran un drenaje controlado en el cuerpo de la presa. Cuando está bien drenado, estas zonas se colocan en el pie de la presa, en la sección del cauce. En escolleras pobremente drenadas, estas zonas pueden tomar la forma de un dren chimenea continuo, al que se agregan drenes de salida de gran capacidad que descargan al pie de la presa.

Entre las tareas de gabinete, previas a la construcción de una obra, se encuentran los análisis de estabilidad relacionados con las estructuras contenidas en el proyecto. El estudio del comportamiento de obras de ingeniería ante situaciones hipotéticamente posibles en que pudieran encontrarse y determinar el grado de seguridad que tendrían en aquellos casos, son tareas comprendidas en los análisis de estabilidad.

La seguridad de toda estructura es la condición primera para aceptar su construcción. Este concepto se puede entender como la certeza de no estar la sociedad amenazada por el riesgo inminente de pérdida de vidas, bienes y/o cualquier otro patrimonio de interés. Las presas son obras que requieren una alta garantía en términos de seguridad, dadas las graves consecuencias que se derivarían de su eventual fallo.

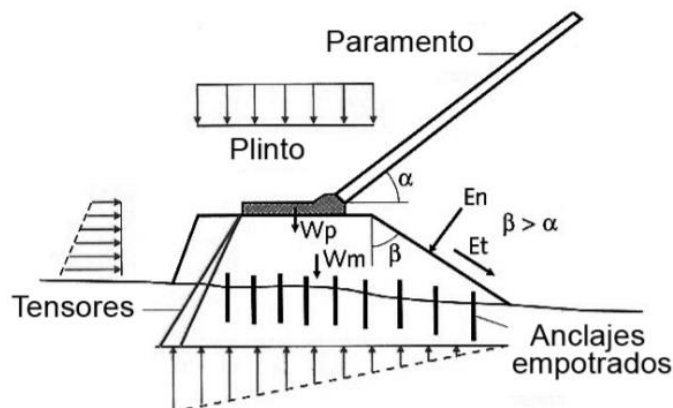
La noción de estabilidad está presente durante toda la vida útil de la obra, incluido el periodo de gestación de la misma. La calificación de la estabilidad de una obra se trata de apreciar mediante el coeficiente de seguridad, cuyo valor es una magnitud relativa entre los efectos de una hipótesis de carga y la capacidad última de resistencia a esta misma por parte de la obra diseñada o construida. En la práctica son consideradas situaciones como las siguientes:

- Final de la construcción, sin y con sismo. Donde la hipótesis de carga comprende solamente los pesos propios de la estructura, no se ha completado la consolidación y todavía no se ha llenado el embalse.
- Régimen permanente de percolación, con embalse lleno, sin y con sismo. La consolidación de la obra se ha completado.
- Desembalse de operación, desde el nivel de embalse lleno, sin y con sismo.
- Desembalse rápido, sin y con sismo, como caso excepcional, que no es de operación normal.
- Primer llenado. Este caso se relaciona con las presiones de poros.

Respecto al plinto, al emprender el diseño de este elemento, se deben tener en cuenta aspectos como: los gradientes hidráulicos admisibles, las características geológicas de la roca de fundación y la geometría de la intersección de la superficie del terreno y el paramento de aguas arriba de la presa.

La estabilidad del plinto es una cuestión en la que interviene la mecánica de rocas, pues como pieza de la estanqueidad de la presa, el conjunto de la estructura de hormigón armado y la zona activa de la cimentación debe ser estable ante las diversas acciones del agua, en lo posible sin tener en cuenta la contribución de la escollera.

En la figura 2-3 se indican esquemáticamente las fuerzas actuantes sobre el plinto cuando el embalse está lleno, las que deben ser consideradas para garantizar la estabilidad de este elemento.



**Figura 2-6: Estado de cargas sobre un plinto.**

*Fuente: Espinosa (2010).*

El diseño del plinto se encarga de resolver el problema de la integridad del órgano de estanqueidad de la presa como transición estructural entre la pantalla de hormigón y la formación natural del terreno existente en el emplazamiento.

Respecto a la estabilidad sísmica, las presas CFRD han sido consideradas estructuras sismorresistentes confiables si se construyeron de acuerdo a la concepción moderna. Un antecedente importante relacionado a este tópico es el de la presa Zipingpu, ubicada en la provincia de Sichuan en la región sudoeste de China, sobre el río Minjiang. El día 12 de mayo de 2008 se produjo el terremoto de Sichuan, de magnitud 8,0 Richter, cuyo epicentro estuvo a una distancia de un poco más de 17 km del emplazamiento de la presa Zipingpu. El movimiento fue muy severo durante el sismo, la presa experimentó aceleraciones sísmicas muy fuertes (en registros instrumentales se superó el  $9,81 \text{ m/s}^2$ ), logrando un comportamiento estructural satisfactorio y teniendo sólo daños fácilmente reparables. Esta situación provocó una revisión de los criterios relacionados a la estabilidad sísmica, donde se adoptaron las siguientes definiciones:

- Sismo máximo posible (SMP): es el terremoto de mayor magnitud que pueda ocurrir dentro de una zona tectónica conocida.
- Sismo máximo de proyecto (SMDP): es el terremoto que una presa puede resistir, aun sufriendo daños severos en su estructura, que sin embargo sean reparables.
- Sismo básico de operación (SBO): es el terremoto básico correspondiente a una aceleración para el cual los daños sean reparables mientras la presa continúe en operación.

El comportamiento esperado de presas CFRD ante eventos sísmicos se incorporó en el boletín n° 70 de ICOLD, donde se consideraron las apreciaciones de una publicación de dos expertos en el tema, Cooke y Sherard (1987). Estas se basaron en los antecedentes conocidos hasta ese momento, donde se concluyó que la resistencia de una presa CFRD ante sollicitaciones sísmicas es elevada. Dentro de las razones que explican este comportamiento se tiene que el material de la presa está seco, por lo tanto, las acciones sísmicas no producen presiones intersticiales y no disminuyen la resistencia de la obra. Además, el material está fuertemente compactado y muy denso, por lo que los terremotos solo causan pequeñas deformaciones, especialmente en los taludes exteriores. Otro argumento que complementa esta afirmación, es que la cantidad total de agua que es capaz de filtrarse a través de las fisuras de la pantalla de hormigón cuando esta se ve sometida a acciones violentas como un terremoto puede escurrir fácilmente a través de la escollera, sin representar ello peligro alguno para la estabilidad del cuerpo.

## **2.2 Impacto ambiental en construcción de presas**

Como en toda sociedad humana, la construcción de una presa es el resultado de la decisión tomada de acuerdo con la organización social, la cultura imperante y la política practicada por los dirigentes de turno en el poder. El objetivo de esta obra es formar parte de un vaso o recipiente en el cual retener agua que escurra por un río y del que se pueda derivar en la medida de satisfacer una demanda de sus beneficiarios.

Respecto a la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en un proyecto de estas características, esta se debe realizar de forma previa a la ejecución de acciones con

incidencias ambientales relevantes y tiene por objetivo principal, predecir los impactos ambientales que se pudieran generar como también incorporar recomendaciones en el proyecto respecto a los procesos, elementos y características más importantes del medio biofísico y socioeconómico, para facilitar la decisión de su aprobación o rechazo. La intención de este proceso es que tras la puesta en marcha del proyecto quede garantizado un correcto funcionamiento del entorno natural junto con la preservación de la salud y bienestar del hombre, considerando todas las etapas del proyecto.

La génesis de un EIA parte de la obtención de información relativa a las actividades que se desarrollarán con el proyecto propuesto, pues frente a las condiciones actuales del medio, es posible hacer predicciones acerca de las repercusiones de los impactos, tanto de la propuesta básica como de las alternativas que se hayan considerado.

Además de identificar, prevenir e interpretar los efectos que se tendrán sobre el medio ambiente, resulta fundamental que el informe realizado logre proporcionar un conjunto de recomendaciones que permitan atenuarlos, compensarlos o incluso suprimirlos.

Los aspectos particulares de los EIA relativos a embalses son consecuencia directa de la naturaleza de los cambios que se producirán en el medio en que la obra se establecerá y de aquellos otros más o menos alejados sobre los cuales influirá.

Desde el punto de vista medioambiental, el aspecto más relevante es la aparición de un ecosistema nuevo, relacionado a la aparición de aguas profundas y quietas. Las repercusiones de tipo social y económico pueden tener alcances imprevisibles, la protección contra crecidas, el suministro de agua a poblaciones o el incremento de la renta percibida por familias del entorno afectado se encuentran entre los beneficios futuros. Las repercusiones negativas pueden ser severas, tales como, la inundación de terrenos cultivados o de pueblos enteros, la aparición de un elemento de riesgo o la destrucción de un paisaje irremplazable y característico de una región natural, serán pérdidas de difícil evaluación.

Durante el proceso de elaboración de un proyecto, la EIA puede llevarse a cabo de distintas maneras, en el caso de embalses, es durante la fase de planificación del proyecto donde los estudios se orientan a la identificación de las repercusiones que el proyecto podrá infringir al medio ambiente, de modo que el gestor sea informado no solamente de la valoración de aspectos positivos destacables del proyecto, sino también de aspectos negativos importantes, los que se deben valorar pertinentemente, de modo que se esté en condiciones de tomar decisiones con el mayor conocimiento posible de sus potenciales repercusiones.

En primer lugar, se debe considerar la situación sin proyecto (situación base cero). El proceso de selección de variables se debe iniciar con una identificación de impactos potenciales, lo que permitirá deducir cuáles serán los elementos del medio que se verán más afectados, y de tal forma será posible obtener una descripción de la situación del medio sin proyecto, es decir sin la presa.

Dentro de estas variables, se deben considerar las condiciones del medio físico, tales como, las características climatológicas de la zona, condiciones atmosféricas y a nivel de

ruidos, estudios geológicos e hidrológicos, estudios de la flora y fauna presente en el lugar, estudio del paisaje, etc.

También se debe estudiar el medio socio-económico, donde el área de estudio debe comprender todas aquellas zonas, por lejanas que parezcan, que verán modificado este medio por la creación de la obra (nuevas áreas de cultivo, regulación de caminos, etc.). Se debe considerar la realización de un análisis demográfico, que permita determinar el volumen de población afectada por la ejecución del proyecto y sus características estructurales, cualitativa y cuantitativamente. Además, con un análisis del sistema económico vigente en el área de influencia de la obra en proyecto se determinan las relaciones económicas, estructura y situación que se producen en dicha área, por ejemplo, las principales actividades económicas presentes en la zona del proyecto y la población activa que se dedica a estas. Otra variable que se debe contemplar son los factores socio-culturales, como: el patrimonio histórico, los signos culturales, las creencias, etc.

Previamente a la identificación de los impactos que generará la construcción de la presa, se realiza la interpretación y valoración de las variables identificadas. Tal proceder se fundamenta en que la evaluación del impacto será función no sólo de la actividad que se realice, sino también del valor y fragilidad del medio sobre el cual se asiente. Esto constituye el valor de conservación de los distintos elementos afectados y radica generalmente en su rareza, atractivo, singularidad, naturalidad, extensión, etc.

Luego de identificar los principales impactos según la metodología considerada, el desarrollo prosigue con la consideración de medidas correctoras, que aminoren los efectos derivados de las actividades contempladas, al mismo tiempo que se analiza las repercusiones que dichas medidas producirían en el entorno. Estas corresponden a las medidas de mitigación, prevención o compensación según corresponda.

Finalmente, se debe ejecutar un plan de seguimiento y control medioambiental, en el cual se debe comprobar que las medidas correctoras propuestas en la EIA se hayan ejecutado de manera eficiente, proporcionando advertencias sobre aquellos indicadores ambientales que alcancen el límite preestablecido y facilitando información para ser usada en la verificación de los impactos predichos, para de esta forma aportar el mejoramiento de las técnicas de predicción de impactos ambientales en la construcción de presas.

### **2.2.1 Sustentabilidad en construcción de presas**

Para establecer recomendaciones en términos de sustentabilidad para el proyecto embalse Las Palmas y otros de características similares, se ha tomado como base lo expuesto por la Comisión Mundial de Represas (WCD=World Commission on Dams) en su informe "Represas y desarrollo: Un nuevo marco para la toma de decisiones", correspondiente a una evaluación integral respecto al desempeño de los proyectos de represas en materia de desarrollo. Cabe destacar que la WCD es una comisión muy prestigiosa, por lo cual, este informe nos permite establecer un marco teórico en relación al estándar de sustentabilidad asociado a la construcción de presas.

La Comisión Mundial de Represas (WCD) fue establecida por el Banco Mundial y la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) en mayo de 1998 en respuesta a la creciente oposición a las represas grandes por parte de muchos grupos sociales en el mundo. Dentro de los objetivos de esta comisión se planteaba revisar la eficacia de las grandes represas para impulsar el desarrollo, evaluar las alternativas para generar recursos hídricos y energéticos, y, desarrollar criterios, lineamientos y normas internacionalmente aceptables para la planificación, diseño, diagnóstico, construcción, operación, monitoreo y desmantelamiento de las represas.

El informe de la WCD fue emitido en el año 2000 (Comisión Mundial de Represas, 2000). En este se halló que a pesar que las represas han hecho una contribución importante y significativa al desarrollo humano, y han sido considerables los beneficios derivados de ellas, en demasiados casos se ha pagado un precio inaceptable y a menudo innecesario para conseguir dichos beneficios, especialmente en términos sociales y ambientales.

Esta comisión fue integrada por representantes de una amplia gama de intereses relacionados con las grandes represas: gobiernos, personas afectadas por proyectos, organizaciones no gubernamentales (ONGs), movimientos populares, la industria constructora de represas, académicos, los grupos financieristas internacionales, entre otros. De esta forma, el informe publicado se ha generado mediante un proceso participativo único en el mundo.

La WCD realizó extensas consultas públicas y contrató un gran volumen de investigación científica para cumplir su misión, llevar a cabo la revisión independiente más completa sobre las represas del mundo. El proceso de construcción del informe, y de concordar los criterios y guías de la WCD, consistió primero en crear un comité asesor, formado por 68 miembros provenientes de todo el espectro de grupos interesados, quienes sin embargo actuaron como individuos independientes.

Posteriormente se llevaron a cabo ocho estudios de casos independientes de grandes presas en los cinco continentes, con una metodología común, transparente, y con información proveniente de todos los actores involucrados. Además, se realizaron 17 revisiones temáticas abordando aspectos sociales, ambientales, económicos y financieros; evaluación de opciones; gobernanza y procesos institucionales. Finalmente, se analizó una base de datos de 125 represas grandes en 56 países, para verificar los hallazgos de los estudios temáticos.

Los documentos generados por la WCD corresponden a estudios detallados, que muestran el estado del arte en ese entonces (año 2000) respecto a los siguientes ámbitos:

- Desempeño técnico, económico y financiero de las grandes presas
- Ecosistemas y grandes represas: desempeño ambiental
- La población y las grandes represas
- Opciones para el desarrollo de recursos hídricos y energéticos
- Toma de decisiones, planificación y cumplimiento

Basándose en los resultados obtenidos en los diversos estudios realizados, revisiones temáticas, casos particulares de estudio, etc., la comisión plantea un nuevo marco para la construcción de represas sustentables, generando un conjunto de criterios y guías con un enfoque centrado en el reconocimiento de los derechos (de las personas y el medio ambiente) y la evaluación de riesgo que permite establecer una base amplia para la toma de decisiones.

Las principales recomendaciones de la comisión incluyen las siguientes:

- Ninguna represa debe construirse sin la “aceptación demostrada” de las personas afectadas, y sin el consentimiento libre, previo e informado de los pueblos indígenas y tribales afectados.
- Deben desarrollarse diagnósticos completos y participativos de las necesidades hídricas y energéticas de las personas, así como de diferentes opciones para satisfacer dichas necesidades, antes de proceder con cualquier proyecto.
- Deben priorizarse los esfuerzos por maximizar la eficiencia de los sistemas hídricos y energéticos existentes antes de construir proyectos nuevos.
- Deben desarrollarse mecanismos para indemnizar, o compensar retroactivamente, a quienes hayan sido perjudicados por las represas existentes, y para restaurar los ecosistemas dañados.

La WCD concluyó que los costos económicos, sociales y ambientales de los embalses grandes son altos y muchas veces mayores que sus beneficios, y que otras alternativas hídricas y energéticas están disponibles, son viables, y en muchos casos no han sido puestas a prueba. La WCD planteó una serie de recomendaciones que son pertinentes no sólo para la planificación del agua y la energía, sino también para la planificación del desarrollo en general.

La WCD fue una comisión de prestigio internacional, compuesta por representantes de todos los ángulos del debate sobre las represas, por lo tanto, sus conclusiones y recomendaciones pueden ejercer gran influencia en las campañas sobre las represas en todo el mundo.

Pero hay una debilidad. Los lineamientos de la WCD no constituyen legislación internacional y sus recomendaciones no obligan a ninguna institución. Corresponde a las ONGs y los movimientos populares presionar a los gobiernos, las empresas y las instituciones financieras para que cumplan con las recomendaciones de la WCD.

Las recomendaciones de la WCD establecen un marco general para la toma de decisiones, el cual otorga significativamente más legitimidad al desarrollo hidroeléctrico y de presas en general. Estas se han estructurado en siete amplias prioridades estratégicas que deben guiar la toma de decisiones. Cada prioridad incluye un conjunto de principios que, de aplicarse, deben llevar a resultados más equitativos y sostenibles. Estas se presentan a continuación.

**Tabla 2-2: Propiedades estratégicas definidas por la WCD.**

<b>Prioridad estratégica</b>	<b>Justificación</b>
1. Lograr la aceptación ciudadana	La aceptación surge del reconocimiento de los derechos, el examen de los riesgos y la protección de los derechos de todos los grupos de personas afectadas, en particular, aquellos más vulnerables. Se utilizan procesos y mecanismos de decisión que permiten la participación de todos los grupos humanos, para demostrar su aceptación en las decisiones clave.
2. Evaluación completa de las opciones	Explorar otras alternativas distintas a las represas, evaluando las necesidades en materia de agua, alimentos y energía, y definiendo claramente los objetivos. El proceso de selección debe ser participativo y se deben valorar los aspectos sociales y ambientales de igual manera que los factores económicos y financieros.
3. Abordar las represas existentes	Existen oportunidades de optimizar los beneficios de muchas represas existentes, de abordar las problemáticas sociales pendientes y fortalecer las medidas de mitigación y restauración ambientales.
4. Sostener los ríos y los medios de ganarse la vida	Comprender, proteger y restaurar los ecosistemas a nivel de cuenca es esencial para fomentar el desarrollo humano equitativo y el bienestar de todas las especies. La evaluación de opciones y la toma de decisiones acerca del desarrollo de los ríos priorizan los esfuerzos para evitar los impactos, seguidos por la minimización y mitigación de los perjuicios para la salud e integridad del sistema fluvial.
5. Reconocer los derechos y compartir los beneficios.	Las negociaciones conjuntas con las personas afectadas adversamente brindan, como resultado, disposiciones por común acuerdo para la mitigación y el desarrollo que serán susceptibles de ser aplicadas. Estas disposiciones reconocen los derechos que mejorarán las formas de ganarse el sustento y la calidad de vida, y las personas afectadas siempre serán beneficiarias del proyecto
6. Asegurar el cumplimiento	Para asegurar la confianza y credibilidad ante la ciudadanía, se requiere que los gobiernos, los promotores de los proyectos, las autoridades regulatorias y las entidades operatorias cumplan con todos los compromisos aceptados para la planificación, ejecución y operación de las represas.
7. Compartir los ríos para la paz, el desarrollo y la seguridad.	El uso y manejo de los recursos debe ser el objeto de consenso entre los Estados para promover mutuamente sus intereses superiores para la cooperación regional y la colaboración pacífica. Esto lleva a una transición de enfoque, desde un enfoque estrecho de asignar un recurso finito, hacia la acción de compartir los ríos y sus beneficios asociados.

*Fuente: Elaboración propia.*

El otro componente relevante que establece la WCD es un proceso paso a paso que indica cómo tomar decisiones sobre el desarrollo hídrico y energético. Se identifican cinco etapas fundamentales de decisión, basadas en las siete prioridades estratégicas presentadas anteriormente y en reconocer los derechos y evaluar los riesgos de todos los actores presentes en el proceso. Estas pueden resumirse de la siguiente manera:



1. Diagnóstico de necesidades: validar las necesidades de servicios hídricos y energéticos. Una evaluación participativa deberá producir un conjunto claro de objetivos de desarrollo que guíen la evaluación de las opciones.
2. Seleccionar las alternativas: identificar el plan preferido de desarrollo entre una amplia gama de opciones. Se debe realizar un análisis completo para seleccionar las opciones de preferencia entre las distintas alternativas, dando la misma importancia a los aspectos sociales y ambientales como a los factores técnicos y económicos. En esta etapa deben llevarse a cabo estudios investigativos respecto a los impactos de las opciones preferidas de manera amplia e independiente, para así poder seleccionar la opción de mayor beneficio social.
3. Preparación del proyecto: se debe verificar que existan los acuerdos previamente a licitar el contrato de construcción. Los actores deben participar en el diseño del proyecto y en la negociación de los resultados que les afectarán. Los planes de mitigación, reasentamiento, monitoreo y desarrollo deben concertarse con los grupos afectados, y deberán suscribirse los contratos respectivos, previamente al inicio de la construcción.
4. Ejecución del proyecto: confirmar el cumplimiento de los compromisos adquiridos antes de poner en funcionamiento. Las autoridades no emitirán su autorización para el inicio de la operación del proyecto hasta que todos los compromisos sean satisfechos, incluyendo los beneficios compartidos y las medidas de mitigación.
5. Operación del proyecto: se debe asegurar que se cumplan las condiciones definidas en la entrega de la licencia. El operador debe adaptarse a la dinámica del cambio, guiándose por objetivos orientados hacia el desarrollo, los que incluyen consideraciones sociales y ambientales, antes que puramente preocupaciones técnicas.

Para generar aceptación pública, la WCD enfatiza la necesidad de contar con procesos participativos amplios y comprensivos. Recomienda crear foros nacionales con participación de actores de todos los sectores involucrados, de modo de lograr transparencia y romper desconfianzas. En este aspecto, es fundamental asegurar el acceso a la información para todos.

Respecto a los impactos ambientales, la WCD descubrió que los embalses representan un aporte significativo al cambio climático, ya que emiten gases de efecto invernadero (GEI), representando un porcentaje considerable de las emisiones mundiales (alrededor del 7%). También afirma que las grandes represas han causado la pérdida de la biodiversidad acuática y han afectado la utilidad de las planicies inundables, de ecosistemas ribereños y de esteros, con sus ecosistemas marinos adyacentes, río abajo.

Respecto a los impactos sociales, la WCD afirma que las personas desplazadas producto de la ejecución del proyecto enfrentan una amplia gama de riesgos de empobrecimiento que incluyen quedarse sin tierra, sin trabajo, sin vivienda, marginadas, etc. Además, el número de personas afectadas directa e indirectamente han sido subestimados con mucha frecuencia, y usualmente la compensación se ha limitado únicamente para las personas que tuvieron título de propiedad legalizado, dejando fuera a una numerosa cantidad de personas, generalmente a aquellos más pobres.

Respecto a los programas de reasentamiento, estos habitualmente se han enfocado en la reubicación física antes que el desarrollo económico y social de los desplazados, resultando en que las personas afectadas rara vez han recuperado sus medios de sustento previos a la ejecución del proyecto. La comunidad afectada en muchos casos ha sido obligada a reasentarse alrededor del embalse, en zonas cuyos recursos ya están agotados y el medio ambiente deteriorado, donde la reposición de las tierras agrícolas, servicios básicos e infraestructura ha sido inadecuada o retrasada durante muchos años.

La WCD manifiesta que las represas grandes han tenido efectos adversos significativos para el patrimonio cultural, causando la pérdida de los recursos culturales de las comunidades locales y la inmersión y degradación de los restos de plantas y animales, los sitios de entierro y los monumentos arqueológicos. En la mayoría de los casos no se han considerado medidas para minimizar ni mitigar la pérdida de los recursos culturales y arqueológicos presentes en el área de intervención del proyecto en cuestión.

La WCD concluye que existe un fracaso en las medidas de mitigación, las que han logrado un éxito limitado debido a la falta de atención al prever y prevenir los impactos, la mala calidad e incertidumbre de las predicciones, la dificultad de enfrentar todos los impactos, y la aplicación tan solo parcial de las medidas propuestas.

Por otra parte, la WCD examinó los procesos de decisión, planificación y cumplimiento con relación a las represas grandes.

Dentro de este ámbito, se plantea el fracaso de las evaluaciones de impactos ambientales (EIA), ya que estas frecuentemente no influyen en la toma de decisiones. La EIA “consta principalmente de medidas para compensar o mitigar los impactos previstos y hacer que sean aceptables, cuando ya se tomó la decisión de proceder”. Además, “La mayoría de los promotores de represas ven a la EIA como un obstáculo administrativo que deben superar, o una exigencia para poder conseguir el financiamiento”. A menudo se ha realizado una “inversión política, técnica y financiera ingente” antes de que siquiera se inicie el EIA.

También se encontró que la falta de inclusión y reconocimiento de las personas afectadas ha sido generalizada. Se ha dispuesto tiempo, recursos e información insuficientes para las consultas públicas, las que además suelen ocurrir hacia el final del proceso. Otro factor relevante es que los promotores de las represas y los organismos financieros no cumplen con sus compromisos, ni observan las reglamentaciones legales, ni acatan los lineamientos internos, lo que genera un clima de desconfianza hacia estos proyectos.

Finalmente, respecto a la toma de decisiones, se destacan los conflictos de interés que han surgido, donde muchas represas no fueron construidas en base a una evaluación objetiva, sopesando los criterios técnicos y económicos al momento, y mucho menos los criterios sociales y ambientales que se aplican en el contexto actual. Además, la oportunidad de corrupción que ofrecen las represas, siendo obras infraestructurales en gran escala, distorsionó aún más la toma de decisiones, planificación y ejecución, donde se asume que los encargados de tomar decisiones pueden verse inclinados a favorecer la realización de obras de gran envergadura, ya que ofrecen mayores oportunidades para el enriquecimiento personal.

### 3 Antecedentes del proyecto Embalse Las Palmas

En este capítulo se presentan los antecedentes referentes a la construcción del Embalse Las Palmas, buscando conocer los aspectos más relevantes del mismo y el contexto en el cual se llevará a cabo. Estos antecedentes se extraen del estudio de ingeniería de detalles realizado para el proyecto en cuestión, denominado “Estudio de Diseño Construcción Sistema de Regadío Valle Petorca” (Arcadis Chile-DOH, 2011).

En primer lugar, cabe destacar que este proyecto se emplaza en la cuenca del río Petorca, ubicada en la zona norte de la región de Valparaíso, en la provincia de Petorca. Este sistema de regadío contempla la construcción de dos embalses, Las Palmas y Pedernal, junto al canal alimentador Las Palmas, que permite el trasvase de las aguas desde el río Petorca hacia el estero Las Palmas. En este trabajo se aborda de manera íntegra el desarrollo del embalse Las Palmas, mientras que las otras obras no se revisan con mayor detalle. En la figura 3-1 se puede apreciar la ubicación de las obras contempladas en el proyecto.

Estas obras se construyen con la finalidad de entregar seguridad de riego para el desarrollo de la agricultura en el valle de Petorca, donde gran parte del territorio es potencialmente utilizable en producción agrícola. Existe la necesidad de materializar estos embalses, ya que se cuenta con una limitada disponibilidad de recursos hídricos para riego en la zona, los que además se pierden en el océano por no tener obras que almacenen estos recursos actualmente.

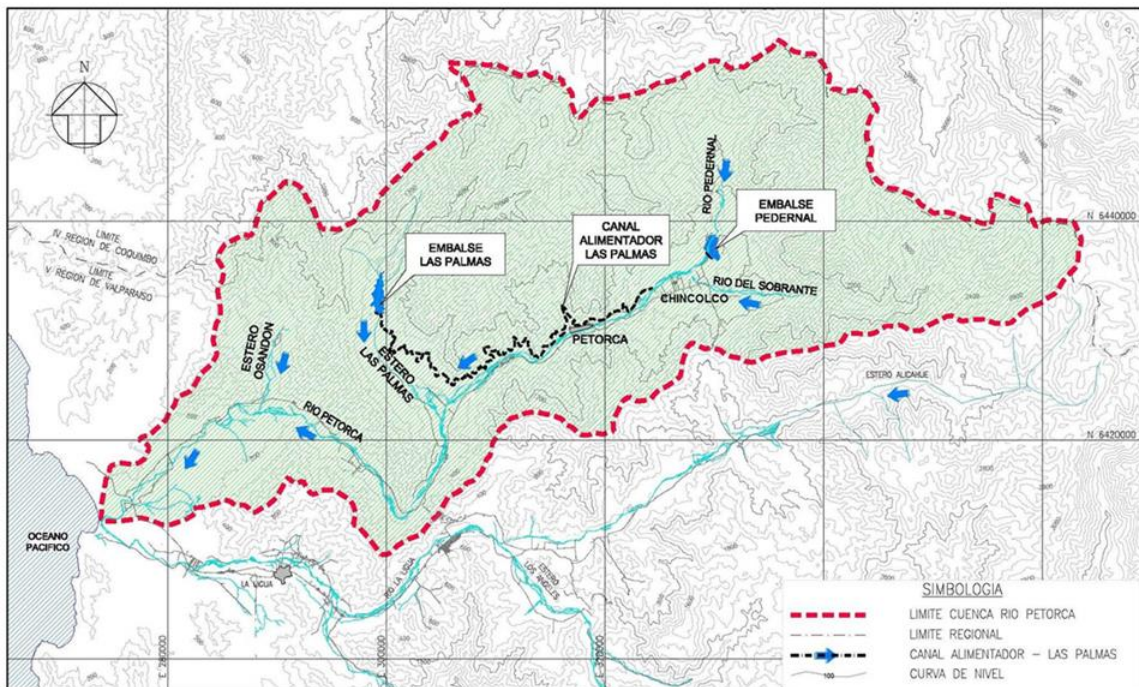


Figura 3-1: Ubicación general del valle de Petorca y zona de emplazamiento de las obras.

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

De acuerdo a lo establecido en el marco teórico, el desarrollo de la ingeniería de presas a nivel mundial tiene tendencia por presas tipo CFRD, debido a su menor costo y mayor seguridad ante eventos sísmicos y las posibles filtraciones producto de estos. Cabe hacer notar que, en la etapa de factibilidad del proyecto, las presas para los dos embalses fueron consideradas como presas de tierra, una de tipo homogénea y la otra zonificada. No aparece mención alguna al diseño de presas CFRD, sin embargo, se descartaron las presas de hormigón por su costo.

### 3.1 Descripción del proyecto Embalse Las Palmas

En lo que sigue, se presentan las principales características del Embalse Las Palmas.

El valle del estero Las Palmas se cierra a través de dos muros, un muro principal de relleno granular con pantalla de hormigón (Concrete Face Rockfill Dam, CFRD), de 560 m de largo y 70 m de altura aproximada y un muro secundario que cerrará un portezuelo en el estribo izquierdo, de 110 m de largo y 10 m de altura máxima.

Los taludes del muro principal han sido proyectados de acuerdo a la literatura reciente y la opinión experta de consultores, estableciendo una inclinación de la pared de aguas arriba en la razón 1,5:1,0 (H:V) y 1,6:1,0 (H:V) para la cara de aguas abajo.

El muro secundario se proyecta como un muro zonificado con un núcleo impermeable en el centro, por lo que se estimó conveniente considerar los siguientes taludes: 2,0:1,0 y 1,75:1,0 (H:V), para la pared de aguas arriba y aguas abajo, respectivamente.

El ancho de coronamiento para el muro principal se determinó en 8,0 m, según lo recomendado por Design of Small Dams (1987). Para el caso del muro secundario se estableció un ancho de 4,0 m. Además, ambos muros ubican su coronamiento a la cota 530 m s.n.m.

Las características principales de ambos muros se resumen a continuación:

**Tabla 3-1: Características muros del embalse Las Palmas.**

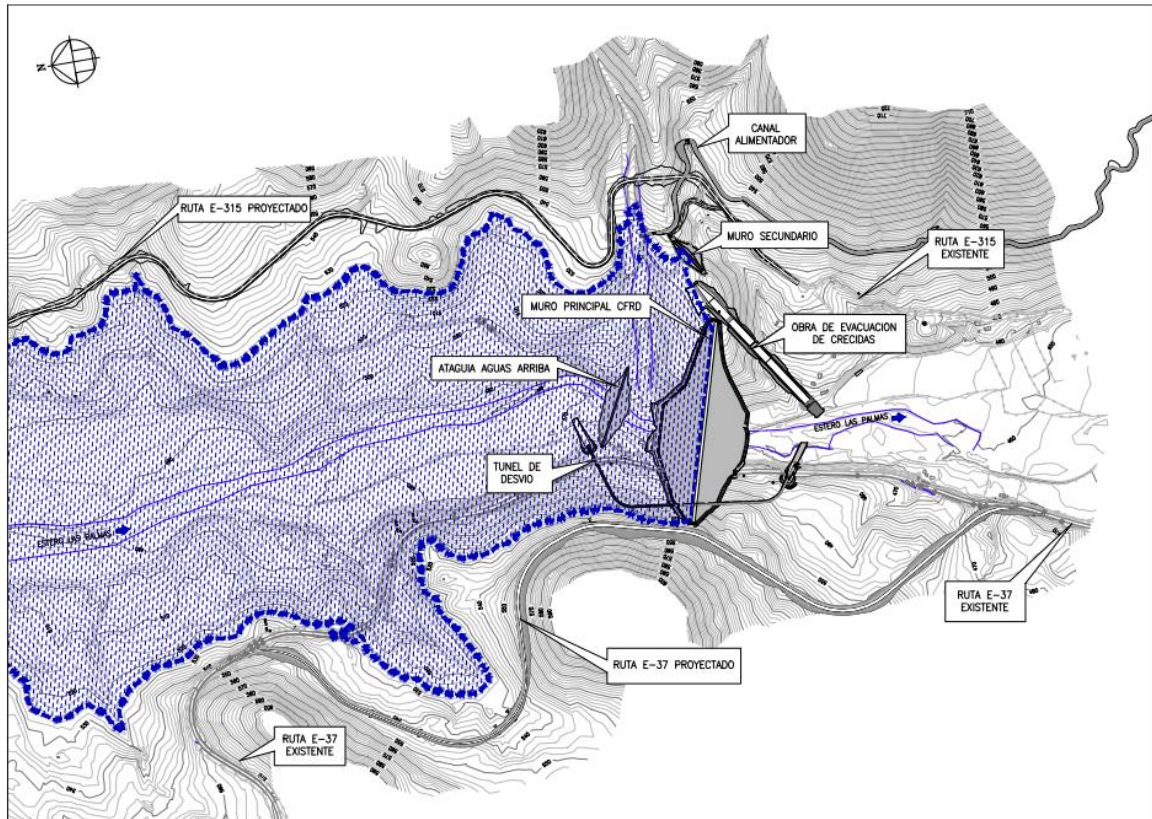
<b>Característica</b>	<b>Muro principal</b>	<b>Muro secundario</b>
Altura	70 m	10 m
Longitud de coronamiento	560 m	110 m
Talud aguas arriba	1,5:1,0 (H:V)	2,0:1,0 (H:V)
Talud aguas abajo	1,6:1,0 (H:V)	1,75:1,0 (H:V)
Cota de coronamiento	530 msnm	530 msnm
Ancho de coronamiento	8,0 m	4,0 m

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

El diseño del embalse Las Palmas contempla, además, la construcción de obras anexas, tales como, obras de desvío, obras de entrega a riego y obras de evacuación de crecidas. Las obras que se proyectan para el desvío del estero Las Palmas durante la construcción de la presa son la ataguía de aguas arriba y el túnel de desvío. Las obras de entrega a riego consideran la obra de toma, utilizada para captar el caudal de riego y para descender el nivel del embalse en caso de emergencias o mantenimiento, a través de la obra de desagüe de fondo. Por su parte, las obras de evacuación de crecidas, diseñadas

para evacuar los caudales de crecida asociados a un periodo de retorno de 1.000 años, constan de un vertedero de excedencias, un canal lateral colector, un rápido de descarga y una obra de disipación correspondiente a un salto de esquí.

En la figura 3-2 se presenta una vista general de la zona de emplazamiento del embalse en el valle del estero Las Palmas.



**Figura 3-2: Planta general del embalse y obras anexas Las Palmas.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

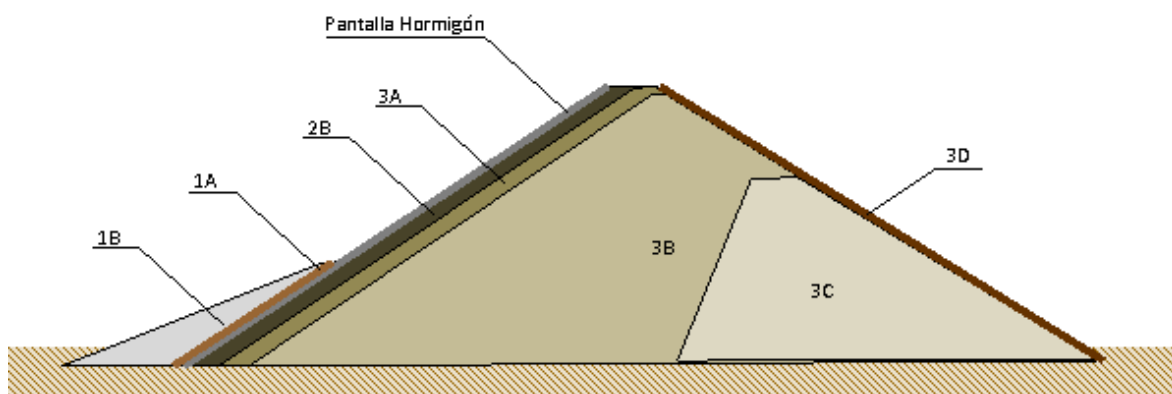
Las características más relevantes del proyecto se exhiben a continuación:

- Capacidad de almacenamiento: 55.000.000 m<sup>3</sup>
- Volumen de rellenos: 2.100.000 m<sup>3</sup>
- Superficie a inundar: 252 ha
- Cota umbral del vertedero: 525 m s.n.m
- Cota coronamiento muro principal: 528,5 m s.n.m
- Cota coronamiento muro parapeto: 530 m s.n.m
- Cota coronamiento muro secundario: 530 m s.n.m
- Presupuesto oficial del proyecto: UF 3.880.000 + IVA
- Mandante: Dirección General de Concesiones
- Concesionario: Sociedad Concesionaria China Harbour Engineering Company Ltd. (CHEC)

En lo que sigue, se presenta una descripción de las obras principales incluidas en el proyecto embalse Las Palmas.

### 3.1.1 Descripción obras principales

La construcción de la presa tipo CFRD en el valle del estero Las Palmas corresponde a la obra principal del proyecto. Este muro está compuesto por distintos tipos de rellenos, dispuestos con anchos y taludes según la literatura y obras similares construidas para la DOH. La sección transversal del muro principal se presenta en la figura 3-3, donde se puede apreciar la configuración definida y los tipos de rellenos que constituyen esta obra.



**Figura 3-3: Configuración de rellenos muro principal.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

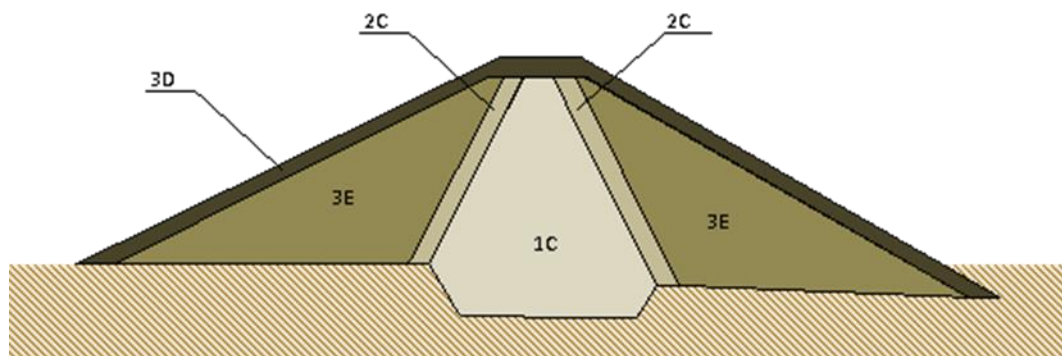
Cada tipo de relleno posee una función determinada para que la presa se comporte adecuadamente ante las distintas solicitaciones a las que se verá sometida. Para lograr que cada tipo de relleno cumpla su función de manera autónoma, se requiere que estos estén compuestos por ciertos materiales que tengan un desempeño acorde con la función que deben cumplir. Las características de los tipos de rellenos considerados para el muro principal se presentan enseguida.

**Tabla 3-2: Características de rellenos muro principal.**

Identificación	Materiales – Uso
1A	Arenas limosas o limos arenosos – Sellar fugas de agua
1B	Gravas y arenas limosas – Estabilidad relleno 1A
2B	Gravas arenosas con finos limosos – Superficie de apoyo pantalla
3A	Gravas arenosas – Filtro de relleno 2B
3B	Gravas arenosas (TM<24”) – Espaldón apoyo muro
3C	Gravas y roca sana (TM<32”) – Espaldón apoyo muro
3D	Bolones – Protección del talud de aguas abajo

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Por su parte, la sección transversal del muro secundario, proyectado como un muro zonificado, posee la siguiente configuración.



**Figura 3-4: Configuración de rellenos muro secundario.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Las características de los materiales de relleno considerados para la construcción del muro secundario se pueden observar en la tabla siguiente.

**Tabla 3-3: Características de rellenos muro secundario.**

Identificación	Materiales – Uso
1C	Arenas arcillosas con gravas (TM<4") – Núcleo impermeable
2C	Gravas finas y arenosas (TM<1,5") – Filtro de relleno 1C
3D	Gravas arenosas (TM<10") – Espaldón
3E	Bolones (TM<16") – Protección de taludes

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

El proyecto considera la construcción de un parapeto de hormigón en el muro principal, este elemento se diseña como un muro de contención en el coronamiento de la presa y determina la altura máxima de esta, su función es brindar protección hidráulica y sísmica.

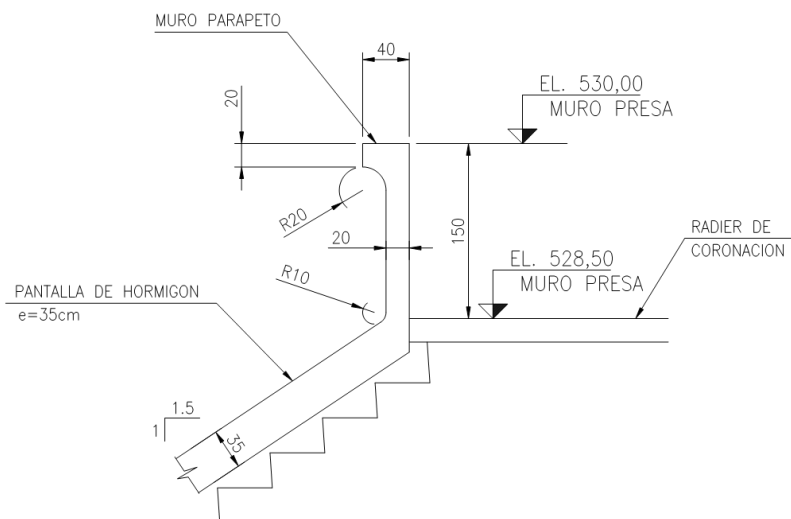
La cota de coronamiento del parapeto se calculó a partir de la cota del umbral del vertedero, la carga de diseño y la revancha. El umbral del vertedero se proyectó a la cota 525 msnm, para asegurar de esta manera el almacenamiento requerido de 55 hm<sup>3</sup>.

La cota de coronamiento del muro secundario se proyectó a 530 msnm, idéntica a la cota del parapeto de hormigón. Luego, la cota del radier de coronación del muro principal se fijó en 528,5 msnm, considerando la dimensión del muro parapeto.

Para determinar el tipo de muro parapeto de la presa Las Palmas se han tenido presente los diferentes tipos de parapetos que se han diseñado en las presas de la DOH. En este caso, resultó más conveniente la alternativa de un parapeto simple de hormigón, cuyo diseño se puede apreciar en la figura 3-5.

El espesor de la pantalla de hormigón para el muro principal del embalse, se proyectó constante a lo largo de toda su extensión, con un espesor de 0,35 m.

A continuación, se presenta un esquema donde se pueden apreciar las características recién mencionadas.



**Figura 3-5: Esquema del coronamiento de la presa y diseño del parapeto.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

El plinto corresponde al elemento de unión entre la pared impermeable de hormigón y el lecho de fundación, otorgándole estanqueidad a esta unión. El espesor del plinto se proyectó en 0,5 m en todo su largo, de acuerdo a lo reportado en la literatura técnica, mientras que el ancho se obtuvo de la división entre la carga hidráulica y el gradiente. Este elemento estructural será protegido por un material de tipo 1A y luego un espaldón de tipo 1B en todo su desarrollo horizontal.

En la presa Las Palmas se considera la construcción de una cortina monolineal de impermeabilización, por medio de inyecciones de lechadas de cemento en la roca basal a lo largo de todo el plinto, cuyo fin es homogeneizar la permeabilidad en  $10^{-7}$  m/s, lo cual es prácticamente impermeable. De esta forma las filtraciones bajo la presa serán nulas o despreciables si no existen defectos en la construcción.

El programa de instrumentación de la presa tiene por finalidad controlar el comportamiento de los muros frente a las diferentes sollicitaciones a las que pueden verse sometidos, y también obtener información útil para el diseño de presas similares. Para esto se ha dispuesto una red de instrumentación que abarcará todos los parámetros necesarios para establecer un correcto y oportuno uso de la información. Entre los parámetros que se buscan medir están: deformación de rellenos, deformación y tensiones en la pantalla de hormigón, filtraciones en estribos o dentro del cuerpo de la presa y aceleraciones producto de eventos sísmicos.

El primer llenado del embalse se debe llevar a cabo de manera controlada, para evitar grandes filtraciones producto de las posibles imperfecciones durante la fase de construcción, para esto se propone disminuir la velocidad del llenado a medida que este aumenta en la altura. Lo anterior permitirá llevar a cabo un control diario de los niveles de agua y, además, permitirá un monitoreo de las posibles filtraciones u otras eventualidades producidas durante el llenado. Se recomienda realizar este llenado en



periodo de estiaje (entre diciembre y abril), ya que los caudales medios mensuales no superan los  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  durante este periodo según hidrología.

### **3.1.2 Descripción obras complementarias**

En esta sección se presenta una descripción de las obras complementarias contempladas en el proyecto:

- **Obras de desvío:**

En el sector de aguas arriba de la presa se proyecta la construcción de obras provisionarias para desviar el estero Las Palmas durante el periodo de construcción de la misma, estas incluyen una ataguía y un túnel de desviación. La ataguía tiene la función de detener el flujo del estero y desviarlo para su conducción a través del túnel.

El túnel de desvío está diseñado para conducir el caudal por un costado del muro entregando finalmente al estero aguas abajo del muro. Esta obra se diseña para conducir un caudal de  $195 \text{ m}^3/\text{s}$ , asociado a un periodo de retorno de 20 años.

El revestimiento del túnel será de hormigón armado y su sección fue estimada como la mínima sección posible para que el flujo no escurra en presión, determinando una sección de medio punto de  $5,1 \text{ m} \times 5,1 \text{ m}$ . Además, este túnel tiene una longitud de 655 m.

Para contener el agua acumulada aguas arriba del portal de entrada del túnel se diseñó la ataguía de tipo zonificada, con un núcleo central. Los taludes de aguas arriba y aguas abajo se proyectaron a razón de 1,0:1,75 (V:H). El ancho de coronamiento se estableció en 4 m y su altura en 13 m aproximadamente, además, esta obra posee una longitud no menor a 189 m.

Al finalizar la construcción del muro de la presa, el túnel se sella con un tapón de hormigón tipo embudo de 7,7 m de largo, el que cubrirá la sección completa del túnel. Este tapón se proyectó alineado de manera de complementar las inyecciones de impermeabilización del muro con las inyecciones del tapón. La construcción de esta obra se realizará en dos etapas, de modo de no interferir con el caudal que se está desviando por el túnel.

- **Obras de entrega a riego:**

La obra de toma del embalse se ubica en la ribera derecha del estero Las Palmas, inmediatamente aguas arriba del portal de entrada del túnel de desvío y está diseñada para captar un caudal de  $2,38 \text{ m}^3/\text{s}$ , de acuerdo a las demandas de riego estimadas. Esta obra consiste en una torre de captación, que cuenta con una cámara de entrada con 4 orificios rectangulares, que se conecta al túnel de desvío y que además tiene dos compuertas aguas arriba de este empalme, las que controlan el ingreso del caudal del estero al túnel de desvío.

Aguas abajo del tapón de cierre se ubica la tubería de entrega a riego de 24" de diámetro, la que se extiende hasta la salida del túnel, donde se emplazan dos válvulas de chorro hueco (Howell–Bunger), una para entrega a riego y la otra para evacuar el caudal ecológico. Esta tubería tendría una longitud aproximada de 390 m.

El desagüe de fondo, ubicado en el tapón de cierre del túnel de desvío, tiene como objetivo descender el nivel del embalse en caso de alguna eventualidad, ya sea emergencias o mantenimiento. Esta obra tiene la capacidad de deprimir el nivel del embalse a la mitad en 27 días, mediante una sección rectangular de 0,6 m de ancho por 1,1 m de alto y una longitud de 7,7 m, atravesando el tapón descrito anteriormente. El desagüe cuenta con dos compuertas, una de servicio y otra de seguridad, las cuales descargan a una sección parcial del túnel que está delimitada por un muro divisorio localizado aproximadamente en la mitad de la sección completa del túnel.

En la figura 3-6 se puede apreciar la disposición de las obras complementarias descritas.

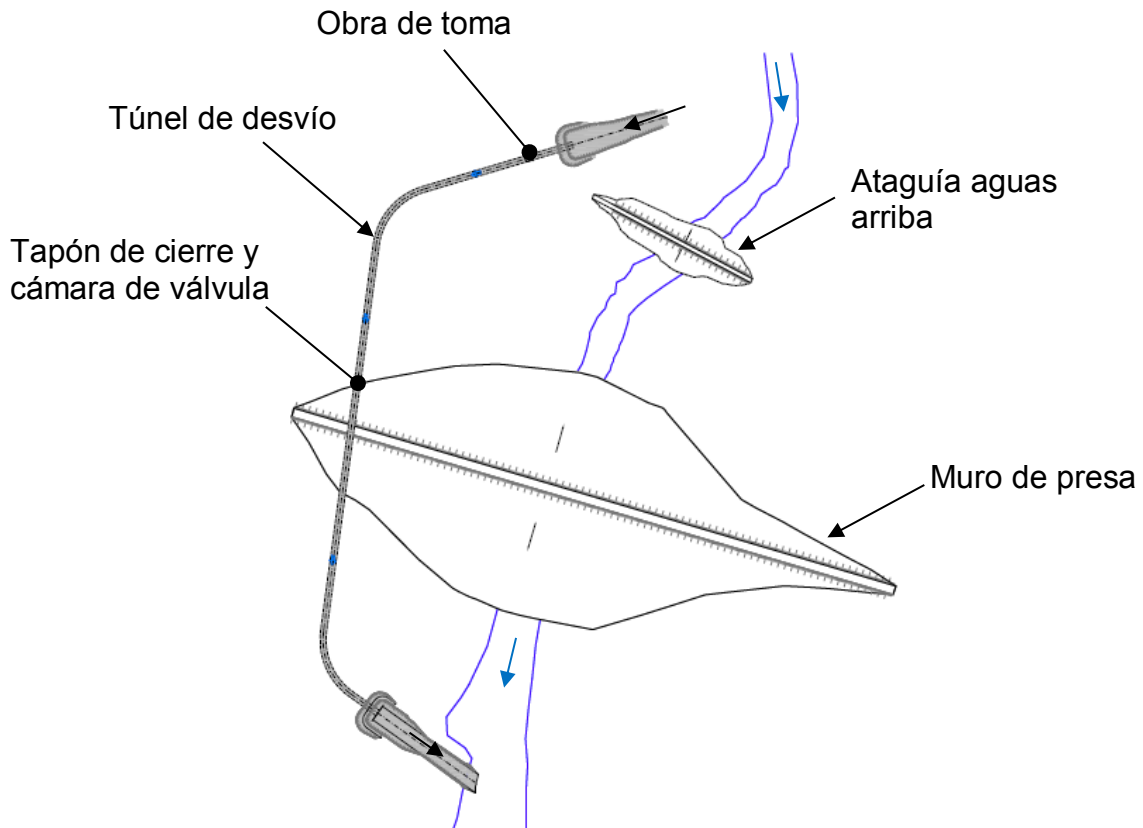


Figura 3-6: Disposición general obras de desvío y toma del embalse Las Palmas.

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

- **Obras de evacuación de crecidas:**

Las obras de evacuación de crecidas del embalse Las Palmas se diseñaron para un caudal de 525 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a la crecida milenaria, y se realizó la verificación para un caudal de 1.254 m<sup>3</sup>/s, asociado a la crecida máxima probable.

El evacuador consta de un vertedero de excedencias del tipo lámina libre, el cual entrega sus aguas a un canal lateral colector que se conecta mediante una grada con el rápido

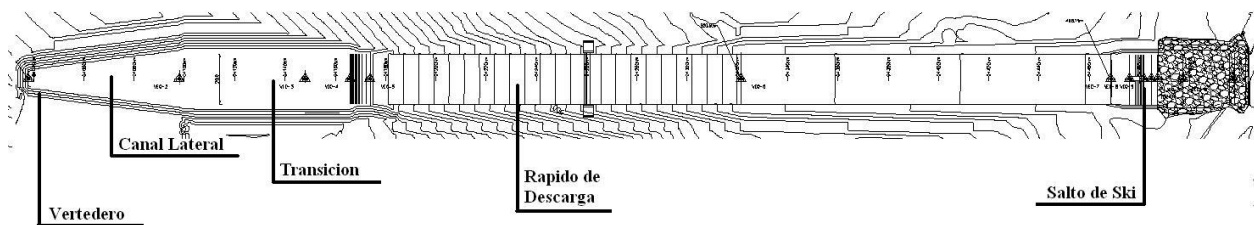
de descarga. Tal como se indicó anteriormente, el coronamiento del umbral del vertedero se ubica en la cota 525 msnm.

El agua que vierte cae a un canal lateral colector de 60 m de longitud, con un ancho basal variable de 5 a 20 m y una pendiente de 2%. A continuación del canal lateral, se diseñó una zona de transición seccionada en dos tramos, ambas tienen por objetivo estabilizar el flujo antes de entrar al rápido de descarga donde se generan altas velocidades, esta zona tiene una longitud total de 68 m.

Luego, se proyecta una grada de control que conecta con el rápido de descarga y permite controlar el flujo que ingresa a este. Aguas abajo de la grada se emplaza el rápido de descarga, en el cual se desarrolla un régimen supercrítico generando un escurrimiento con altas velocidades. Este canal se diseñó en dos tramos, con un ancho basal de 20 m y pendientes de 33% y 4%, respectivamente. El rápido de descarga tiene una longitud total de 300 m y una altura de muro de 3 m.

Esta obra concluye en un salto de esquí diseñado con un radio de curvatura de 12 m y ángulo de salida de 35°, el cual permite el lanzamiento del chorro a una distancia tal que se alcance el lecho del estero Las Palmas, al momento de la crecida. El salto de esquí se diseñó con una altura de muro de 4 m en el sector del cuenco de lanzamiento.

A continuación, se puede apreciar un esquema de las obras de evacuación de crecidas consideradas en el proyecto.



**Figura 3-7: Obras del evacuador de crecidas.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

### 3.1.3 Otros

En esta sección se presentan otros antecedentes del proyecto embalse Las Palmas que se deben tener en consideración para el desarrollo de este trabajo.

- **Vida útil:** Desde el punto de vista económico, las obras se proyectan para 50 años, debido a que este es el horizonte de evaluación para determinar la rentabilidad del proyecto. Sin embargo, desde el punto de vista del diseño de ingeniería, el proyecto tendría una vida útil prácticamente indefinida, debido a que las crecidas y sismos de diseño consideran eventos que tienen una probabilidad de ocurrencia mucho mayor al horizonte de análisis financiero.
- **Fases del proyecto:** Este proyecto contempla las fases de construcción y operación. La fase de construcción debería tener una duración aproximada de 32 meses de acuerdo al programa de construcción del embalse. Una vez finalizada

la fase de construcción, lo que administrativamente corresponde a la dictación de la resolución de la DOH de Término de Construcción, comienza la fase de operación del embalse. Debido a las características del proyecto no se considera una fecha de término para esta fase. Además, el proyecto no contempla una fase de cierre y/o abandono ya que una vez terminadas las obras, se espera que estas operen durante toda su vida útil (indefinida), realizando las mantenciones y reparaciones de daños en caso de ser necesario.

- Mano de obra: Se ha estimado que la mano de obra promedio necesaria durante la fase de construcción sería de 100 personas, con un peak de 120 personas. Por su parte, durante la etapa de operación se estima que la mano de obra promedio requerida es de 5 personas, con un peak estimado de 8 personas.
- Obras anexas: La zona de inundación del embalse afectaría parte de las rutas E-37-D (camino La Ligua – Illapel) y E-315 (camino Palquico – Frutillar), por lo que se debe considerar la reposición de estos caminos. También se debe considerar la reposición de instalaciones eléctricas que se verán afectadas por la ejecución del proyecto, precisamente aquellas que se encuentran en las rutas mencionadas.
- Instalaciones de apoyo: El desarrollo del proyecto requiere la implementación de distintas instalaciones temporales para conseguir una ejecución adecuada, como por ejemplo: instalación de faenas, caminos de acceso, planta de áridos y hormigón, botaderos, etc.

### 3.2 Zona de influencia del proyecto

El Embalse Las Palmas se emplaza en el estero Las Palmas, a unos 17 kilómetros al oeste de la localidad de Petorca, comuna de Petorca, V Región de Valparaíso. Este embalse pretende abastecer las necesidades de riego de la zona media y baja de la cuenca del río Petorca, con un volumen útil de 55 hm<sup>3</sup>.

Cabe señalar que el área poblada más cercana al proyecto, corresponde a la localidad de Palquico, la cual se ubica aproximadamente a 1,6 km hacia aguas abajo del muro del embalse. Por su parte, la localidad de Las Palmas se ubica aproximadamente a 5 km hacia aguas arriba del muro y a 1 km del área de extracción de áridos.

Actualmente, la comuna de Petorca experimenta una profunda crisis sobre sus recursos hídricos, provocada no solo por la falta de precipitaciones y sequía en la zona, sino que, además, por factores como el cambio de uso de suelos que generó la agricultura (paltos y cítricos) y la priorización de la función productiva del agua por sobre el consumo humano. Estos factores han generado una problemática de grandes dimensiones en Petorca, relacionada al abastecimiento de agua potable para su población, donde el derecho humano de acceso al agua, en condiciones de igualdad y no discriminación, no estaría siendo garantizado por el Estado de Chile. (Instituto Nacional de Derechos Humanos, 2018).

En este contexto surge la posibilidad de construir obras civiles como embalses, que permitan retener las aguas y abastecer a las comunidades locales con recursos hídricos para el riego y para el consumo humano. Sin embargo, las condiciones meteorológicas e hidrológicas no son para nada auspiciosas en la zona de emplazamiento del embalse hoy

en día, ni tienen tendencia a mejorar durante las próximas décadas, en consecuencia, se debe estudiar el contexto en el cual se está desarrollando este proyecto, con el fin de analizar la viabilidad del mismo.

### **3.2.1 Contexto histórico del problema en la cuenca del río Petorca**

Desde el año 2010 a la fecha, Chile Central atraviesa un periodo denominado como “megasequía”, durante el cual, el déficit de precipitaciones se ha mantenido cercano al 30% entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía (Garreaud, 2015). Además, esta pérdida de lluvias ocurre en la década más cálida del último siglo, exacerbando el déficit hídrico a través de la evaporación desde lagos, embalses y cultivos. La persistencia temporal y la extensión espacial de la actual sequía son extraordinarias en el registro histórico.

Uno de los casos icónicos referente al problema de la escasez hídrica en el país es el de la cuenca del río Petorca. Un estudio recientemente publicado establece que la actual sequía (2010-2020) es la más extensa y extrema de los últimos 700 años (Muñoz et al., 2020), afirmación basada en la reconstrucción del caudal histórico del río Petorca desde el año 1300 hasta la actualidad, utilizando la información de los anillos de árboles de la zona.

Esta megasequía se vuelve aún más crítica en la cuenca de Petorca, ya que a diferencia de otras cuencas que poseen glaciares andinos que les aportan agua, esta depende exclusivamente de las lluvias y nieve de la época de invierno, las que han disminuido considerablemente en los últimos años.

Sin embargo, la escasez hídrica que presenta la cuenca del río Petorca no se debe únicamente a la megasequía que atraviesa el país, sino también a los usos que se le da al agua, factor asociado a la gestión del recurso por parte de las autoridades y las políticas públicas establecidas en este ámbito.

### **3.2.2 Descripción de la situación actual en Petorca**

Respecto a los antecedentes que nos permiten describir la situación actual que experimenta la comuna de Petorca, se debe mencionar que durante el año 2010 se registró un déficit en las precipitaciones en todo el territorio nacional, siendo afectada en mayor medida la zona comprendida entre la región de Coquimbo y la región del Biobío. De acuerdo con la dirección meteorológica de Chile, se registró hasta un 60% de déficit pluviométrico en algunas localidades de la región de Valparaíso.

Como consecuencia de esta situación, entre enero y abril del año 2011, se declararon en emergencia agrícola por déficit hídrico la totalidad de las comunas de la región de Coquimbo y 23 de las 36 comunas de la región de Valparaíso (64% de las comunas). Para el año 2012, el número de comunas declaradas en emergencia producto de la sequía a nivel nacional sobrepasaba las 80.

La situación de emergencia hídrica se ha visto agudizada especialmente en tres comunas de la región de Valparaíso, particularmente, las comunas de Petorca, Cabildo y La Ligua, las cuales fueron declaradas zona de catástrofe el 29 de febrero de 2012, producto de “la

peor sequía de la región de Valparaíso en 40 años”. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2012)

Esta situación ha mermado el crecimiento de las principales actividades económicas desarrolladas en las comunas aludidas, donde los efectos de la sequía han producido una fuerte disminución en la producción agrícola. Asimismo, la falta de alimentación y agua para los animales ha causado una reducción en la actividad ganadera.

Tal como se vislumbró anteriormente, la escasez del recurso hídrico en Petorca no puede ser explicado solamente por la megasequía que ha afectado gran parte del país en la última década; el manejo del recurso, su extracción y baja fiscalización, han jugado un papel importante en la crisis, convirtiendo a Petorca en un ícono de la inequidad en el acceso al agua.

Según información entregada por la Municipalidad de Petorca, más de 2.000 personas dependen de camiones aljibe para contar con suministro de agua potable en la comuna, lo que corresponde a un 20% de su población. Incluso, en el caso de recibir agua desde camiones aljibe, estos han otorgado una cantidad menor a 100 litros por persona al día, cifra mínima recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Respecto al uso del agua, la actividad agrícola consume una proporción excesiva, produciendo contradicciones entre las políticas de gestión del recurso y el funcionamiento de los sistemas ecológicos y las necesidades de las comunidades locales. (Muñoz et al., 2020)

Así, las críticas a las políticas hídricas se han hecho parte de la actual crisis social que vive nuestro país desde el 18 de octubre de 2019 (estallido social en Chile que lleva a un cambio en la Constitución Política de Chile), llegando a ser un tema relevante en las demandas de la ciudadanía para tener un país menos desigual.

En el año 2021 la Corte Suprema acogió el recurso de protección presentado por el Instituto Nacional de Derechos Humanos (INDH) en favor de los habitantes de Petorca, obligando a la Gobernación Provincial y a la Seremi de Salud a adoptar todas las medidas necesarias para asegurar el abastecimiento de agua potable no inferior a 100 litros diarios por persona. (Instituto Nacional de Derechos Humanos, 2021)

En el contexto del desarrollo de esta tesis y de la construcción del embalse Las Palmas, considerando las condiciones actuales que atraviesa la zona de emplazamiento del proyecto, resulta interesante citar: “Las grandes obras de ingeniería que una vez fueron el factor facilitador del desarrollo agrícola, hoy deben diseñarse de modo diferente, con la finalidad de considerar escenarios climáticos y sociales cambiantes en un país altamente urbanizado.” (Garreaud, 2015)

De acuerdo a lo anterior, en los capítulos que continúan se pretende analizar y concluir acerca de la rigurosidad de los estudios de ingeniería y medio ambientales desarrollados para el proyecto, teniendo en consideración la visión actual que se debe tener en un proyecto de estas características y las condiciones presentes en la zona en la cual se desarrollará.

## 4 Análisis de la ingeniería de diseño del proyecto Embalse Las Palmas

En este capítulo se estudiarán las etapas de ingeniería de diseño que se desarrollaron para el proyecto embalse Las Palmas, analizando los principales resultados de cada una de ellas y revisando el proceso de diseño durante el transcurso del tiempo.

### 4.1 Análisis del estudio de prefactibilidad del proyecto

A continuación, se presentan los aspectos más relevantes del estudio de prefactibilidad desarrollado para el proyecto, titulado “Evaluación Social de Embalses de Riego para los Valles de Ligua y Petorca V Región”. (Hidrogestión, 2005)

En este informe se evalúa la alternativa de optimización del funcionamiento de diferentes combinaciones de tres embalses en los valles de Petorca y La Ligua, cuyos tamaños, ubicaciones y superficies de riego se derivan de análisis hidráulicos desarrollados en estudios anteriores. En particular, este estudio hace referencia a un trabajo realizado por el Ingeniero Pablo Isensee M. (DOH, 2004), en el cual se analizaron las posibilidades de ubicación y capacidad de embalses en ambos valles, para dar un mejor aprovechamiento a los recursos hídricos integrados, superficiales y subterráneos.

#### 4.1.1 Antecedentes y descripción del proyecto

El proyecto estudiado tiene como producto un aumento de las áreas regables, otorgando una seguridad de riego adecuada para la producción de cultivos de alta rentabilidad en los valles de La Ligua y Petorca. Este objetivo se pretende lograr mediante la regulación de los recursos hídricos superficiales presentes en la zona, a través de la construcción de embalses.

Se menciona que ambos valles poseen excelentes condiciones agroclimáticas para la implantación de frutales de exportación y otros cultivos de alta rentabilidad, sin embargo, no se dispone de los recursos hídricos suficientes para desarrollarlos en todo su potencial con las instalaciones para riego existentes en la zona.

Dentro del valle de Petorca se considera la construcción de tres embalses distribuidos en distintas zonas. El primero de ellos es un embalse de cabecera llamado Pedernal, el que se ubica aguas abajo del río con el mismo nombre, el cual es afluente del río Petorca. Este embalse se ha estimado con una capacidad de 30 hm<sup>3</sup> de acuerdo a las características hidrológicas y físicas de ese sector del valle.

El segundo también es un embalse de cabecera y es llamado El Sobrante dada su ubicación, ya que este se localiza un poco más al sur, en el río Sobrante, que también es afluente del río Petorca. Este embalse se proyecta con una capacidad de 50 hm<sup>3</sup>.

El último de ellos, embalse Las Palmas, está ubicado bastantes kilómetros aguas abajo en el río Petorca, en una quebrada lateral. Este embalse se proyectó en un lugar donde las características físicas y geológicas permitieran su construcción, con el objetivo de almacenar las aguas de la zona media del valle. La capacidad máxima de este embalse es de 50 hm<sup>3</sup> y requiere el aporte de un canal alimentador de 42 km de largo que capta

las aguas del río Petorca, ya que su área aportante no es capaz de suministrar la cantidad de agua suficiente para su llenado.

La ubicación proyectada de los embalses en el valle Petorca se muestra en la figura 4-1. En esta también se pueden apreciar los embalses proyectados en el valle de La Ligua, los que no se abordarán con mayor detalle en lo que sigue.



Figura 4-1: Distribución general de los embalses en el valle Petorca.

Fuente: Hidrogestión - Dirección de Obras Hidráulicas (2005).

De acuerdo a los antecedentes recabados, se plantean las siguientes alternativas respecto a la implementación de los embalses previamente descritos para el valle de Petorca, las que se deben evaluar socialmente.

- Implementación de un Embalse (3 alternativas)
  1. Embalse Pedernal (P)
  2. Embalse El Sobrante (S)
  3. Embalse Las Palmas (LP)
- Implementación de dos Embalses (3 alternativas)
  1. Embalses Pedernal y El Sobrante (P-S)
  2. Embalses Pedernal y Las Palmas (P-LP)
  3. Embalses El Sobrante y Las Palmas (S-LP)
- Implementación de tres Embalses: Construcción de los 3 Embalses previamente descritos (P-S-LP)



#### **4.1.2 Análisis de la oferta y demanda del proyecto**

La demanda asociada a este proyecto guarda relación con satisfacer las necesidades de agua para los cultivos presentes en el área de influencia del mismo. Las cantidades de agua requeridas deben satisfacer los requerimientos evapotranspirativos de los cultivos y cubrir las pérdidas de agua por escurrimiento superficial y percolación durante el riego. La suma de ambos factores representa los requerimientos totales de los cultivos. Otro factor relevante para estimar la demanda de agua, es determinar el tipo de cultivos existentes en la zona. Con esta información se obtienen los requerimientos evapotranspirativos promedio de los distintos sectores del valle.

Finalmente, para estimar la demanda de agua en las distintas alternativas de diseño consideradas por el proyecto, es necesario determinar el uso que tendrán las nuevas áreas de riego producto de la construcción de los embalses y la optimización del uso del agua subterránea.

Respecto a la oferta del proyecto, se considera la construcción de embalses en el valle de Petorca, con el objetivo de contar con mayor disponibilidad de agua para riego, y de esta forma, satisfacer las necesidades de los cultivos existentes. Este efecto se produce por la regulación parcial de las cuencas y el aumento en la disponibilidad de aguas subterráneas, permitiendo incrementar las áreas del valle con seguridades de riego adecuadas para la producción de cultivos. Se ha determinado que en zonas con seguridades de riego igual o mayor a un 85% es posible desarrollar de manera satisfactoria la producción de frutales y cultivos de alta rentabilidad.

Es importante aclarar que cuando se habla de implementar un sistema de riego que otorgue un cierto porcentaje de seguridad de riego, esta se refiere al porcentaje de tiempo que la demanda de la planta es satisfecha en un 100%. Por ejemplo, para el caso del palto, si su seguridad de riego en un determinado lugar es del 60%, esto quiere decir que las demandas evapotranspirativas del palto son satisfechas un 60% del tiempo. El 40% del tiempo restante el agua disponible puede ser desde cero hasta una cantidad levemente inferior al mínimo requerido. De esta forma, una seguridad de riego de 0% no significa que no exista nada de agua, sino que nunca se es capaz de satisfacer toda la demanda del cultivo.

Para estimar la seguridad de riego que posee el valle, a partir de la demanda de agua, se deben determinar cuáles son las áreas regadas y que tipo de cultivos son los que existen en la zona. Para esto se realizó una modelación hidrológica del valle, la cual permite caracterizar los sectores de riego y determinar la cantidad de agua demandada por la actividad agrícola, y, además, señalar cuales son las áreas que poseen un 85% de seguridad de riego. Para esta modelación se subdividió el valle de Petorca en doce Sectores Hidrológicos, los que se pueden apreciar en la siguiente figura.

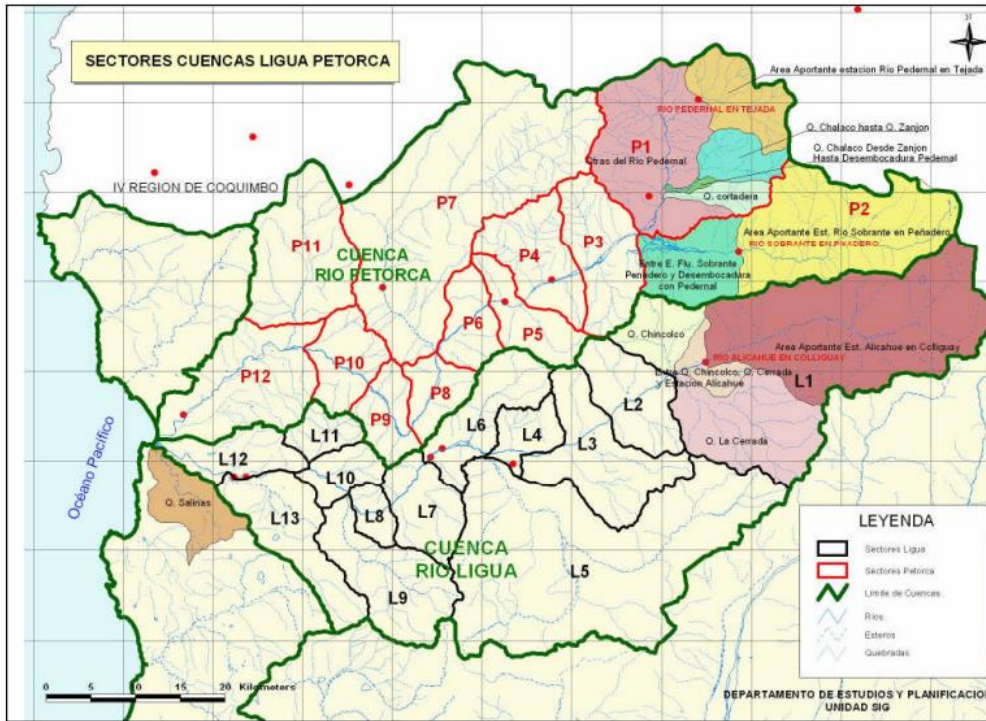


Figura 4-2: División del valle Petorca para modelación hidrológica.

Fuente: Hidrogestión - Dirección de Obras Hidráulicas (2005).

Para determinar las áreas regables en el valle de Petorca se utilizó el Modelo Operacional del Sistema (MOS), construido a partir de los antecedentes hidrológicos, hidrogeológicos y agronómicos de este, obtenidos de trabajos realizados por y con personal de la DGA.

El modelo permite obtener, para cada alternativa, las seguridades de riego de cada sector hidrológico definido, para así verificar cuáles cuentan con una superior al 85%.

Este modelo optimiza los recursos hídricos superficiales y subterráneos, por lo tanto, al ubicar embalses en las distintas zonas se generan aumentos en las recargas de aguas subterráneas, lo que permite considerar un aumento de disponibilidad y mejora en las condiciones de riego en zonas que no están directamente beneficiadas por las aguas del embalse.

En la tabla 4-1 se presenta un resumen de las áreas regables totales obtenidas y la seguridad de riego promedio de los doce sectores hidrológicos considerados, para todas las alternativas estudiadas.

Tabla 4-1: Resumen de resultados obtenidos mediante modelación MOS.

Alternativa	Áreas regables (ha)	Seguridad de riego (%)
3 Embalses	15.550	92,6
2 Embalses (LP-P)	14.970	96,6
2 Embalses (LP-S)	15.510	94,9

2 Embalses (P-S)	11.120	93,5
1 Embalse (LP)	11.910	96,6
1 Embalse (P)	9.790	92
1 Embalse (S)	10.460	93,6
Caso Actual Optimizado	8.145	97,4
Caso Actual	3.899	89,6

*Elaboración propia con base en Informe de prefactibilidad: Evaluación Social de Embalses de Riego para los Valles de Ligua y Petorca V Región. Fuente: Hidrogestión - Dirección de Obras Hidráulicas (2005).*

En la tabla anterior podemos notar que, la alternativa que alcanza un mayor porcentaje de seguridad de riego, y al mismo tiempo, un aumento considerable de las áreas regables, es aquella que considera la construcción de los embalses Las Palmas y Pedernal.

#### 4.1.3 Diseño y costos del proyecto

Dentro de las consideraciones de diseño para el sistema de embalses proyectados en el valle de Petorca, cabe destacar que:

- Los sitios de embalse, su ubicación y tamaño corresponden a los determinados en el estudio y modelación de Isensee (2004), donde se consideró el uso multianual de ellos, como también que el llenado de los embalses laterales se lleve a cabo con recursos excedentes de los cursos superficiales principales, adicionalmente a los de la cuenca aportante propia.
- Los sitios de los embalses preseleccionados permiten la construcción de obras de tamaño mediano o pequeño considerando los caudales y volúmenes de regulación establecidos como factibles.
- Respecto a la selección del tipo de presa en cada sitio, se optó por considerar sólo alternativas con tecnologías conocidas y de reciente aplicación. Además, para dicha elección se deben considerar las características geomorfológicas de los sitios preseleccionados, y por sobre todo, la presencia de materiales naturales en las zonas cercanas a los lugares de emplazamiento de las obras, con tal de obtener volúmenes suficientes para su completa terminación, conforme a los análisis geológicos y de ingeniería realizados en la zona.

En la tabla 4-2 se presentan las características de diseño para cada uno de los embalses.

**Tabla 4-2: Resumen de características de los embalses del valle Petorca.**

Embalse	Ubicación Eje Coordenadas UTM		Cotas m s.n.m.				Volumen hm <sup>3</sup>
	Norte	Este	Coronamiento	Fondo	Mínima	Máxima	
Las Palmas	6428670	299285	540	460	465	535	54,79
Pedernal	6436970	329340	735	698	703	732	30,55
Sobrante	6433179	335251	1030	930	935	1025	52,19

*Fuente: Hidrogestión - Dirección de Obras Hidráulicas (2005).*

Tal como se mencionó anteriormente, el embalse Las Palmas requiere un sistema de llenado adicional, ya que el agua que puede captar del área aportante de la subcuenca

en la que se ubica no es suficiente. Para definir qué sistema de llenado será el utilizado, se realizó una comparación económica del valor presente entre las alternativas de alimentación técnicamente posibles para el embalse, estas son: un canal alimentador que recoja el agua proveniente del cauce principal o un sistema de llenado por bombeo, que eleve el agua desde el cauce principal del río mediante una impulsión al embalse.

Ambas alternativas se estudiaron para un periodo de 30 años, correspondiente al horizonte de evaluación del proyecto, escogiendo aquella opción que resultó más conveniente o de menor valor presente. De la evaluación realizada se concluye que el sistema de llenado escogido para el embalse Las Palmas corresponde a un canal alimentador de 42 km de largo construido a nivel de cota del embalse.

Los costos del proyecto corresponden a la inversión y a la mayor utilización de recursos e insumos producto de la ejecución del mismo, como también los costos incurridos en la instalación de los sistemas de regadío necesarios. Los costos de inversión incluyen las obras de los embalses, canales alimentadores y las externalidades.

A continuación, se presenta un resumen de los costos sociales obtenidos para los embalses estudiados en la etapa de prefactibilidad.

**Tabla 4-3: Resumen de los costos de construcción de obras civiles en el valle Petorca.**

<b>Embalses</b>	<b>Neto (USD\$)</b>	<b>IVA (19%)</b>	<b>Total (USD\$)</b>	<b>Social (USD\$)</b>
Las Palmas	65.520.309	12.448.859	77.969.168	61.343.360
Pedernal	31.481.914	5.981.564	37.463.478	27.000.276
Sobrante	83.834.380	15.928.532	99.762.913	69.492.119

*Adaptado de Informe de prefactibilidad: Evaluación Social de Embalses de Riego para los Valles de Ligua y Petorca V Región. Fuente: Hidrogestión - Dirección de Obras Hidráulicas (2005).*

Luego, para evaluar los diferentes escenarios, desde el punto de vista de los beneficios sociales, se compararon las distintas alternativas utilizando los siguientes indicadores de rentabilidad: Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actualizado Neto (VAN) y la relación Beneficio Costo (B/C). Todas las alternativas fueron evaluadas sobre la situación base optimizada, la cual considera una tecnificación de riego en la zona, generando un aumento en la eficiencia de riego, y, por ende, una mayor producción agrícola.

Cabe señalar que, para llevar a cabo esta evaluación, se deben tener ciertas consideraciones al momento de estimar los beneficios futuros del proyecto, como por ejemplo, que el rendimiento de los cultivos varía según su edad y que el aumento del área cultivada es un proceso gradual que toma varios años.

El resumen de los resultados obtenidos se puede apreciar en la siguiente tabla.

**Tabla 4-4: Resultado de la evaluación social del proyecto.**

<b>Alternativa</b>	<b>VAN (US\$)</b>	<b>TIR (%)</b>	<b>B/C</b>
Las Palmas - Pedernal - Sobrante	75.193.839	12,40	1,60
Las Palmas - Pedernal	128.014.405	15,59	2,66
Las Palmas - Sobrante	108.837.029	13,94	1,92
Pedernal - Sobrante	-10.719.422	9,32	1,01

Las Palmas	61.328.742	14,46	2,12
Pedernal	17.630.086	12,66	2,01
Sobrante	2.540.185	10,23	1,08

*Fuente: Hidrogestión - Dirección de Obras Hidráulicas (2005).*

Analizando la tabla 4-4, se puede observar que la alternativa más rentable para el valle de Petorca es la que contempla la construcción de los embalses Las Palmas y Pedernal, ya que posee los mayores valores para todos los indicadores de bondad considerados, además, esta alternativa conforma la mejor distribución geográfica de la superficie de aumento de riego, lo que permite otorgar uniformidad de riego a lo largo del valle.

Por lo tanto, se define que la alternativa escogida para llevar a cabo es la que considera la construcción del embalse Las Palmas y embalse Pedernal, y es la propuesta que debe ser evaluada en el Análisis de Factibilidad.

#### **4.1.4 Conclusiones contenidas en el informe de prefactibilidad**

El estudio de prefactibilidad realizado señala la existencia de importantes beneficios asociados a la aplicación del proyecto, particularmente, relacionados a los beneficios agrícolas que se podrían obtener con la realización de éste. Según el estudio, se aprovecharían las condiciones agroclimáticas privilegiadas que presenta el valle de Petorca y se obtendría una regulación de los recursos hídricos existentes, con el objeto de lograr un desarrollo agrícola integral en dicho valle.

La solución que de acuerdo a los criterios mencionados otorgaría mayores dividendos y mejor distribución de superficie cultivable es la alternativa compuesta por la implementación de dos embalses en el valle de Petorca, el embalse Pedernal, ubicado en la cabecera de la cuenca y el embalse Las Palmas, situado en la parte intermedia del valle.

Desde el punto de vista de los intereses locales, el estudio analizado menciona que la solución es adicionalmente positiva, debido a que esta configuración entrega una cobertura más uniforme a lo largo del valle, lo que implica otorgar a todos los usuarios una seguridad de riego adecuada, independiente de la zona donde se ubiquen. Otro aspecto positivo de la solución propuesta radica en que al implementar esta alternativa se resuelve el hecho de que un único embalse de cabecera no sea suficiente para abastecer todo el valle, dando el mayor aprovechamiento a las aguas que existen en zonas intermedias de la cuenca y se pierden en el mar en épocas de excedencia.

Finalmente, en el informe estudiado se recomienda utilizar un programa de modelación más sofisticado para los estudios posteriores, en el cual se muestre de manera gráfica y explícita los procedimientos y resultados obtenidos, con el objetivo de validar los resultados entregados por el modelo MOS.

## **4.2 Análisis del estudio de factibilidad del proyecto**

En esta sección se presenta el estudio de factibilidad referente a la construcción de embalses en los valles de Petorca y La Ligua realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda. en el año 2007. El objetivo principal de este estudio consiste en realizar un análisis más preciso y con mayores antecedentes respecto de las alternativas de embalses

propuestas en el estudio de prefactibilidad publicado en el año 2005. Esto permitirá establecer las características, diseño y costos de las obras más convenientes de ejecutar en los valles mencionados anteriormente, de modo de optimizar los proyectos planteados desde el punto de vista técnico y económico, así como maximizar los beneficios generados con estos.

#### **4.2.1 Antecedentes y estudios básicos**

En el caso del valle de Petorca, la solución que permitiría obtener los mayores beneficios corresponde a la alternativa que contempla la construcción del embalse Pedernal, ubicado en la cabecera de la cuenca, y el embalse Las Palmas, situado en la zona intermedia del valle. Esta propuesta considera la mejor distribución geográfica de la superficie de aumento de riego, buscando una cobertura más uniforme a lo largo del valle, que permita alcanzar un desarrollo agrícola cabal de este.

Esta alternativa genera el aumento de la seguridad de riego de las superficies actuales y el crecimiento de las superficies futuras beneficiadas. Las superficies beneficiadas por la implementación de estos embalses son:

- Embalse Pedernal: 2.448 ha
- Embalse Las Palmas: 7.096 ha

La cuenca del río Petorca se ubica en la zona norte de la V Región del país, conformando su valle gran parte de la provincia de Petorca. Esta cuenca abarca una superficie total de 1.986 km<sup>2</sup>, se extiende entre los paralelos 32° y los 32°20' de latitud sur, limita por el norte con la cuenca del río Choapa y por el sur con la del río Ligua.

El río Petorca nace con el nombre de río Sobrante en la cordillera de Los Andes, a unos 2800 m s.n.m., escurre de oriente a poniente hasta desembocar en el mar, luego de un recorrido aproximado de 100 km. Su afluente principal es el río Pedernal, que escurre de norte a sur y desemboca en el Sobrante a la altura del pueblo de Chicolco, punto desde el cual el río pasa a denominarse Petorca. Otros afluentes que se deben mencionar son el estero Las Palmas en el sector de Pedegua y la quebrada La Chincharra situada a unos 19 km de su desembocadura en el mar. Ambos afluentes son de régimen pluvial, presentando escurrimientos superficiales importantes sólo en el periodo de invierno, siendo los de la temporada de riego poco significativos.

Las aguas del río Petorca tienen un régimen marcadamente nival en la parte superior de este, caracterizado por escurrimientos importantes en el periodo de deshielo y un fuerte estiaje en verano y otoño.

El área de riego de la cuenca comprende una superficie total de 5.160 ha, las que se distribuyen en los valles de Pedernal, Sobrante, Petorca y una pequeña superficie en el estero Las Palmas.

En términos de uso de los recursos hídricos superficiales, el que presenta mayor demanda es el regadío, ya que no existen demandas para el uso en hidroelectricidad y en la minería son muy pequeñas. En relación al agua subterránea, las características de

la demanda en regadío son similares, pero además se extrae el recurso para el abastecimiento de agua potable en diversas localidades de la zona.

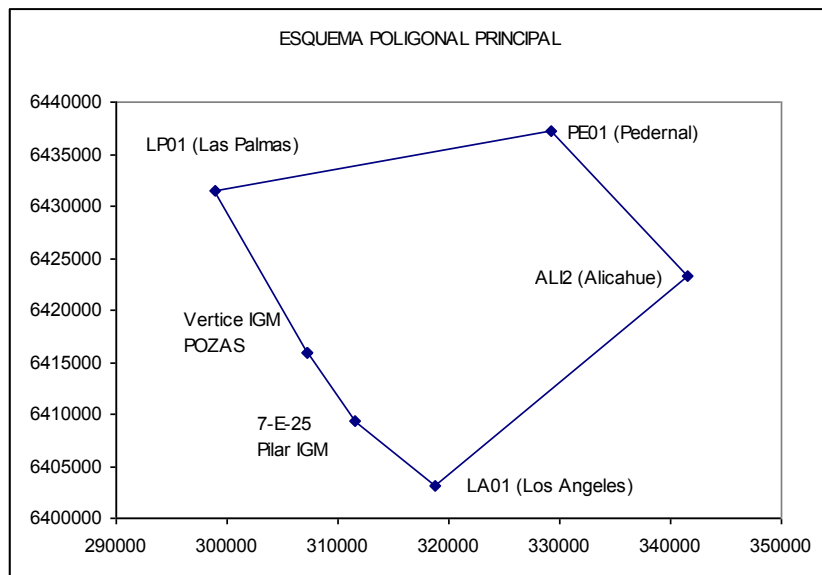
Cabe destacar la importancia de la actividad económica asociada a la agricultura en las comunas pertenecientes a la provincia de Petorca, la que se orienta principalmente a la producción de hortalizas y cereales y que ha experimentado un proceso de reversión hacia la producción frutícola, especialmente de cítricos y paltos.

Una vez recopilados estos antecedentes generales, se llevan a cabo distintos estudios que permiten conocer las características del sitio donde se emplazará el proyecto. Estos se detallan a continuación.

- **Topografía:**

En primer lugar, se estableció un sistema de referencia para llevar a cabo los diferentes levantamientos requeridos. Este sistema se encuentra ligado al vértice de Primer Orden del Instituto Geográfico Militar (IGM) de nombre “Pozas”, cuyas coordenadas son: Norte=6.415.901,96 m; Este=307.293,931 m y Cota=1.041,38 msnm del Datum Provisorio PSAD-56. Dicho vértice se encuentra a unos 13 km al norte de Cabildo y se accede por el sector de Pedegua.

Luego, se realizó una poligonal principal que vincula los distintos sectores en los que se emplazan los embalses que se proyectan en el valle de Petorca y La Ligua. Dicha poligonal consta de 6 vértices, de los cuales 4 representan los embalses que se construirán, uno es el eje del sistema de coordenadas y el otro corresponde a un vértice adicional que se incluyó para dejar un punto con coordenadas UTM de fácil acceso, al cual se pudieran vincular futuros proyectos u obras. En la siguiente figura se puede observar un esquema de la poligonal principal utilizada.



**Figura 4-3: Esquema general de la poligonal principal.**

*Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).*

Luego, para el embalse Las Palmas en particular, se obtuvo una poligonal cerrada apoyada en la poligonal principal de GPS. Para esto se construyeron 8 monolitos en el sector del embalse, 6 de estos nivelados geoméricamente, de los cuales 7 forman parte de la poligonal cerrada, controlada en sus extremos por dos pares de GPS. Estos también forman parte de un circuito cerrado de GPS en el que el punto de vinculación es el GPS "LP01" de la poligonal principal.

Posteriormente, se realizó un levantamiento topográfico del sitio donde se ubicará la presa del embalse Las Palmas en escala 1:500, en el cual se contemplan curvas de nivel cada 1 m en zonas de pendiente fuerte y cada 0,5 m en zonas de pendiente intermedia y en el valle.

Se levantó una superficie aproximada de 55 ha, con una densidad de 34 puntos por ha. Se midieron los elementos relevantes al estudio, es decir, edificaciones, cercos, señalética, quebradas, etc.

También se realizaron levantamientos en el área de inundación del embalse en escala 1:5000, cubriendo tanto la zona de la presa y la zona inundada más una franja de 200 m de ancho en su contorno y en los sitios donde se identificaron los yacimientos para empréstitos, para dichos levantamientos se generaron curvas de nivel cada 2,5 m o cada 1 m en los sectores más planos.

Respecto al levantamiento del área de inundación, este abarca una superficie aproximada de 727 ha, con una densidad de 22 puntos por ha, el sector fue considerado de mediana a alta complejidad topográfica, debido a una presencia relativamente alta de vegetación y variados accidentes topográficos, como quebradas.

- **Geología:**

En el valle de Petorca se distinguen diversas unidades geológicas que datan desde el periodo Triásico al Cuaternario, este se caracteriza por cubrir la mayor parte del área de estudio de rocas ígneas intrusivas, inter-estratificadas con sedimentos marinos y continentales. No se presenta actividad volcánica en el valle.

La geomorfología característica de la cuenca del río Petorca corresponde a un territorio formado por dos unidades morfológicas fundamentales: las planicies litorales fluviales y marinas en la costa; y una zona montañosa interior.

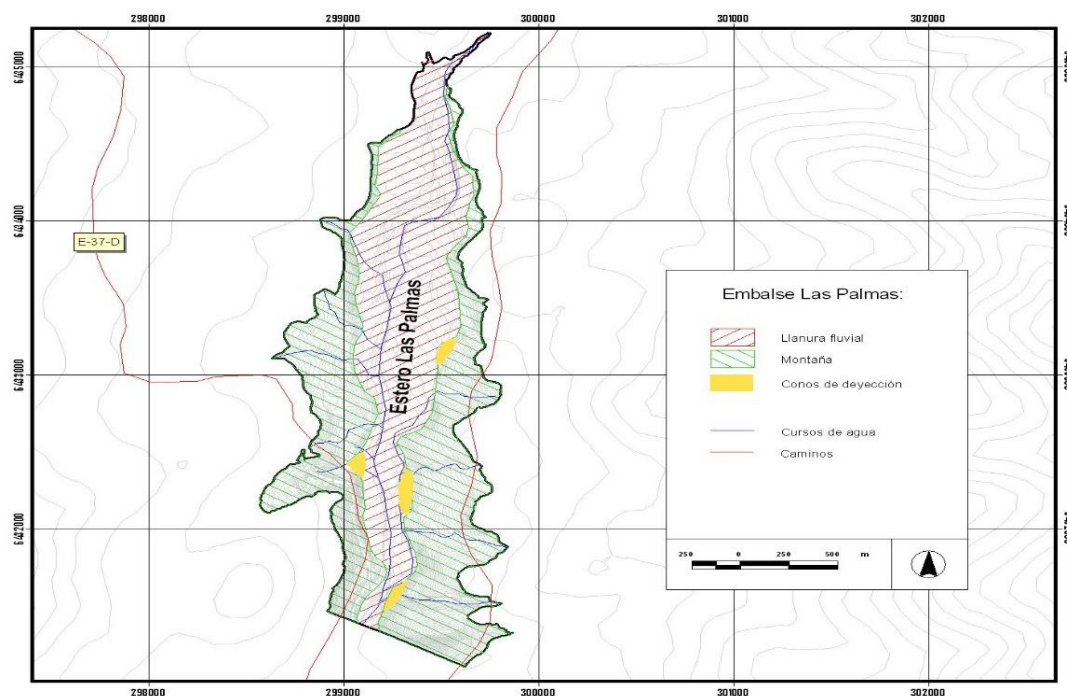
Un elemento fisiográfico que se identifica claramente son los valles transversales, los que se caracterizan esencialmente por la ausencia o desaparición de una depresión central entre la cordillera de Los Andes y de la Costa. En este sector, los cordones de ambas cordilleras parecen sucederse sin discontinuidades importantes entre el océano y el límite fronterizo del país.

En el sector del embalse Las Palmas se desarrollan dos unidades morfológicas, la primera corresponde al sector montañoso, que cubre el 55% del área que en el futuro será cubierta por agua, mientras que la segunda se refiere al llano aluvial, asociado al lecho del estero Las Palmas.



En el sector donde se proyecta la presa el valle se presenta estrecho, este no sobrepasa los 120 m de ancho en los primeros 500 m desde la cortina hacia el norte. Desde este punto, el lecho comienza a ensancharse, alcanzando como máximo los 600 m hacia la cola del embalse. Se presentan pendientes suaves a moderadas en esta unidad.

A continuación, se presenta un mapa de la geomorfología de la zona donde se proyecta el embalse Las Palmas.



**Figura 4-4: Geomorfología de la zona de emplazamiento del embalse Las Palmas.**

*Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).*

- **Geotecnia:**

Se llevó a cabo un programa de prospecciones que contempla la ejecución de una serie de sondajes y calicatas, los que se complementan con los ensayos de laboratorio correspondientes.

En primer lugar, se presenta el listado de los sondajes realizados para los embalses proyectados en el valle Petorca, de acuerdo al sitio a explorar.

**Tabla 4-5: Programa de sondajes por sitio para embalses.**

Prospecciones		Valle Petorca	
		Las Palmas	Pedernal
Sondajes eje del valle	Nº	1	2
	Profundidad (m)	35	35
Sondajes en estribos	Nº	3	2
	Profundidad (m)	15	15

Sondajes túnel	Nº	2	1
	Profundidad (m)	15	15

Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).

Respecto a las calicatas, estas se programaron para reconocer la zona de fundación del muro y también para la búsqueda y selección de materiales de empréstitos. Las calicatas de fundación se realizaron con una profundidad de 4 m o hasta alcanzar la roca, mientras que las calicatas de empréstitos se excavaron con 6 m de profundidad o hasta encontrar la roca. En la tabla 4-6 se consigna el programa de ejecución de las calicatas para los sitios de embalses.

**Tabla 4-6: Programa de calicatas por sitio para embalses.**

Prospecciones		Valle Petorca	
		Las Palmas	Pedernal
Calicatas de fundación	Nº	4	5
	Profundidad (m)	4	4
Calicatas para empréstito	Nº	16	16
	Profundidad (m)	6	6

Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).

Posteriormente, se realizó una caracterización geotécnica a partir de las muestras obtenidas y de los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados.

Las prospecciones ejecutadas en el valle del estero Las Palmas muestran que el material o suelo encontrado corresponde a un suelo residual consistente en arenas tipo maicillo, originado por la meteorización de la roca granodiorítica presente en el sector. Debido a esto, las profundidades hasta la roca sana son de escaso espesor.

Los resultados obtenidos del programa de sondajes realizado en la etapa de factibilidad se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 4-7: Resultados obtenidos en los sondajes.**

Sector	Profundidad	Descripción según sondaje	Descripción de la roca
Lecho del valle	0 – 7 m	Sobrecarga tipo material fluvial moderno.	- Entre los 7 y 11,5 m la calidad de roca es muy mala, con un RQD de 22%. - De los 11,5 m de profundidad en adelante se considera roca de buena calidad, con un RQD de 77%.
	7 – 25 m	Suelo residual producto de la descomposición de la roca en sitio, constituido por arenas tipo maicillo.	
	25 – 35 m	Roca basal, consistente en roca granodiorita.	
Estribo oriente	0 – 4 m	Sobrecarga compuesta de bloques de roca descompuesta en matriz areno limosa.	- Entre los 8,5 y 9,5 m la calidad de la roca es mala, con un RQD de 27%. - Entre los 11 y 11,6 el RQD es de 67%, con una
	4 – 7 m	Suelo residual tipo maicillo.	
	7 – 9,5 m	Roca granítica meteorizada.	
	9,5 – 15 m	Roca granítica sana.	

			calidad de roca baja a media. - De 11,6 a 15 m la calidad de la roca es buena a muy buena.
Estribo poniente	0 – 0,7 m	Sobrecarga compuesta de arcillas limo arenosas y capa vegetal.	- Entre los 0,7 y 9,5 m el RQD es nulo.
	0,7 – 9,5 m	Roca meteorizada y descompuesta, transformada en suelo residual tipo maicillo.	- A partir de los 9,5 m la calidad de la roca aumenta, presentando valores de RQD entre 50% y 73%.
	9,5 – 15 m	Roca intrusiva sana	

*Elaboración propia con base en Estudio de factibilidad: Obras de Regulación para los Valles de La Ligua y Petorca. Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).*

A partir de los antecedentes descritos, se concluye que la profundidad de la roca basal se encuentra a 25 m en el lecho del valle, la cual disminuye hacia los estribos, donde esta se alcanza a los 10 m aproximadamente. La roca existente corresponde a un intrusivo granodiorítico, la cual posee una sobrecarga consistente en roca meteorizada y suelo residual tipo maicillo.

Respecto a las calicatas ejecutadas en las zonas de empréstitos identificadas, se verificó la ausencia de suelos finos para núcleo, como de suelos granulares para el cuerpo del muro. En el sector se encontró en su mayoría suelo residual tipo maicillo que puede cumplir ambas funciones en forma simultánea.

Se tomaron muestras del suelo residual clasificándolo según el sistema USCS en GP-GM (grava pobremente graduada - grava limosa) y SW-SM (arena fina a gruesa - arena limosa). Se realizaron permeabilidades en probetas preparadas al 95 % de la densidad Proctor Modificado, con el fin de evaluar la aptitud del suelo para su utilización en el muro. Las permeabilidades resultaron del orden de  $1,88 \times 10^{-5}$  cm/s.

En relación a los materiales disponibles para la conformación de la presa, de acuerdo a las condiciones encontradas en el valle, donde abunda el material identificado como maicillo y existe una escasa presencia de materiales finos, hacen prever que la solución de muro adoptada debería consistir en una obra homogénea compuesta de material tipo maicillo, densificado apropiadamente de modo de asegurar la estanqueidad del muro.

- **Estudio hidrológico:**

Para efectuar este análisis se consideraron los antecedentes relevantes del estudio desarrollado por Cygsa Chile S.A. (2003), denominado “Diagnóstico de las obras de Riego de los valles de La Ligua y Petorca”, como fuente de información base, ya que estos presentan mayor confiabilidad para su utilización.

Los puntos de interés considerados en el presente estudio son los correspondientes a los sitios donde se proyecta el embalse y los definidos como posibles ubicaciones de captaciones que permitirán el llenado del mismo. Para esto se definieron 5 puntos de captaciones en el río Petorca.

Se llevó a cabo la determinación de los caudales afluentes en los sitios de interés considerados, para esto se recopiló la información hidrológica disponible en el área de estudio, específicamente, la correspondiente a pluviometría y fluviometría. Luego, se definió la metodología que permite generar los caudales en sitios distintos a los correspondientes a las estaciones fluviométricas existentes, en particular, se utilizó el modelo de simulación empleado en el estudio anterior, considerando una actualización de las precipitaciones en el escenario base.

Aplicando el modelo descrito, y ciertas relaciones estadísticas a los datos obtenidos, se logró determinar los caudales afluentes, tanto medios diarios como medios mensuales, para todos los puntos de interés del estudio, logrando de esta forma un análisis más consistente, que permita definir los sitios de captación más eficientes para aportar al llenado del embalse Las Palmas.

Luego, se analizaron las distintas combinaciones posibles para el llenado del embalse, a partir de los caudales medios diarios determinados, para definir la cantidad y capacidad de las captaciones a utilizar.

Como punto de partida, se precisaron las hipótesis a utilizar como base del análisis, detalladas en lo que sigue:

- Se consideró la capacidad definida en los estudios de prefactibilidad para el embalse, es decir, 50 hm<sup>3</sup>.
- Se consideró que el embalse Las Palmas recibirá como aporte el trasvase desde bocatomas localizadas en el río Petorca.
- Se definió como período de captación de los recursos al comprendido entre los meses de mayo y agosto de cada año hidrológico. En el período definido, se estableció que se captaría la totalidad de los recursos para ser almacenados.

Por lo tanto, para el análisis del embalse Las Palmas, se consideró el aporte propio de la cuenca, y adicionalmente, el aporte proporcionado por alguna de las bocatomas definidas para trasvase o canales alimentadores. De acuerdo a lo anterior, se procedió a calcular el tiempo de llenado del embalse para las combinaciones más factibles, en este análisis se consideró como variable de decisión, principalmente, la capacidad de las bocatomas seleccionadas. En la siguiente figura se pueden apreciar los resultados del análisis realizado.

Embalse Las Palmas  
(50 Millones m<sup>3</sup>)

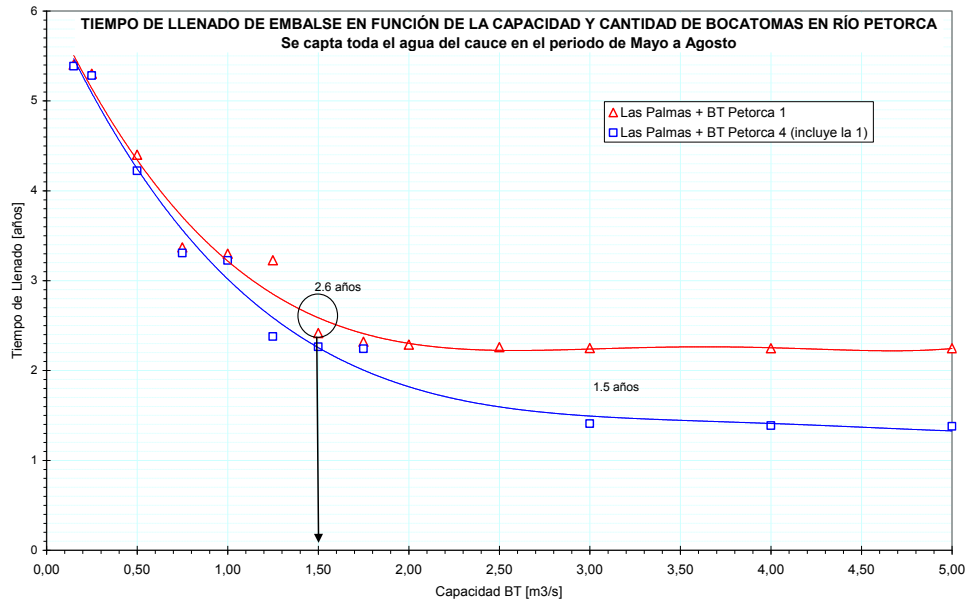


Figura 4-5: Tiempo de llenado del embalse en función de la capacidad de las bocatomas.

Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).

Se concluye que la alternativa más conveniente para el llenado del embalse Las Palmas es la que contempla aportes de la cuenca propia, más los aportes provenientes del río Petorca mediante la bocatoma denominada Petorca 1, con capacidad de 1,5 m<sup>3</sup>/s. El tiempo de llenado del embalse es aproximadamente 2,6 años utilizando esta alternativa. Además, esta opción se escogió teniendo en consideración los criterios económicos asociados a la implementación de la misma, respecto a otras soluciones en las cuales se aumenta la capacidad de la bocatoma, y, por ende, se incurre en una inversión mayor, pero no se logra una disminución considerable en el tiempo de llenado del embalse.

Para la determinación del caudal de crecida afluente al sitio del embalse se consideraron dos métodos, los que arrojaron diferencias significativas en sus resultados.

El primero de ellos fue el método de la Crecida Máxima Probable, o CMP, basado en la determinación de la Precipitación Máxima Probable (PMP) en la zona de interés y luego la transformación de dicha precipitación a caudal de escorrentía superficial, mediante la aplicación del hidrograma unitario sintético.

El segundo método utilizado consistió en el análisis de frecuencia de la estadística de precipitación disponible en el área de estudio, y la determinación de la precipitación para períodos de retorno altos, de 100, 500 y 1.000 años. Mediante la aplicación del hidrograma unitario sintético, la precipitación determinada se transformó en el caudal de escorrentía superficial asociado al período de retorno correspondiente.

Cabe destacar, que el modo factible de estimar la CMP en el área de estudio corresponde al enfoque estadístico, el cual utiliza parámetros estadísticos simples y no ajusta las distribuciones de probabilidad ni realiza análisis más acabados de la muestra, por ende, su aplicación al presente problema pierde validez frente a un análisis de frecuencia de las muestras disponibles.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos al aplicar los procedimientos descritos.

**Tabla 4-8: Caudal de crecida obtenido según distintos métodos.**

Embalse	Caudal de Crecida [m <sup>3</sup> /s]			
	CMP	T=100 años	T=500 años	T=1.000 años
Las Palmas	360	410	510	550

*Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).*

Una definición bastante aceptada de CMP, es que representa un caudal de crecida con una baja probabilidad de ser excedido, por lo que se asemeja a la definición de caudal de crecida asociado a un alto periodo de retorno. Además, debido a que la estimación del caudal de crecida en el sitio del embalse guarda relación directa con el diseño de las obras, se recomienda utilizar un criterio conservador, lo que implica la elección del método que arroje los valores más altos.

Por lo tanto, se recomienda adoptar para el diseño de las obras los valores entregados por el método de análisis de frecuencia.

- **Estudio sísmico:**

A continuación, se presentan los antecedentes y resultados obtenidos del estudio de riesgo sísmico desarrollado para la zona de emplazamiento del embalse.

Este estudio contempló la determinación probabilística y determinística del sismo de diseño, definiendo sus características según la magnitud de Richter, la distancia epicentral, profundidad de foco, aceleración máxima, entre otros.

La provincia de Petorca se ubica en una región tectónica caracterizada por una intensa actividad sísmica concentrada a lo largo de la costa, escasa sismicidad con hipocentros de profundidad intermedia hacia el interior y sismos de foco profundo hacia el lado argentino.

A continuación, se presenta un registro histórico de los terremotos destructores que han afectado la zona de emplazamiento de los embalses.

**Tabla 4-9: Terremotos destructores en valles de Petorca y La Ligua.**

Fecha	Área epicentral	Origen	Magnitud estimada	Observaciones
1647	Valparaíso y Santiago	Costero	8.5	-
1730	Valparaíso y Santiago	Costero	8,75	Tsunami moderado
1822	Valparaíso	Costero	8,5	-

1880	Illapel- Petorca	Intraplaca	7,5-8,0	-
1906	Valparaíso	Costero	8,4	Tsunami pequeño
1965	La Ligua	Intraplaca	7,5	-
1971	Los Vilos	Costero	7,7	-
1985	Valparaíso	Costero	7,8	-

Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).

Para llevar a cabo el estudio de riesgo sísmico, se utiliza el método probabilístico adaptado por Algermissen y Perkins (1976), en el cual se asume que la sismicidad es esencialmente homogénea en cada una de las fuentes sísmicas existentes y que el número de sismos sigue una distribución exponencial en función de la magnitud de Richter (relación magnitud-frecuencia de Gutenberg y Richter, 1958).

Para este análisis, se estimó el nivel de riesgo o peligro sísmico para períodos de 10, 25, 50 y 100 años en función de la vida útil de la obra y en términos de la aceleración que se experimenta en el sitio del proyecto.

La fórmula de atenuación de las aceleraciones horizontales considerada es la derivada por Martin (1990), obtenida a partir de la información de aceleraciones máximas de terremotos ocurridos desde 1965, la cual se expresa de la siguiente forma:

$$a \text{ (cm/s}^2\text{)} = 71,3 e^{0,83 M} / (R + 60)^{1,03}$$

Esta relación permite calcular las aceleraciones en función de la magnitud M y distancia hipocentral R (km) y resulta aplicable a sismos subductivos.

Aplicando la metodología descrita para la totalidad de los sismos y considerando un riesgo de excedencia de 10%, la evaluación realizada indica que la aceleración peak asociada al sitio del embalse Las Palmas asciende a los valores que se muestran en la tabla 4-10.

**Tabla 4-10: Aceleración peak para el embalse Las Palmas.**

Sitio	Vida útil (años)	R (km)	Aceleración peak (cm/s <sup>2</sup> )
Las Palmas	10	63,3	0,22 g
	25	63,3	0,29 g
	50	63,3	0,37 g
	100	63,3	0,46 g

Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).

Además del método probabilístico, se ha recurrido a un método determinístico que consiste en estimar el Sismo Máximo Probable (SMP) a partir de las condiciones sismotectónicas de la región en estudio. El sismo obtenido mediante esta metodología se utiliza para estimar las características del movimiento fuerte en el sitio de interés, como duración, período predominante y aceleración máxima.

A partir de la geometría del plano de Benioff en la zona de estudio y considerando la magnitud M=8,5 como el sismo de mayor magnitud que puede ocurrir en la zona, de acuerdo a la sismicidad histórica, se calculan las características del SMP en el sitio del

embalse. Este sismo corresponde a uno de tipo costero interplaca, cuyas características se pueden apreciar en la siguiente tabla.

**Tabla 4-11: Estimación sismo máximo probable para embalse Las Palmas.**

Características	Las Palmas
Distancia hipocentral mínima (Km)	111,3
Duración del movimiento fuerte (s)	74,9
Aceleración horizontal máxima (% g)	0,42
Período predominante en roca (s)	0,14-0,2

Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).

Analizando los antecedentes relacionados a la distribución espacial de las magnitudes sísmicas, se definen las características principales para escoger los distintos sismos de diseño, ya sean interplaca, corticales o intraplaca. En consecuencia, las fuentes sísmicas probables para el estudio son las siguientes:

1. Un sismo interplaca costero de magnitud máxima  $M_s=8,5$ ; ubicado a una distancia hipocentral de 118 km.
2. Un sismo cordillerano cortical superficial de magnitud máxima  $M_s=7,0$ , generado a una profundidad mínima de 20 km y la zona de subducción ( $R = 45$  km).
3. Un sismo profundo, de tipo intraplaca tensional de magnitud máxima  $M_s=7,5$ , ubicado a una distancia hipocentral de 55 km, correspondiente a la zona sismogénica que se desarrolla en cerca del límite con el sector argentino de la zona de subducción.

En la tabla 4-12 se presenta el valor del periodo de retorno medio, aceleración máxima y aceleración sísmica basal para el sitio del embalse Las Palmas, considerando los sismos originados en las tres fuentes que se han derivado del estudio.

**Tabla 4-12: Características de los sismos de diseño para embalse Las Palmas.**

Valle	Sismo	Magnitud máxima	Periodo de retorno (años)	$A_{m\acute{a}x}$ (cm/s <sup>2</sup> )	$A_{m\acute{a}x}/g$
Las Palmas	Costero	8,5	513	413	0,42
	Intraplaca profundo	7,5	43	324	0,33
	Cortical superficial	7,0	13	132	0,13

Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).

Por lo tanto, el sismo de diseño considerado para el proyecto corresponde al originado por la primera fuente sísmica, es decir, un sismo interplaca costero de magnitud máxima  $M_s=8,5$ , debido a que este genera una mayor aceleración basal en el sitio de emplazamiento del embalse Las Palmas.

#### 4.2.2 Diseño de factibilidad del proyecto

El proyecto embalse Las Palmas contempla la construcción de un muro que permitirá almacenar un volumen de agua de aproximadamente 55 millones m<sup>3</sup>. La cota media aproximada de la base del muro es de 460 m s.n.m. Además, este muro tendrá una altura máxima de 70 m para completar el volumen del embalse.



La solución que se ha escogido para la construcción del muro en esta etapa corresponde a una presa de tierra, debido principalmente a las condiciones del suelo de fundación y los materiales existentes en la zona. Se ha descartado la alternativa de cualquier tipo de muro de hormigón (arco, gravitacional o contrafuerte), ya que se vería reflejado en un aumento considerable en los costos de las obras e incluso alguna de estas alternativas no serían factibles desde el punto de vista técnico.

En el presente capítulo se exponen los antecedentes del diseño del embalse Las Palmas, junto al análisis de estabilidad de la presa. En la tabla 4-13 se detallan los datos relacionados al volumen útil de agua a almacenar y los niveles de aguas máximos y mínimos normales que se esperan.

**Tabla 4-13: Parámetros de diseño del embalse Las Palmas.**

<b>Volumen útil hm<sup>3</sup></b>	<b>Nivel de agua máximo m s.n.m</b>	<b>Nivel de agua mínimo m s.n.m</b>
55	523	480

*Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).*

Para determinar el diseño del proyecto se deben considerar los antecedentes citados en el apartado precedente de esta memoria, luego, se analizan e interpretan estos datos, de modo de exponer los elementos de juicio que se han tenido en consideración para la elaboración y dimensionamiento de las obras que componen el anteproyecto del embalse Las Palmas.

Respecto a estos antecedentes, se menciona que, en la zona elegida para la construcción del muro, el estero Las Palmas escurre en dirección sur-poniente a lo largo de un valle de 130 m de ancho basal y que se va abriendo hacia aguas abajo del muro.

El suelo de fundación del muro corresponde a suelo residual, constituido por arenas tipo maicillo. El material de empréstito para conformar el espaldón de la presa identificado en el presente estudio se ubica en el interior de la cubeta y corresponde al mismo suelo de fundación, arenas tipo maicillo.

Adicionalmente, en una muestra representativa del material de empréstito se realizó un ensayo de compactación Proctor modificado y un ensayo de permeabilidad a carga constante sobre probetas preparadas al 95% de la D.M.C.S. (Densidad Máxima Compactada Seca). Las propiedades mecánicas e hidráulicas del material para el cuerpo de la presa compactada según lo mencionado son:

- Cohesión: 2,5 (kg/cm<sup>2</sup>)
- Ángulo de fricción interna: 37°
- Densidad húmeda: 2,2 (T/m<sup>3</sup>)
- Permeabilidad promedio: 1,77 x 10<sup>-5</sup> (cm/s)

Luego, para analizar la estabilidad de la obra se debe utilizar el sismo base de diseño determinado y las características geotécnicas del muro descritas recientemente.

En el estudio sísmico realizado se seleccionaron tres tipos distintos de sismos, de los cuales, el que genera la mayor aceleración corresponde al costero, con una aceleración basal máxima equivalente a 0,42g (ver tabla 4-12). Al realizar una amplificación por la altura del muro, se ha calculado que la aceleración de diseño para el muro llega a los 0,23g.

Posteriormente, se llevó a cabo el análisis de estabilidad de taludes por equilibrio límite, esta evaluación tiene por objetivo verificar los taludes de diseño del muro resistente, tanto en condición estática como dinámica. La verificación en condición dinámica se efectuó mediante métodos pseudo-estáticos, considerando la aceleración de diseño definida anteriormente.

Los parámetros resistentes de los materiales utilizados para esta evaluación son los mencionados anteriormente para el muro, mientras que para el suelo de fundación se considera una cohesión de 2,0 (kg/cm<sup>2</sup>) y una densidad húmeda de 2,0 (T/m<sup>3</sup>).

El análisis de estabilidad se llevó a cabo mediante un programa computacional, basado en el equilibrio límite de superficies potenciales de deslizamiento planas o circulares, permitiendo determinar el Factor de Seguridad para las superficies de falla de cada configuración propuesta.

Los valores mínimos recomendados para el Factor de Seguridad al esfuerzo de corte son 1,5 en condición estática y entre 1,0 y 1,2 en condición dinámica, dependiendo de las condiciones ambientales y de las consideraciones de diseño. Por otro lado, la condición de vaciado rápido, tiene menos probabilidad de ocurrencia, por lo que es aceptable un FS > 1,0.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en este análisis de estabilidad para los distintos casos analizados.

**Tabla 4-14: Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad.**

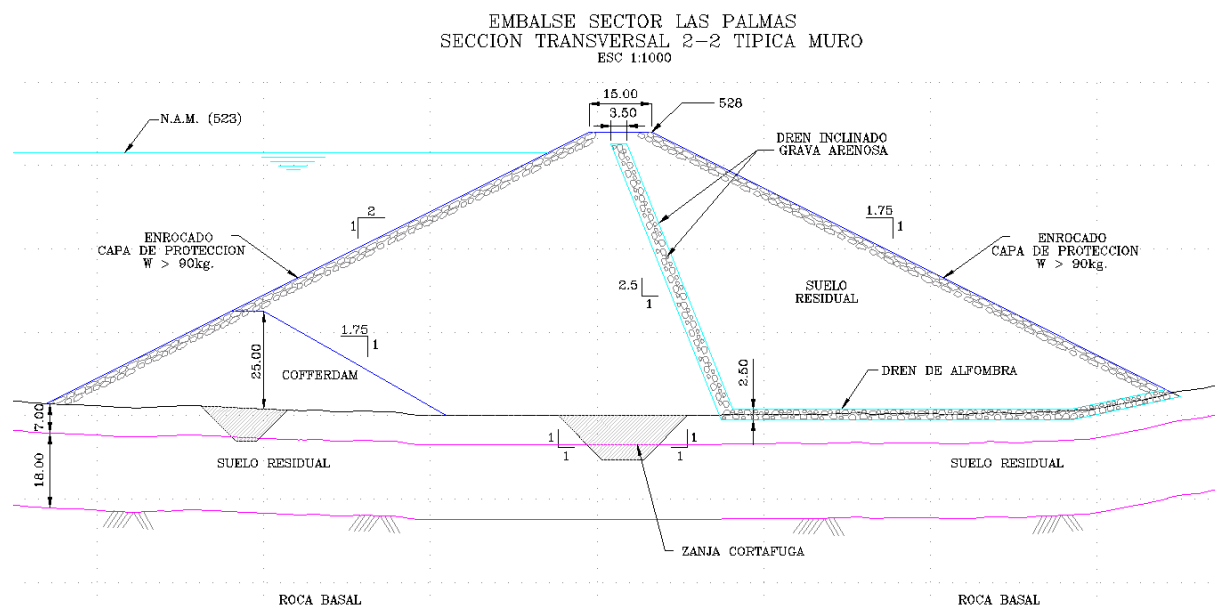
<b>Obra</b>	<b>Caso</b>	<b>Condición</b>	<b>Factor de seguridad</b>
Presa Las Palmas	Talud aguas arriba Embalse vacío	Estático	1,909
		Dinámico 0.23g	1,196
	Talud aguas abajo Embalse vacío	Estático	1,663
		Dinámico 0.23g	1,071
	Talud aguas arriba Embalse lleno	Estático	2,107
		Dinámico 0.23g	1,004
		Dinámico 0.20g	1,110
	Talud aguas abajo Embalse lleno	Estático	1,679
		Dinámico 0.23g	1,077
		Dinámico 0.20g	1,135
Talud aguas arriba Vaciado rápido	Estático	1,320	

*Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda. - Dirección de Obras Hidráulicas (2007).*

De la tabla anterior, podemos notar que, en el caso de embalse lleno a su máxima capacidad, los factores de seguridad que se obtuvieron son iguales a 1,0, lo que estaría en el límite inferior aceptado, no obstante, se consideró que la probabilidad de ocurrencia era menor, por lo que se aceptó ese valor y se verificó para un sismo de menor envergadura, igual a 0,20g.

A partir de los antecedentes mencionados en este capítulo, se presenta el diseño del embalse Las Palmas definido en la etapa de factibilidad del proyecto.

En primer lugar, el diseño de la presa se ha realizado según las condiciones encontradas en el sector y los requerimientos de agua del embalse. Por esta razón, se proyecta un muro de tierra de 70 m de altura, con taludes de 1:2 aguas arriba y 1:1,75 aguas abajo, este muro consta de un cuerpo homogéneo de un material semi impermeable. El diseño de la presa Las Palmas se puede apreciar en la siguiente figura.



**Figura 4-6: Diseño de factibilidad presa Las Palmas.**

*Fuente: AC Ingenieros Consultores Ltda.- Dirección de Obras Hidráulicas (2007).*

La construcción de la presa se ha dispuesto en dos etapas. En primer lugar, se contempla la construcción de una ataguía, que pasará a formar parte del cuerpo de la presa, con el propósito de retener las aguas y facilitar el encauzamiento del río hacia las obras de desvío. Esta obra se diseña de manera similar al muro principal, tiene aproximadamente 25 m de altura y sus taludes son idénticos a los de la presa.

Dada las características del suelo de fundación, y que el horizonte con permeabilidad media a baja correspondiente al suelo residual está cercano a la superficie, para evitar las filtraciones de agua por el suelo de fundación e impermeabilizar la solución, se proyecta la construcción de una zanja cortafuga de profundidad variable entre 7 m y 10 m, de manera de asegurar que esta penetre en el horizonte de baja permeabilidad.

Por otro lado, para asegurar un buen drenaje en el muro, se considera la instalación de un dren chimenea inclinado que comienza en el coronamiento del muro hacia aguas abajo, de modo de descargar el agua en un dren alfombra ubicado en la fundación del talud aguas abajo de la presa.

Para el desvío de las aguas del río durante el periodo de construcción de la presa, especialmente durante la época invernal, se construirá un ducto de desvío que atraviesa el muro en el sector del lecho del río, este tiene un largo aproximado de 330 m, una pendiente de 1% y un ancho de 3,5 m, se ha diseñado para poder evacuar la crecida de 10 años estimada en 336 m<sup>3</sup>/s.

En la salida del ducto se ha diseñado un colchón disipador, para reducir las velocidades producidas y amortiguar el exceso de energía. Además, para asegurar la estanqueidad en la zona de contacto del ducto con el terreno, se dispuso la colocación de pantallas cortafuga de hormigón armado cada 20 m de longitud del ducto, también se han dispuesto juntas de dilatación cada 20 m de ducto.

Para la operación del embalse se proyecta extraer un caudal de 1,78 m<sup>3</sup>/s aproximadamente. Para esto, la captación de aguas se realizará mediante una torre de 25 m de alto y 6 m de diámetro, con 4 orificios rectangulares de 4 m de alto por 0,5 m de ancho, dispuestos en la parte superior de la torre.

El agua será conducida de la torre hacia aguas abajo del muro mediante el ducto que se habría utilizado para el desvío de aguas durante la construcción. Este túnel se sellará con un tapón de hormigón de 6 m de largo, por el cual pasará una tubería de acero de 24" de diámetro para captar las aguas de toma. Posteriormente, la entrega regulada del flujo de agua se realizará mediante un sistema de canalización aguas abajo del muro, diseñado acorde a las condiciones requeridas.

Para las obras de evacuación de emergencias, en el caso que se produjera una lluvia que sobrepase la capacidad de acumulación del embalse, se ha dispuesto el diseño de un vertedero lateral, que tiene por objetivo realizar la descarga de la lluvia milenaria, que conforme a los antecedentes, es capaz de generar un flujo instantáneo máximo en el estero Las Palmas de aproximadamente 550 m<sup>3</sup>/s.

De acuerdo a la evaluación realizada, el vertedero deberá disponer de una capacidad de evacuación de 400 m<sup>3</sup>/s para evacuar este caudal. El vertedero tendrá un umbral de entrada a la cota 521 m s.n.m., con 2 m de carga máxima y un canal de aproximación de 10 m de largo a la cota 520 m s.n.m. La entrada al vertedero (umbral) tendrá 60 m de ancho. Esta sección se divide en dos tramos de distinta pendiente, antes de entrar a la zona del rápido de descarga, el primer tramo tiene un largo de 70 m, con un ancho de 20 m y con pendiente 0.5 %, mientras que el segundo tramo es de 51 m de largo y pendiente 1 %, además, presenta un angostamiento desde 20 m a 10 m de ancho.

El rápido de descarga de mayor pendiente tiene un largo de 322 m, un ancho de 10 m y presenta una pendiente de 19 %. El rápido termina en una obra de disipación tipo salto de esquí, para luego terminar con un enrocado y canalización hacia el lecho del río.

Tal como se ha señalado anteriormente, la operación del embalse Las Palmas requiere de un aporte adicional al de su cuenca propia, el cual provendría desde el río Petorca, por lo tanto, se requiere contar con una obra de toma y un canal de conducción hasta la entrega en el embalse.

Para definir el diseño del canal alimentador se han tomado en cuenta los siguientes antecedentes y criterios:

- Los puntos de captación posibles fueron definidos en función de seleccionar sectores del río que permitieran aportar los recursos hídricos suficientes.
- Para evaluar los costos de las obras asociadas a la captación y conducción de los aportes adicionales, se consideraron 3 posibles escenarios de obras:
  1. Captación gravitacional y conducción en canal de 51,9 km de longitud.
  2. Captación mecánica y conducción en canal de 20,9 km de longitud.
  3. Operación combinada, considerando tanto captación gravitacional como opcionalmente la mecánica. La longitud del canal en esta alternativa es de 52,9 km.
- El caudal de captación se fijó en 1,5 m<sup>3</sup>/s conforme a lo establecido en la figura 4-5, lo cual corresponde a una optimización de la capacidad de conducción del canal en función del tiempo de llenado del embalse.
- Se ha considerado la operación combinada en atención a disponer de una referencia de la inversión requerida para estas obras, aun cuando desde el punto de vista de la operación del embalse, esta no posee ninguna ventaja.

Luego, se llevó a cabo un análisis de la inversión requerida para cada una de las alternativas estudiadas, considerando el escenario más desfavorable, esto es, considerando las excavaciones en una proporción de 60% en tierra común y 40% en roca, logrando de esta forma un resultado más conservador.

Del análisis efectuado, se concluye que la primera alternativa resulta ser la más conveniente, por lo tanto, el escenario que se contempla en la etapa de factibilidad es realizar obras de captación gravitacional y un canal alimentador de 51,9 km de longitud.

#### **4.2.3 Evaluación social**

En esta sección se presenta la metodología y los resultados obtenidos en la evaluación económica a precios sociales del sistema de regadío del valle de Petorca, que considera la materialización de dos embalses para la regulación de los recursos superficiales.

La evaluación social se ha realizado considerando los lineamientos entregados en el documento “Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Riego”, del Ministerio de Planificación (Mideplan). Cabe destacar que el umbral mínimo de rentabilidad establecido por Mideplan para un proyecto desarrollado mediante inversión pública es del 8%.

Respecto a la metodología empleada para desarrollar la evaluación social, en esta se considera una situación actual, o sin proyecto, una situación actual optimizada y una situación futura o con proyecto, para cada una de las cuales se han estimado sus respectivos costos y beneficios para un horizonte de evaluación de 30 años. La diferencia

de costos y beneficios entre la situación futura o con proyecto y la situación actual optimizada permitirá obtener los beneficios netos atribuibles al proyecto.

Los beneficios asociados al proyecto, en términos generales, corresponden al aumento en la producción agrícola-ganadera, por la mayor disponibilidad de agua debido a la realización de éste.

Los costos asociados al proyecto corresponden a los costos de inversión, mantención y a la mayor utilización de recursos debido a la ejecución del proyecto. Entre los más importantes se destaca la inversión en la infraestructura hidráulica, donde se incluye el pago por concepto de las expropiaciones de terrenos que serán inundados por los embalses y las obras civiles.

Una vez obtenidos los costos y beneficios del proyecto, se han determinado los Indicadores Económicos de los embalses presentes en el valle de Petorca. Para esto se ha determinado el flujo anual de beneficios durante el horizonte de evaluación, a partir de lo cual, se ha calculado el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El resultado de esta evaluación para los embalses considerados en el valle de Petorca (Las Palmas y Pedernal), presenta una TIR del 10,5%, y un VAN de US\$ 52,5 millones.

Producto de lo anterior, y considerando los umbrales mínimos requeridos por Mideplan, se puede concluir que el proyecto de embalses en el valle Petorca es socialmente rentable, por lo que son elegibles para ser desarrollados mediante inversión pública.

#### **4.2.4 Conclusiones contenidas en el informe de factibilidad**

El estudio de factibilidad realizado señala que la habilitación de estos embalses trae consigo importantes beneficios en el valle de Petorca, incorporando nuevas superficies cultivables con un 85% de seguridad de riego, lo que implica aumentar esta superficie en un 130% para este valle, es decir, más que duplicar la superficie existente.

Además, el análisis realizado en esta fase del proyecto demuestra que los beneficios superan los costos asociados a la construcción de los embalses, con lo cual se obtienen indicadores de rentabilidad que superan lo requerido para este tipo de proyectos.

El informe analizado en esta sección concluye que se está ante un proyecto de infraestructura de riego atractivo, que permitirá el desarrollo agrícola de un sector importante de la Región de Valparaíso, como lo es el valle de Petorca.

### **4.3 Análisis del estudio de ingeniería de detalles del proyecto**

En este capítulo se presenta y analiza la ingeniería de detalles desarrollada por la empresa Arcadis Chile (2011) para el proyecto embalse Las Palmas, a partir de las definiciones realizadas en el estudio de factibilidad del año 2007.

El diseño de detalle comprendió tanto las presas mismas como sus obras anexas y complementarias, resolviendo las interferencias con caminos y líneas eléctricas que se presentaron por la materialización del embalse.

Como parte del estudio se desarrollaron las primeras actividades de participación ciudadana, hecho que busca el acercamiento de las comunidades del valle de Petorca al

proyecto. Además, se llevó a cabo una evaluación económica del proyecto, determinando los indicadores de rentabilidad del mismo.

El diseño de las obras del estudio de factibilidad de 2007, es a nivel conceptual. De esta forma, sólo representan una referencia del tipo de obra a desarrollar, requiriéndose para la ingeniería de detalle, la revisión de los diseños, considerando análisis de tipo técnico-económico para la selección de las obras más convenientes a ejecutar de acuerdo a las condiciones de terreno.

El desarrollo de la ingeniería de detalles permitió proveer a la DOH del MOP, la totalidad de los antecedentes de licitación para las obras del embalse Las Palmas.

#### **4.3.1 Antecedentes y estudios básicos**

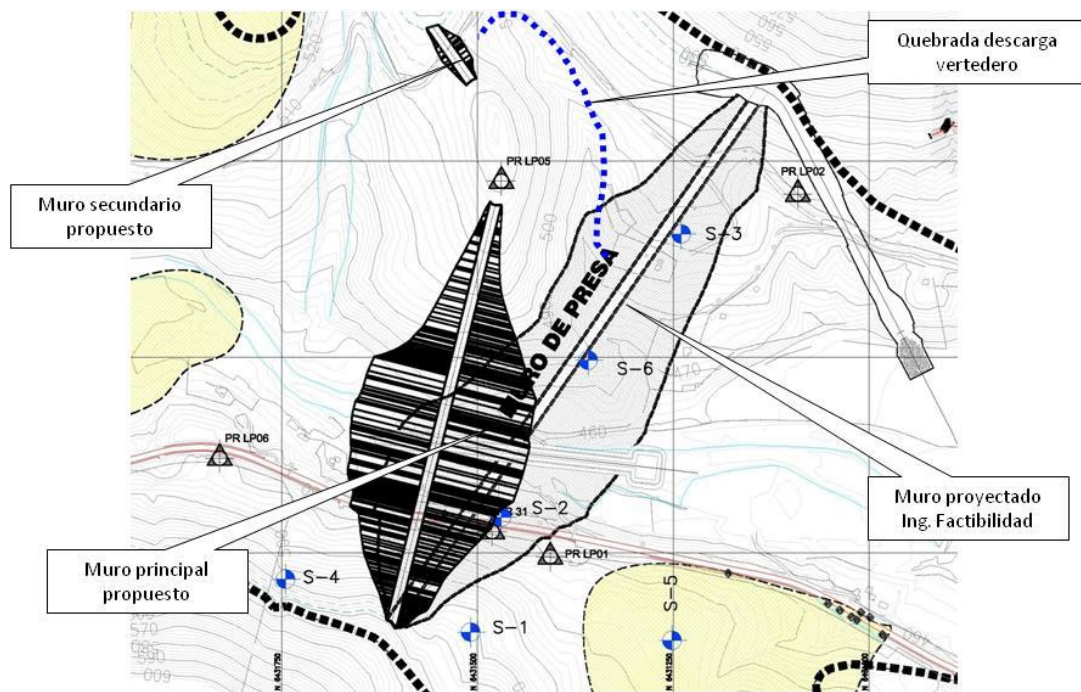
En el valle de Petorca no se cuenta con una seguridad de riego adecuada, por tanto, es factible la construcción de embalses en la zona para aumentar esta condición, lo que se traduce en mayores ingresos económicos producto del mejor rendimiento de la agricultura en el sector. Las principales características del valle de Petorca se han presentado en el acápite 4.2.1.

De acuerdo al desarrollo de la ingeniería de presas tanto a nivel mundial como a nivel nacional, el diseño de presas de tierra, ya sean homogéneas o zonificadas ha sido reemplazado, siempre que las facilidades constructivas lo permitan, por presas de enrocados tipo CFRD, en atención a su menor costo y mayor seguridad ante eventos sísmicos y eventuales filtraciones producto de estos últimos.

Cabe destacar que, en la etapa de factibilidad, se consideró una presa de tierra de tipo homogénea para el embalse Las Palmas. No aparece mención alguna al diseño de presas CFRD, sin embargo, se descartaron las presas de hormigón por su costo.

Con base en lo señalado anteriormente, se estimó necesario revisar este aspecto del diseño y avanzar en los estudios para confirmar la posibilidad de proyectar una presa tipo CFRD.

En el caso particular del eje definido para la presa Las Palmas, se advirtió una probable optimización en longitud y costo de la obra mediante el giro del estribo izquierdo hacia aguas arriba, de modo de acortar su longitud y eliminar la presencia de una quebrada existente. El portezuelo que existe hacia el poniente, se podría sellar con un murete pequeño. Esta propuesta se puede observar en la siguiente figura.



**Figura 4-7: Propuesta de modificación para la presa del embalse Las Palmas.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Esta alternativa fue considerada durante las visitas a terreno de los especialistas, donde se pudo constatar que presenta un atractivo particular por la disminución importante del volumen de la presa y por la posibilidad de construir el pequeño muro izquierdo en hormigón rodillado y ubicarlo sobre el evacuador de crecidas. En consecuencia, las investigaciones se orientaron para confirmar la factibilidad de los diseños indicados.

A continuación, se presenta el desarrollo de los estudios realizados durante esta etapa.

- **Trabajos topográficos:**

El presente estudio tuvo por objetivo complementar los trabajos topográficos realizados en la etapa de factibilidad del proyecto, de modo de disponer de la información necesaria para el desarrollo del diseño de las obras a nivel de ingeniería de detalles.

La ejecución de los trabajos de topografía en el valle de Petorca, se realizó en base al sistema de referencia utilizado en el estudio anterior, verificando los datos en terreno y efectuando una transformación de coordenadas, con el fin de realizar el proyecto en el Datum WGS-84. Para esto se utilizó la poligonal principal cerrada mostrada en la figura 4-3 y 3 poligonales independientes definidas para cada sector de emplazamiento de las obras (embalses Las Palmas y Pedernal, y canal alimentador Las Palmas).

Cabe mencionar, que toda la información se obtuvo del estudio de factibilidad del proyecto, en consecuencia, se utilizaron los monolitos existentes y se repusieron aquellos dañados.



Se realizaron levantamientos en detalle en la zona del embalse Las Palmas, principalmente como complemento a los levantamientos realizados en el estudio anterior y específicamente en la zona donde se emplazarán las obras, estos se resumen en la tabla 4-15. Cabe señalar que el resultado de este levantamiento se detalla en los planos topográficos correspondientes.

**Tabla 4-15: Sectores levantados en embalse Las Palmas.**

<b>Levantamiento</b>	<b>Escala</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Muro principal y vertedero	1:200	10,3
Emplazamiento ataguía	1:500	19,4
Portal entrada túnel de desvío	1:200	0,55
Portal salida túnel de desvío	1:200	0,38
<b>Total</b>		<b>30,63</b>

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

- **Estudio geológico – geotécnico:**

Se presenta el desarrollo del estudio geológico–geotécnico en el sector Las Palmas, el cual contempla una campaña de exploraciones y prospecciones, buscando determinar las propiedades geotécnicas de los sectores donde se proyectan las obras del embalse.

Los antecedentes presentados en el estudio de factibilidad no constituyen la totalidad de la información requerida para el diseño óptimo de las obras. Por este motivo, el programa de prospecciones fue elaborado de manera de resolver las dudas e incertezas asociadas a las características geológico-geotécnicas de los sectores de interés del proyecto.

La campaña de prospecciones consistió en la ejecución de 4 sondajes en el sector Las Palmas, específicamente, se contempla la ejecución de tres sondajes en el sector del muro principal y uno en el del muro secundario.

Por otra parte, se llevó a cabo la excavación de calicatas en zonas críticas del proyecto, concretamente, en los sectores donde se construirán los muros y en los posibles sitios de empréstitos para la conformación de los muros.

En el sector proyectado para la ubicación de los muros del embalse se excavaron un total de 7 calicatas. Luego, se llevan a cabo ensayos de clasificación completa en laboratorio para las muestras obtenidas en cada una de estas.

Para el estudio de empréstitos se ejecutaron 19 calicatas de hasta 6 m de profundidad, las que se ubican en el sector de aguas arriba de la presa. Los ensayos ejecutados sobre las muestras extraídas de calicatas de empréstito corresponden a macro-granulometrías y ensayos de áridos para hormigones. Adicionalmente, para determinar las características geotécnicas de los materiales de empréstito que serán utilizados como rellenos masivos en la construcción del muro principal, se ejecutaron ensayos triaxiales a gran escala. Para determinar las propiedades resistentes de los materiales destinados a la construcción del núcleo del muro secundario, se ejecutaron ensayos de permeabilidad, Proctor modificado y triaxial CIU, sobre las muestras correspondientes.

Además, se debe destacar que se realizó un estudio geofísico en el sector proyectado para el muro del embalse Las Palmas, el cual se compone de 3 perfiles de refracción sísmica, los que en total suman una longitud de 830 m.

La empresa encargada de la ingeniería de detalles realizó una campaña de reconocimiento de terreno, con el objetivo de determinar las condiciones geológicas de la zona donde se emplazará el embalse Las Palmas.

De esta se desprende que, la zona de emplazamiento de este embalse se ubica en el curso medio del Estero Las Palmas, de orientación norte sur, entre las localidades de Palquico por el sur y Las Palmas por el norte. Este estero es afluente hacia el sur del Río Petorca, al que empalma en el sector de Pedegua. Se trata de un relieve ubicado en la transición entre Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes, inserto entre cordones de cerros que alcanzan alturas cercanas a los 1.300 m s.n.m.

En el sector de la cubeta del embalse Las Palmas se reconoce la presencia mayoritaria de rocas intrusivas pertenecientes a la unidad Chalinga. Estas rocas se presentan meteorizadas y erosionadas a nivel superficial, generando una cubierta coluvial en diversas zonas. Entre esta cubierta y las rocas intrusivas se observa la presencia de rocas intensamente meteorizadas (maicillo) con núcleos de roca sana, con espesores que van desde unos pocos centímetros a cerca de 27 m en sectores puntuales. Los afloramientos de roca sana a levemente meteorizada se restringen a las partes altas de los cordones de cerros, existiendo afloramientos esporádicos cercanos al cauce del Estero.

En el sector de fundación del muro principal, se reconoció la existencia de una franja de ancho variable entre 90 y 140 m de depósitos fluviales aterrizados y recientes, que corresponden a rellenos actuales y antiguos del estero Las Palmas. Estos depósitos son de variada composición granulométrica y litológica, con amplio predominio de tamaños grava, bolones y bloques en una matriz arenosa. El espesor de estos depósitos, de acuerdo a lo detectado por los sondajes y perfiles geofísicos, puede llegar de los 8 a 10 m. Por su parte, el sector del muro secundario se emplaza sobre afloramientos aislados de rocas volcánicas, depósitos coluviales y principalmente sobre una granodiorita fuertemente meteorizada, de acuerdo a la información obtenida en el sondaje correspondiente.

En el sector del embalse Las Palmas se identificó la presencia de algunas fallas geológicas, sin embargo, corresponden a fallas de tamaño menor y que no se encuentran activas, por lo tanto, no generan problemas de estabilidad en su entorno.

Con la información adquirida durante la campaña de prospecciones ejecutadas y los posteriores ensayos de laboratorio de las muestras, se realiza una caracterización geotécnica de los sectores de mayor relevancia para el proyecto, presentada en la tabla siguiente.

**Tabla 4-16: Caracterización geotécnica para el embalse Las Palmas.**

Sector	Profundidad	Descripción según sondaje	Caracterización geotécnica
Cauce del estero	0 - 8 m	Suelos de sobrecarga, compuestos de depósitos fluviales indiferenciados y aterrazados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La permeabilidad del estrato de suelo varía entre 1,0E-03 a 1,0E-05 cm/s.</li> <li>- La roca se encuentra fresca, con una calidad entre media a buena (RMR) en general. Se encuentran ciertos tramos de roca de 1,5 m de espesor de mala calidad.</li> </ul>
	8 - 40 m	Roca intrusiva correspondiente a granodioritas y dioritas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La resistencia a la compresión es de 200 MPa en roca sana y 90 MPa donde existen signos de alteración.</li> <li>- La conductividad hidráulica del macizo rocoso es del orden de 4,0E-05 cm/s.</li> <li>- Se detectan velocidades de propagación de ondas de compresión (Vp) del orden de 1100 m/s para los depósitos de suelos. El macizo rocoso presenta velocidades que varían entre 3400 y 4500 m/s.</li> </ul>
Estribo derecho	0 - 3 m	Suelo residual tipo maicillo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El suelo residual clasifica como arena limosa (SM) y el maicillo como arena arcillosa (SC).</li> <li>- La calidad de la roca es entre media a buena desde los 22 m (RMR).</li> <li>- La velocidad de propagación de ondas de compresión (Vp) en el suelo residual es del orden de 900 m/s. Bajo los 22 m, la velocidad promedio aumenta a 2500 m/s y bajo los 40 m se detectan velocidades de 4000 m/s.</li> <li>- La conductividad hidráulica varía entre 1,0E-04 a 1,0E-05 cm/s.</li> <li>- La permeabilidad del maicillo varía entre 4,5E-09 cm/s y 1,8E-08 cm/s.</li> </ul>
	3 - 22 m	Roca tipo granitoide, completamente meteorizada (maicillo).	
	22 - 40 m	Macizo rocoso levemente meteorizado y poco fracturado.	
Estribo izquierdo	0 - 8 m	Suelo compuesto por gravas y bolones en matriz de arena y finos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La calidad de roca es entre media a buena bajo los 28 m (RMR).</li> <li>- La velocidad de compresión de las ondas (Vp) en los depósitos de suelo es del orden de 750 m/s. Entre los 15 y 23 m de profundidad la velocidad aumenta a 2500 m/s y bajo los 23 m se detectan velocidades de 3400 m/s.</li> <li>- La conductividad hidráulica del macizo rocoso es del orden de 3,0E-05 cm/s.</li> <li>- La permeabilidad del maicillo es del orden de 1,0E-04 cm/s.</li> </ul>
	8 - 23 m	Rocas graníticas completamente meteorizadas (maicillo).	
	23 - 30 m	Macizo rocoso moderadamente meteorizado.	
Muro secundario	0 - 0,5 m	Suelo compuesto por arena fina con alto contenido de raicillas y finos plásticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El material del segundo estrato clasifica como arena limosa (SM).</li> <li>- Resistencia a la compresión de la roca varía entre 31 y 57 kg/cm<sup>2</sup> entre los 7 a 18 m de profundidad.</li> </ul>
	0,5 - 14,2 m	Rocas tipo granitoide muy meteorizadas.	

	14,2-20 m	Macizo rocoso moderadamente meteorizado.	- Conductividad hidráulica en el macillo varía entre 8,0E-05 a 1,0E-04 cm/s.
--	-----------	--	--

*Elaboración propia con base en Estudio de Diseño Construcción Sistema de Regadío Valle de Petorca.  
Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

La selección del material de empréstito, está orientada a cumplir con los requisitos de los distintos tipos de rellenos que formarán parte de los muros del embalse Las Palmas. Tal como se mencionó anteriormente, para caracterizar los sectores de empréstitos y evaluar la disponibilidad de materiales para conformar los muros, se excavaron un total de 19 calicatas en el sector de aguas arriba de la presa.

A partir de la descripción estratigráfica y de los resultados de laboratorio obtenidos de las muestras de calicatas, fue posible caracterizar los materiales presentes en el sector de empréstitos. En particular, se realizó una clasificación de acuerdo al sistema USCS, límites de Atterberg y peso específico de sólidos (GS) para cada una de las muestras.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se propone la extracción de empréstitos a lo largo del área de inundación del embalse Las Palmas, en sectores identificados como rellenos antrópicos y depósitos fluviales recientes y aterrizados. El sitio de empréstito propuesto corresponde a una franja de orientación Norte-Sur con una extensión del orden de 3 km y un ancho variable entre 150 m y 450 m. El potencial útil de profundidad considerado, varía entre los 3 m y 6 m, basado en los conocimientos del terreno y la información obtenida en las calicatas. De esta forma, se estima que el empréstito del sector Las Palmas aporta aproximadamente 3,3 Mm<sup>3</sup>.

A continuación, se presentan los volúmenes requeridos y disponibles para cada uno de los materiales que conformarán los muros del proyecto, de acuerdo a los requisitos establecidos.

**Tabla 4-17: Volúmenes por material de empréstito para el muro principal**

Id.	Uso	Volumen requerido (m <sup>3</sup> )	Volumen empréstito disponible (m <sup>3</sup> )
1A	Sellar fugas de agua	19.500	235.000
1B	Estabilidad relleno 1 A	68.200	150.000
2B	Superficie de apoyo pantalla hormigón	73.650	155.000
3A	Evitar arrastre de material 2B	74.700	194.250
3B	Espaldón apoyo muro	1.157.900	1.505.000
3C	Espaldón apoyo muro	613.700	1.010.000
3D	Protección del talud de aguas abajo	25.200	50.000
<b>Total</b>		<b>2.033.000</b>	<b>3.300.000</b>

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

**Tabla 4-18: Volúmenes por material de empréstito para el muro secundario.**

Id.	Uso	Volumen requerido (m <sup>3</sup> )	Volumen empréstito disponible (m <sup>3</sup> )
1C	Núcleo	4.000	10.000

2C	Filtro	1.200	5.000
3E	Espaldón	7.000	20.000
3D	Protección de Taludes	3.000	10.000
<b>Total</b>		<b>15.200</b>	<b>45.000</b>

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

De acuerdo al resultado de la macro granulometría realizada a las calicatas excavadas, se concluye que el material que se encuentra al interior de la cubeta cumple los requisitos para ser usado como relleno 3B y 3C, este material representa el 86% del volumen total. Para obtener el 14% de material restante (rellenos tipo 1A, 1B, 2B, 3A y 3D), se deberá acondicionar el material para ajustarse a las bandas granulométricas del proyecto.

Los rellenos tipo 2C y 3E, requeridos para la construcción del muro secundario, pueden ser obtenidos de este empréstito, previo acondicionamiento del material para cumplir con las exigencias del proyecto. Las arenas y gravas arcillosas del relleno tipo 1C del muro secundario, se pueden obtener del sitio de empréstito reconocido en el sector del estribo izquierdo del muro principal proyectado.

Cabe destacar que el material de rechazo para generar un tipo de material, puede ser empleado para conformar otro. Por ejemplo, el material de rechazo del relleno 2B, se puede usar como relleno 3C.

Como recomendación final de este estudio, se propone ejecutar calicatas fuera del área de inundación en las siguientes etapas del proyecto, principalmente en el sector de aguas abajo del muro principal, para cumplir la exigencia de tener al menos 3 veces el volumen demandado. Como antecedente, en la etapa de factibilidad se excavaron calicatas en esta zona que detectaron materiales idóneos para la conformación del muro principal.

- **Estudio hidrológico:**

Uno de los aspectos relevantes que se deben considerar para llevar a cabo una ingeniería de detalles de un embalse, es realizar un estudio hidrológico, con el objetivo de determinar el caudal de diseño para la construcción de las obras.

Dentro de los alcances comprendidos en este estudio, se encuentra la determinación de los caudales de crecida en el estero Las Palmas asociados a distintos periodos de retorno. Además, se estima la Crecida Máxima Posible (CMP).

También se determinan los caudales de crecida en el río Petorca, particularmente, en la zona de emplazamiento de la obra de toma del canal alimentador Las Palmas.

Debido a su ubicación geográfica, la cuenca del río Petorca posee un régimen pluvio-nival con crecidas máximas generadas por las tormentas de invierno. Considerando que la cuenca no posee registros de caudales medidos y su régimen es prioritariamente pluvial, se utilizaron diversos métodos de precipitación-escorrentía para la estimación de los caudales de diseño.

Para la utilización de estas metodologías, se requiere la información de las estaciones pluviométricas presentes en la zona de estudio, en particular, de las precipitaciones máximas en 24 horas. Luego, se seleccionan las estaciones con registros de

precipitaciones representativos de la cuenca aportante al embalse y posteriormente, se realizan los análisis de frecuencia para estimar las precipitaciones máximas asociadas a periodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años.

La precipitación máxima probable (PMP) se estima utilizando el análisis estadístico. Este parámetro se obtiene como la media de las PMP obtenidas en todas las estaciones representativas ubicadas al interior de la cuenca, y, para la cuenca del río Petorca alcanza un valor de 297 mm.

Luego, se llevó a cabo una caracterización de las precipitaciones para el sector del embalse Las Palmas implementando diversos métodos, para definir la precipitación de diseño para el proyecto. Cabe destacar, que la precipitación de diseño considerada para el embalse en estudio se obtuvo mediante la metodología de polígonos de Thiessen. Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4-19: Precipitación de diseño embalse Las Palmas.**

Periodo de retorno	T=10	T=20	T=25	T=100	T=200	T=500	T=1000
Precipitación (mm)	93	105	108	119	129	138	150

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

A partir de las precipitaciones de diseño definidas para el embalse, se determinan los caudales de crecida implementado distintos métodos de precipitación-escorrentía, tales como: el HUS, fórmula de Verni y King, fórmula Racional Modificada, entre otros.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos referentes a los caudales de crecida para el embalse Las Palmas para los distintos periodos de retorno considerados, junto con la estimación de la Crecida Máxima Probable (CMP).

**Tabla 4-20: Resumen de caudales de crecida para el embalse Las Palmas.**

Periodo de retorno	T=10	T=20	T=25	T=100	T=200	T=500	T=1000	CMP
Caudal de Crecida (m <sup>3</sup> /s)	155	195	208	283	424	466	525	1254
Volumen de la Crecida (Mm <sup>3</sup> )	7,7	9,7	10,4	14,4	21,9	24,4	27,9	73,8

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

De la tabla precedente se debe mencionar que los caudales de crecida adoptados para periodos de retorno hasta 100 años corresponden al promedio de todos los métodos de precipitación-escorrentía utilizados, y para periodos de retorno mayor o igual a 200 años, al igual que para la CMP, se adopta el HUS. Cabe destacar que la precipitación efectiva para la CMP corresponde a 297 mm.

Finalmente, el caudal de la CMP ajustado a la cuenca pluvial es de 1.254 m<sup>3</sup>/s y el volumen de la crecida es de 73,8 Mm<sup>3</sup>.

- **Estudio sísmico:**

Uno de los aspectos más relevantes en el desarrollo de la ingeniería de detalles para un proyecto en Chile es el estudio de amenaza sísmica, debido a la alta sismicidad que presenta el país.

La sismicidad principal de la zona de estudio, como en todo Chile, está relacionada con la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa sudamericana, convergencia que se desarrolla a una velocidad promedio del orden de 10 cm/año. Esta interacción genera sismos de tipo interplaca, que representan los eventos sísmicos más importantes en la historia del país. Todos aquellos con epicentro en el mar han generado maremotos.

Un sismo interplaca particularmente relevante para la zona de estudio, es el evento Valparaíso - La Ligua ocurrido en el año 1971, de magnitud  $M_s = 8.1$  y profundidad focal reportada de 40 km.

Este estudio contempla la ejecución de un análisis probabilístico y determinístico de la amenaza sísmica para el sitio de emplazamiento del embalse Las Palmas. Para la descripción de la sismicidad local y el análisis determinístico, se utilizó un catálogo de actividad sísmica internacional, que contempla los registros de sismos con magnitudes  $M_s$  mayores a 5.0 en la zona de estudio, para el periodo 1570-2010.

La evaluación probabilística de la amenaza sísmica asume una discretización de todas las fuentes potenciales de generación de eventos sísmicos que producen efectos significativos en el sitio de estudio. En el análisis se consideran todas las magnitudes posibles de terremotos que excedan una magnitud mínima, para cada una de las fuentes significativas identificadas, y a todas las posibles distancias del sitio en estudio. El objetivo es determinar la probabilidad de ocurrencia de cada combinación, incluyendo efectos tales como, la incertidumbre en las relaciones de atenuación.

Por lo tanto, al desarrollar un análisis probabilístico de amenaza sísmica se puede diseñar una obra sometida a distintos niveles de movimiento del suelo, asociados a una determinada probabilidad de excedencia. Como en cualquier modelo, la precisión y utilidad de un análisis de este tipo depende de la calidad de la información, por lo que resulta fundamental una selección apropiada de las fuentes potenciales, el uso de relaciones de atenuación adecuadas y el uso criterioso de la información histórica obtenida en base a los registros sísmicos.

Respecto a las fuentes utilizadas en este análisis, es preciso mencionar que se consideró la discretización de todas las fuentes sísmicas del país, alcanzando un total de 39 fuentes, las que modelan el plano inclinado de Benioff. Este procedimiento presenta la ventaja de que se evitan discontinuidades en la solución de las curvas de amenaza sísmica, además, se incluye el posible efecto tanto de eventos cercanos como lejanos.

El modelo de recurrencia utilizado en este análisis se especifica mediante la Ley de Gutenberg-Richter, que posee la siguiente forma:

$$\log N = a - bM$$

Donde N corresponde al número de sismos de magnitud mayor o igual a M, mientras que a y b son constantes que dependen de la fuente considerada.

Posteriormente, se definió la distribución de magnitudes y tasas de ocurrencia promedio para cada fuente determinada en el análisis. Cabe destacar que la Ley de atenuación considerada en este estudio es la derivada por Martin (1990), ya que esta contiene la muestra más completa de datos de terremotos chilenos.

Utilizando la metodología descrita anteriormente, es posible construir la curva de amenaza sísmica para el sitio de interés, esta curva indica la probabilidad de excedencia para una cierta aceleración.

Los resultados obtenidos del análisis probabilístico efectuado en el presente estudio se resumen en la tabla 4-21.

**Tabla 4-21: Aceleración máxima del suelo según análisis probabilístico.**

<b>Probabilidad de Excedencia</b>	<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>Aceleración Máxima del Suelo PGA (g)</b>
50% en 50 años	72	0.302
10% en 50 años	475	0.467
10% en 100 años	949	0.530
~1 % en 100 años	10000	0.756

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Se debe mencionar que el resultado obtenido para el sismo máximo creíble es discutible, debido a que la historia sísmica utilizada en el estudio (440 años) es considerablemente menor al periodo de retorno medio utilizado en el cálculo de dicho sismo (10.000 años).

Por su parte, en el análisis determinístico se busca establecer aceleraciones del suelo mediante la recreación de escenarios sísmicos probables, y/o la selección de sismos históricos, que por su cercanía al sitio en estudio pueden generar movimientos significativos del suelo.

La determinación de escenarios es subjetiva y su propósito es utilizarla como una herramienta de evaluación de los resultados del análisis probabilístico. Tal como se comentó anteriormente, existen dos tipos de enfoque para definir los escenarios a considerar en el estudio:

- Escenarios asociados a una condición de ocurrencia posible, basada en eventos ocurridos en la zona y eventualmente desplazados a zonas más críticas.
- Un escenario representativo de la condición más desfavorable (sismo máximo creíble determinístico), correspondiente a un evento de magnitud máxima con hipocentro a la distancia más cercana al sitio en estudio.

De acuerdo a lo anterior, se definen tres escenarios para el desarrollo de este estudio, cuyas características se presentan en la siguiente tabla.

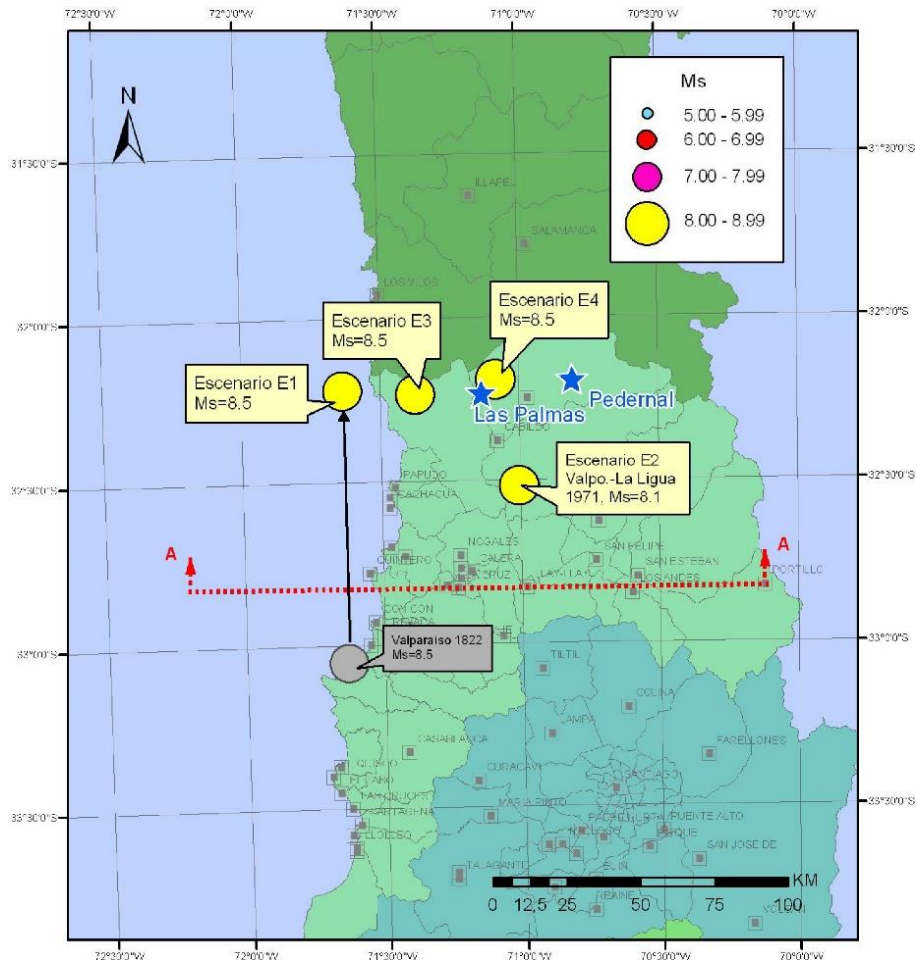


**Tabla 4-22: Parámetros de escenarios sísmicos considerados en análisis determinístico.**

Escenario	Tipo	Latitud (°) S	Longitud (°) W	Profundidad (km)	Ms	Distancia hipocentral (km)
E1) Valparaíso 1822. Latitud modificada	Interplaca	32.22°	71.63°	47.2	8.5	66.5
E2) Valparaíso-La Ligua 1971	Interplaca	32.51°	71.21°	40	8.1	52.8
E3) Recreación Máximo Creíble Las Palmas	Interplaca	32.24°	71.37°	56.74	8.5	61.6

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

En la figura 4-8 se pueden apreciar los escenarios sísmicos considerados para este análisis.



**Figura 4-8: Ubicación de los escenarios sísmicos considerados para análisis determinístico.**

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

Los resultados del análisis determinístico efectuado se presentan en la tabla 4-23.

**Tabla 4-23: Valores de aceleración máxima según análisis determinístico.**

<b>Escenario</b>	<b>Aceleración basal (g)</b>
E1	0.58
E2	0.46
E3	0.60

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Observando la tabla anterior, podemos notar que los valores determinísticos para los escenarios E1 y E2 respaldan satisfactoriamente los resultados del análisis probabilístico, contribuyendo a la interpretación de su significado. Cabe destacar que el escenario E3 (máximo creíble) presenta aceleración basal cercana al E1, esto debido a que este escenario representa un evento bastante crítico de por sí.

El análisis probabilístico entrega como resultado el valor de la aceleración máxima para sismos con distintas probabilidades de excedencia. Para una estructura especial como lo es un embalse, se puede diseñar utilizando la amenaza correspondiente al sismo con período de retorno de 949 años, por lo tanto, el sismo de diseño para el embalse Las Palmas posee una aceleración basal máxima de 0,53g. Por su parte, el PGA correspondiente al evento “máximo creíble” (MC) alcanza valores de 0.756g probabilístico y 0.60g determinístico para el embalse Las Palmas. Para este nivel de terremoto se acepta cierto nivel de daño en la presa, pero debe mantener su estabilidad e integridad, evitando el derrame de su contenido (estanqueidad).

El análisis determinístico se basó en tres escenarios posibles, donde la aceleración máxima obtenida para el escenario E1, presenta excelente consistencia con los valores probabilísticos para el evento con período de retorno de 949 años. La aceleración máxima obtenida para el escenario E2 respalda los valores probabilísticos para el evento con período de retorno de 475 años. La aceleración obtenida para el escenario E3 presenta un acuerdo razonable en orden de magnitud con el máximo creíble, considerando la incertidumbre en la curva de atenuación para un periodo de retorno tan extenso.

Por lo tanto, se concluye que los valores del análisis determinístico sirven como respaldo o comprobación de los resultados obtenidos según el modelo probabilístico.

Finalmente, se recomienda considerar la inclusión del factor de importancia definido en algunas normas para amplificar los espectros de diseño en estructuras críticas, esenciales o peligrosas, en relación con la mantención de su operación durante y después de un sismo, el riesgo de su falla para la población, y el potencial daño ecológico.

#### **4.3.2 Diseño de detalle del embalse Las Palmas**

A continuación, se aborda el diseño a nivel de ingeniería de detalles de los elementos principales del embalse, el cual se pudo estudiar a partir de la información contenida en las memorias de cálculos desarrolladas en esta etapa. También se presentan los resultados del análisis de estabilidad desarrollado para los muros del embalse en estudio.

- **Pantalla de hormigón:**

El espesor de la pantalla de hormigón se define en función de la altura de agua del embalse (H), siguiendo la relación que se presenta enseguida, con un espesor mínimo de 30 cm.

$$e=0,3+0,001 \cdot H \text{ [m]}$$

Luego, el espesor se determina de acuerdo a las siguientes cotas de proyecto:

- Cota máxima de inundación: 527.0 m s.n.m.
- Cota fundación plinto: 454.4 m s.n.m.

Por lo tanto, el gradiente hidráulico es  $H=72,6$  m. Aplicando la relación anterior se obtiene un espesor de 37,3 cm. Sin embargo, por la gran altura del muro y considerando que la carga máxima no ocurre en todo el desarrollo de la pantalla, se decide disminuir el espesor y proyectarlo constante a lo largo de toda la pantalla, con un espesor de 35 cm.

La pantalla se divide en paños de 15 metros de ancho, iniciándose cada uno de estos al pie del parapeto y terminando en contacto con el plinto.

La armadura de la pantalla estará compuesta por una malla central, en relación a las cuantías de acero, se deciden adoptar los siguientes criterios para las cuantías mínimas en ambas direcciones:

- Armadura horizontal: el área de acero debe ser 0,3% de la sección teórica de hormigón, excepto en la losa vecina al plinto, donde la cuantía será de 0,4%.
- Armadura vertical: la cuantía debe ser de 0,35% de la sección de hormigón, excepto en la losa vecina al plinto, donde la cuantía será de 0,4%.

A partir de los criterios descritos, se definen las armaduras a utilizar en ambas direcciones, las que se pueden apreciar en la siguiente tabla.

**Tabla 4-24: Cuantías de armadura para la pantalla de hormigón.**

Zona	Espesor (cm)	Cuantías Mínimas		Armadura Dispuesta		Cuantía Dispuesta	
		Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
A	35	0.35%	0.30%	φ 22 @ 25	φ 18 @ 20	0.43%	0.36%
B	35	0.40%	0.40%	φ 22 @ 25	φ 22 @ 25	0.43%	0.43%

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

- **Plinto:**

Respecto al diseño del plinto, se debe considerar que este se fundará en el valle del embalse en roca granítica leve a moderadamente meteorizada y en las laderas sobre roca muy meteorizada (maicillo), se considera que en caso de necesitar sobre excavación para alcanzar la roca, se rellenará con hormigón. Luego, los parámetros considerados para los distintos tipos de suelo de fundación, de acuerdo a los antecedentes geotécnicos, son los siguientes:

**Tabla 4-25: Parámetros geotécnicos del suelo de fundación del plinto.**

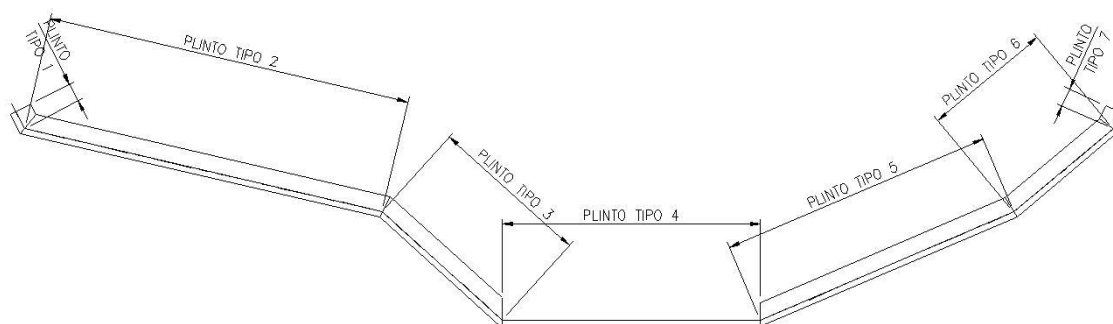
Parámetro	Roca muy meteorizada (maicillo)	Roca moderadamente meteorizada
$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	2,0	2,6
$\phi$ (°)	32	-
K balasto (kg/cm <sup>3</sup> )	8	15
$q_{adm}$ (t/m <sup>2</sup> )	25	50

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

De acuerdo a las características del valle y de los suelos de fundación, el proyecto contempla la construcción de 7 tipos de plintos, los que se clasifican en 3 tipos para efectos de análisis:

- Plinto ubicado en el valle sobre roca granítica (tipo 4)
- Plinto ubicado en laderas apoyado sobre roca granítica muy meteorizada (tipo 2, 3, 5 y 6)
- Plinto ubicado en laderas superiores sobre roca granítica muy meteorizada (tipo 1 y 7)

A continuación, se presenta la disposición de los plintos señalados, para tener una mejor perspectiva de lo anterior.



PLANTA DISPOSICION PLINTOS  
ESCALA: 1:2000

**Figura 4-9: Disposición de los plintos considerados en el proyecto.**

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

El espesor del plinto se proyectó de 50 cm, diseño considerado conservador según la literatura técnica consultada. Según Materón, el largo del plinto se obtiene de la relación del RMR (Rock Mass Ratio) del suelo de fundación con el gradiente, la cual se puede apreciar en la tabla 2-1.

Luego, el largo del plinto,  $W$ , se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{H}{G}$$

Donde,

H: Carga de agua sobre el plinto, en metros.

G: Gradiente, relacionado con el índice RMR, en metros.

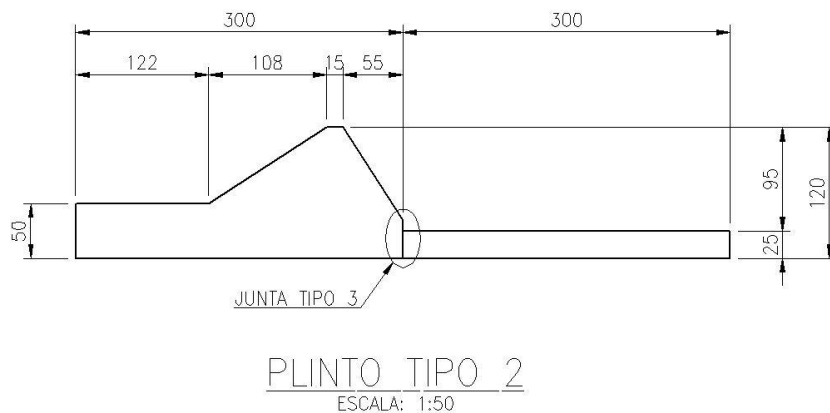
Se definen los gradientes para cada tramo del plinto de acuerdo a la calidad de la roca determinada según las prospecciones geotécnicas, luego, considerando la carga hidráulica respectiva a cada tramo, se aplica la fórmula anterior. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 4-26.

**Tabla 4-26: Largo para cada tipo de plinto.**

Tipo	H (m)	RMR	Gradiente	Largo del plinto (m)		
				Necesario	Externo	Interno
1	6	<20	1	6,00	3	3
2	20	20	4	5,00	3	3
3	51	50	12	4,25	3	6
4	69	80	18	3,83	4	-
5	51	50	12	4,25	3	6
6	20	20	4	5,00	3	3
7	6	<20	1	6,00	3	3

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

A continuación, se presenta un esquema del plinto tipo 2, en el cual se pueden apreciar las características de diseño indicadas anteriormente. Además, se puede observar la losa interna de 25 cm de espesor proyectada en todos los plintos, cuyo objetivo es alargar las líneas de flujo.



**Figura 4-10: Diseño del plinto considerado para el proyecto.**

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

Para las dimensiones establecidas, se verifica que la estructura no deslice para la condición previa al llenado del embalse, condición definida como “normal”. Para verificar esto, se deben considerar las fuerzas relacionadas al peso del plinto y al peso de la pantalla, las que se pueden visualizar en la siguiente figura.

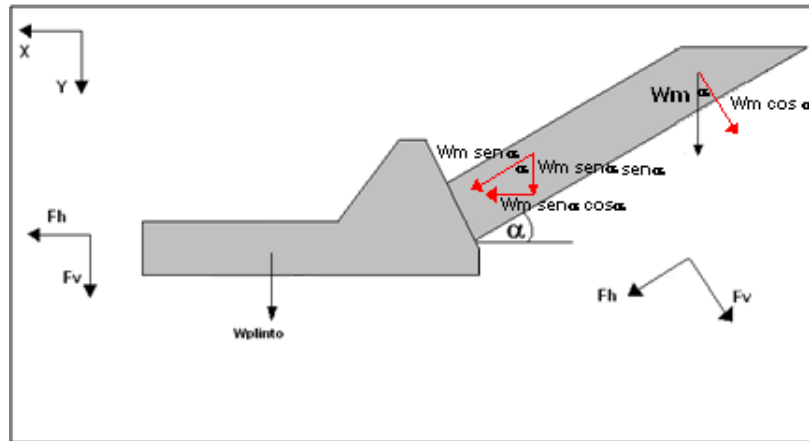


Figura 4-11: Esquema de fuerzas actuantes en el plinto.

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

La condición que se debe corroborar respecto al deslizamiento es la siguiente:

$$\frac{F_{Resistentes}}{F_{Deslizantes}} \geq 1$$

En este caso, las fuerzas resistentes vienen dadas por la fricción entre el enrocado del muro y la pantalla, y la fricción entre el plinto y su suelo de fundación. Estas se determinan por  $H_F = \mu \cdot N$ , en que N es el esfuerzo normal a la superficie de deslizamiento y  $\mu$  el coeficiente de roce. Por su parte, las fuerzas deslizantes son aquellas que pretenden modificar la posición del elemento estructural.

Cabe mencionar, que para los 7 tipos de plintos diseñados se cumple la condición descrita anteriormente, por ende, estos no tendrán problemas de deslizamiento.

Respecto al criterio para las cuantías mínimas de acero en el plinto, se definió que la armadura transversal debe ser un 0,4% de la sección teórica de hormigón, mientras que la armadura longitudinal de un 0,3%. El espesor se definió constante para todos los plintos del proyecto, por lo cual, se dispuso de la misma armadura en cada uno de estos. En la tabla 4-27 se presentan las cuantías determinadas para este elemento.

Tabla 4-27: Cuantías de armadura para el plinto.

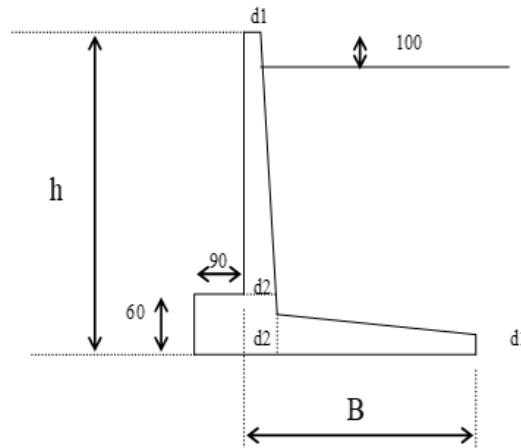
Espesor (cm)	Cuantías mínimas		Armadura dispuesta		Cuantía dispuesta	
	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal
50	0,4	0,3	φ 22 @ 20	φ 22 @ 20	0,38	0,38

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

- **Parapeto:**

Para definir el tipo de muro parapeto a construir en la presa del embalse Las Palmas, se han tenido presente los diferentes tipos de parapetos que se han diseñado en las presas de la DOH. Tanto en el embalse Santa Juana como el embalse Puclaro se utilizaron para sus muros el tipo de parapeto en L, que permite disminuir el volumen del muro de la presa, al construir una estructura de hormigón con un diseño que asegure tal condición. La utilización de este tipo de parapeto puede justificarse desde el punto de vista económico, pero tiene complicaciones constructivas asociadas.

El diseño de un parapeto en L se muestra en la siguiente figura.



**Figura 4-12: Diseño muro parapeto tipo L.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Para definir si se utilizará un muro parapeto en L o un parapeto simple en el embalse Las Palmas, se llevó a cabo un análisis económico que permitiera tomar una decisión apropiada.

Para realizar el cálculo se consideró que la longitud de coronamiento es de 560 m, el hormigón utilizado es H25 y la cuantía de acero es de 80 kg/m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta los precios unitarios asociados a los materiales aludidos, se presentan los resultados del análisis desarrollado.

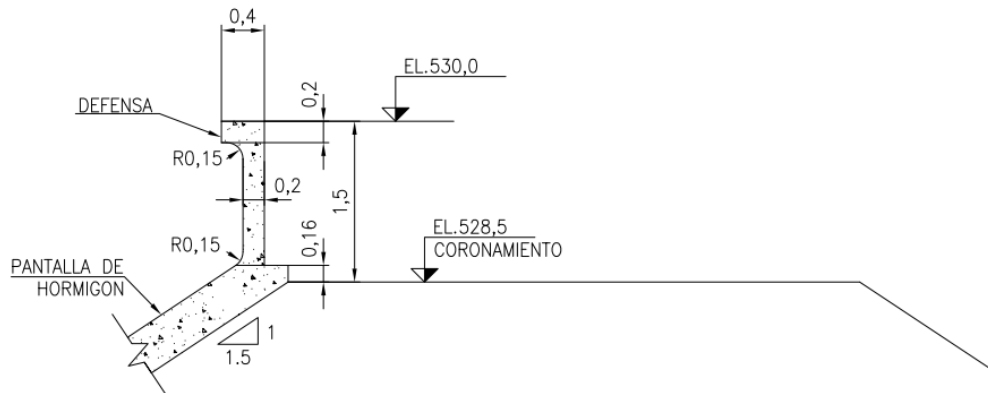
**Tabla 4-28: Cálculo comparativo de costo y ahorro en caso de un parapeto tipo L.**

h m	B m	d1 m	d2 m	Vol hormigón m <sup>3</sup>	Acero kg	Costo Muro L \$	Ahorro 3B \$
2	1,68	0,2	0,24	728	58.245	189.733.206	53.700.000
3	2,52	0,2	0,30	1037	82.952	270.215.223	107.400.000
4	2,35	0,2	0,40	1302	104.160	339.299.898	161.100.000
5	4,20	0,2	0,59	2215	177.181	577.164.088	214.800.000
6	5,04	0,2	0,80	3168	253.472	825.681.872	268.500.000
7	5,88	0,2	1,03	4383	350.617	1.142.132.095	322.200.000

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

De la tabla anterior, podemos notar que siempre resulta más costoso ejecutar el muro parapeto en L que lo que se ahorra por menos volumen de muro de presa (relleno tipo 3B), por lo tanto, se descartó esta alternativa.

Se concluye que en este proyecto resulta más conveniente construir un muro parapeto de hormigón simple, cuyo diseño se muestra en la siguiente figura.



**Figura 4-13: Diseño del parapeto considerado en el proyecto.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Posteriormente, se verificó la estabilidad del elemento mediante una modelación pertinente, considerando su peso propio, las cargas sísmicas y el empuje de agua. En esta se comprobó que el parapeto no presenta problemas de deslizamiento ni levantamiento.

Finalmente, se dispuso una armadura  $\phi 12@20$  en la parte inferior del parapeto para resistir las solicitaciones de flexión.

- **Coronamiento:**

La cota de coronamiento de la presa se calculó a partir de la cota del umbral del vertedero, la carga de diseño y la revancha. El umbral del vertedero se proyectó a la cota 525 m s.n.m, para asegurar de esta manera el almacenamiento requerido de 55 millones  $m^3$ . La carga de agua en el vertedero se estimó para la crecida de 1.000 años ( $525 m^3/s$ ), estableciéndose en 2,45 m. Para definir la revancha se consideró, además de la carga, el efecto de la ola y el asentamiento de la presa. Posteriormente, la revancha calculada se verificó para la CMP, con un caudal de  $1.254 m^3/s$ .

Finalmente, la cota de coronamiento de la presa se proyectó a 528,5 m s.n.m.

Para determinar el ancho de coronamiento se aplicó la fórmula recomendada por Design of Small Dams (1987), que establece lo siguiente:

$$W = 0,06 \cdot h + 3$$

Donde,



W: Ancho de coronamiento, en metros.

h: Altura de la presa, en metros.

Sabemos que la altura del muro principal es de 70 m, por lo tanto, de acuerdo a la fórmula anterior, el ancho de coronamiento debe ser de 7,2 m. Por otro lado, para el muro secundario se tiene una altura de 10 m, lo que se traduce en un ancho de coronamiento de 3,6 m.

Sin embargo, aplicando un criterio conservador, se fijaron anchos de coronamiento de 8 y 4 metros para el muro principal y secundario, respectivamente.

Es importante recalcar que el diseño de las obras complementarias proyectadas para el embalse Las Palmas se presentó en la sección 3.1.2.

En el marco de este estudio, se llevó a cabo un análisis de estabilidad estático y pseudo-estático, basado en el método de equilibrio límite, con el cual se han determinado los Factores de Seguridad (FS) asociados a las potenciales superficies de deslizamiento para el sismo de diseño y el máximo creíble. Posteriormente, con el propósito de comprobar el diseño de la presa y descartar un posible colapso, se realizó un análisis estático y dinámico mediante un modelo de elementos finitos, en el cual se determina el campo de tensiones y deformaciones asociadas, considerando la condición más desfavorable, es decir, aplicando el sismo máximo creíble en la zona de emplazamiento del muro.

Los parámetros geotécnicos determinados para el desarrollo del análisis de estabilidad, tanto para los tipos de rellenos como para el suelo de fundación, se pueden apreciar en las siguientes figuras, donde además se presenta la sección a analizar, correspondiente a la mayor altura de los muros.

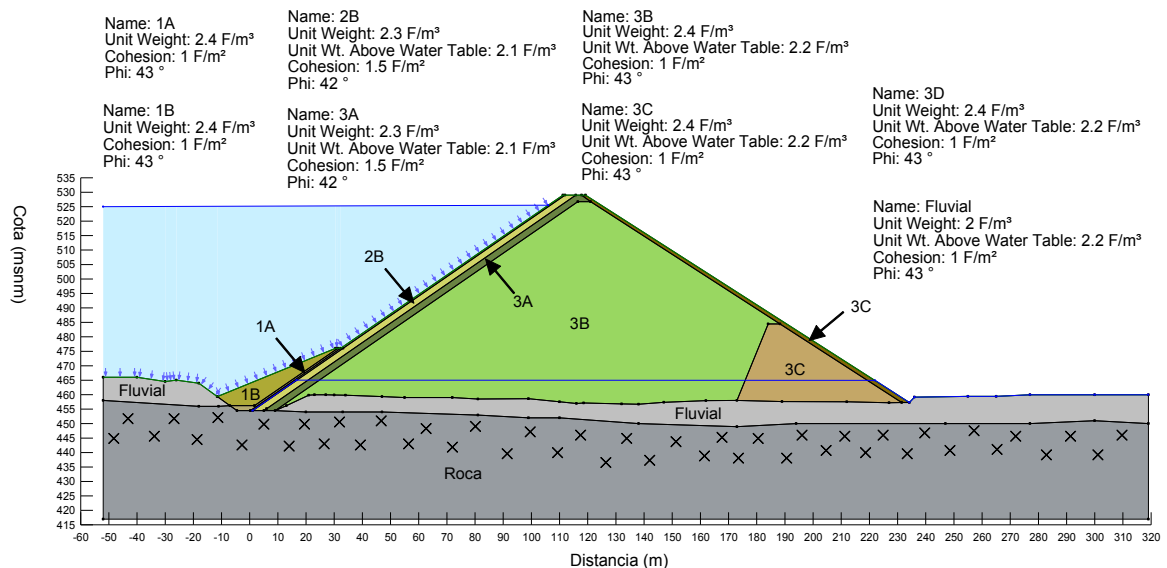
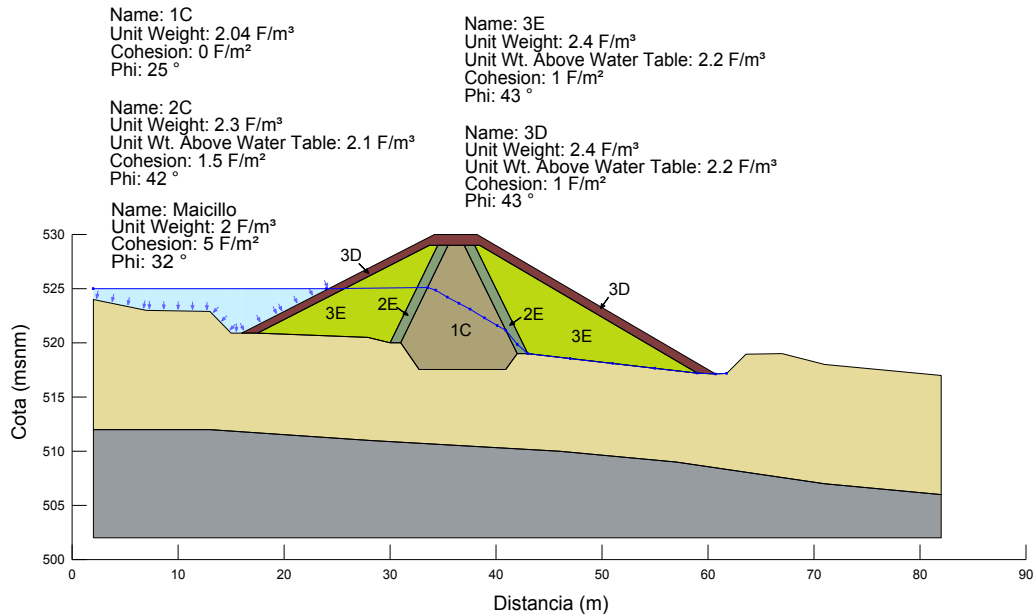


Figura 4-14: Sección de análisis muro principal embalse Las Palmas.

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).



**Figura 4-15: Sección de análisis muro secundario embalse Las Palmas.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Para el análisis de estabilidad del muro principal se han tenido las siguientes consideraciones:

- Pantalla de hormigón impermeable. Resistencia del hormigón modelada como cohesión igual a 1/2 de la resistencia a la compresión del hormigón ( $c=1.000 \text{ t/m}^2$ )
- No obstante lo anterior, en forma conservadora se ha considerado un nivel freático en el cuerpo del muro de 10 m sobre el nivel de fundación.
- Niveles de agua correspondientes a la operación máxima (525 msnm).

Por su parte, para el análisis de estabilidad del muro secundario, se consideró que el embalse posee el nivel de agua máximo de operación.

A continuación, se presentan los casos considerados para el análisis de estabilidad realizado.

- Talud de aguas arriba:
  - Caso 1: Embalse vacío
  - Caso 2: Embalse lleno hasta el nivel máximo de operación
  - Caso 3: Vaciado rápido (muro secundario)
- Talud de aguas abajo:
  - Caso 4: Embalse vacío
  - Caso 5: Embalse lleno hasta el nivel máximo de operación

Con el propósito de estudiar potenciales deslizamientos que pudieran levantar la pantalla de hormigón, se analizaron dos casos adicionales, modelando la pantalla de hormigón como un elemento impermeable que posee los mismos parámetros resistentes del relleno ubicado inmediatamente bajo esta (3B). Estos casos se denominaron 1A y 2A.

En la tabla 4-29 se presentan los criterios de seguridad admisibles considerados en este estudio para los casos estáticos y pseudo-estáticos.

**Tabla 4-29: Factores de seguridad admisibles para análisis de estabilidad.**

Muro	FS Admisible Análisis estático	FS Admisible Análisis pseudo-estático	FS Admisible Vaciado Rápido
Principal	1,5	1,2	-
Secundario	1,5	1,2	1,0

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

Cabe mencionar, que para realizar el análisis pseudo-estático se determinó el coeficiente sísmico aplicando las recomendaciones de Saragoni para el caso Chileno (1993), con lo cual, el coeficiente sísmico horizontal sería:  $k_h = 0,3x a_{m\acute{a}x}/g$ .

Aplicando esta relación a las aceleraciones del sismo de diseño y máximo creíble definidas en el estudio de amenaza sísmica, se obtienen los coeficientes requeridos.

En la siguiente tabla se presentan los resultados del análisis de estabilidad desarrollado.

**Tabla 4-30: Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad.**

Muro	Caso	FS estático	FS pseudo-estático	
			$k_h=0,16$	$k_h=0,18$
Principal	1	2,2	1,7	1,6
	1A	1,7	1,2	1,2
	2	6,6	4,1	3,8
	2A	5,6	3,6	3,5
	4	1,7	1,2	1,2
	5	1,6	1,2	1,1(*)
Secundario	1	2,7	1,9	1,8
	2	2,5	1,7	1,5
	3	2,0	----	
	4	2,2	1,6	1,6
	5	2,3	1,6	1,6

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

De la tabla anterior, se puede observar que los FS obtenidos se encuentran dentro de los criterios de seguridad admisibles considerados en este estudio en prácticamente la totalidad de los casos.

De manera complementaria, para el caso 5 del muro principal, que corresponde al escenario más crítico, se realiza un análisis de sensibilidad para determinar el coeficiente sísmico de fluencia del sistema ( $k_h$  asociado a FS=1,0).

Del análisis realizado se obtiene que el coeficiente sísmico de fluencia " $(k_h)_y$ " es igual a 0,24. Este valor es un 50% mayor que el coeficiente sísmico asociado al sismo de diseño y un 33% mayor que el coeficiente sísmico asociado al sismo máximo creíble, por lo tanto, dada su mínima probabilidad de ocurrencia, se concluye que el muro principal no tendría problemas de deslizamiento.

Luego, se llevó a cabo un análisis estático y dinámico para verificar el diseño de muro de presa establecido, considerando el sismo máximo creíble. Esta condición, correspondiente a la más desfavorable, tiene como propósito descartar un eventual colapso del muro.

Para dichos análisis se utiliza un modelo bidimensional de elementos finitos, empleando un programa computacional especializado en el análisis de problemas geomecánicos que involucran la interacción suelo-estructura.

Para modelar el comportamiento mecánico de los materiales granulares se utilizó la ley constitutiva elastoplástica denominada Hardening Soil. Respecto a los parámetros geotécnicos adoptados para los materiales de relleno del muro y del suelo de fundación, estos se ajustaron tomando como referencia los parámetros obtenidos en ensayos de laboratorio de muestras representativas y la experiencia en construcción de presas chilenas de similares características.

El análisis estático consideró las distintas secuencias constructivas presentes en la ejecución del embalse Las Palmas, y su posterior llenado.

De acuerdo a lo anterior, se realizó la modelación del embalse y se procedió con el análisis estático. En este se obtuvo que los desplazamientos producidos en el corto plazo, por el llenado del embalse a su capacidad máxima, son del orden de 0,09 m, los que se concentran en la zona inferior de la pantalla de hormigón. En base a los antecedentes empíricos obtenidos de otras presas a nivel mundial, se estima que los asentamientos a largo plazo del muro del embalse Las Palmas serán en total inferiores a 0,14 m.

Además, a partir de las envolventes de esfuerzos generados en la pantalla de hormigón y en el plinto durante la construcción y llenado del embalse, se deducen los siguientes valores máximos de esfuerzos en dichos elementos estructurales.

**Tabla 4-31: Esfuerzos máximos obtenidos en el análisis estático.**

Elemento Estructural	Esfuerzos Máximos		
	Momento, "M" (KN-m/m)	Corte, "Q" (KN/m)	Axial, "N" (KN/m)
Plinto	55,7	-97,9	-264,7
Pantalla Hormigón	-21,3	36,8	-2270,0

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Luego, se estimaron los desplazamientos máximos de la pantalla de hormigón y el plinto generados durante la construcción y llenado del embalse, los que son mostrados enseguida.

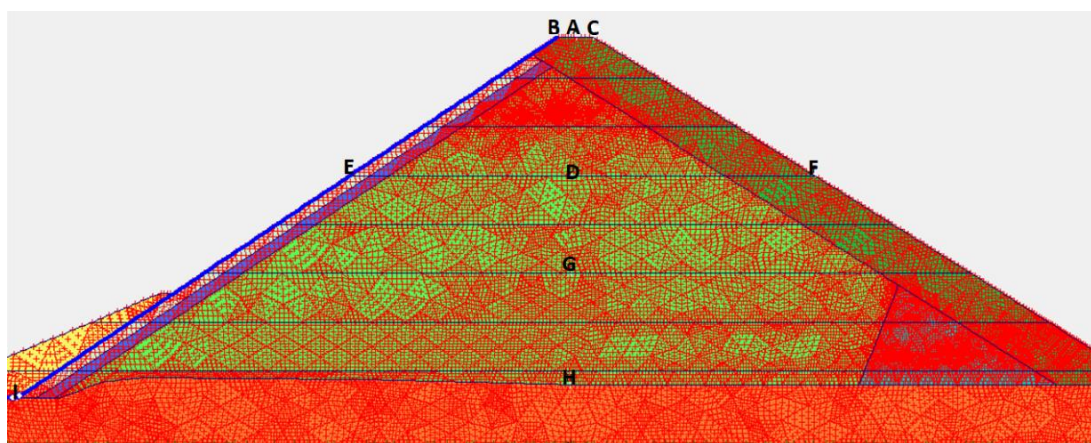
**Tabla 4-32: Desplazamientos máximos obtenidos en el análisis estático.**

Elemento estructural	Desplazamiento máximo (m)
Plinto	0,03
Pantalla Hormigón	0,098

*Adaptado de Estudio de Diseño Construcción Sistema de Regadío Valle de Petorca. Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Respecto al análisis dinámico, este se efectuó para evaluar el comportamiento de la presa bajo las condiciones sísmicas más extremas. Este análisis se realizó con el registro de aceleraciones de campo libre proporcionado por el estudio de amenaza sísmica del proyecto, donde se definió una aceleración máxima  $a_{m\acute{a}x}=0,60$  g, correspondiente al sismo máximo creíble. Cabe mencionar que el sismo de diseño es de  $a_{m\acute{a}x}=0,53$  g.

Los resultados del análisis dinámico se presentan mediante historias de aceleraciones y desplazamientos de un set de puntos de control, y a través de las envolventes de esfuerzos de los elementos estructurales de impermeabilización del embalse. La ubicación de los puntos de control escogidos para este análisis se puede observar en la figura siguiente.



**Figura 4-16: Puntos de control escogidos para el análisis dinámico.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

A continuación, se exponen los resultados obtenidos del análisis dinámico.

**Tabla 4-33: Aceleraciones y desplazamientos máximos obtenidos en el análisis dinámico.**

Puntos de control	Aceleraciones Extremas		Desplazamientos acumulados	
	$ a_x $ (g)	$ a_y $ (g)	$ U_x $ (m)	$ U_y $ (m)
A	0.78	0.80	1.52	-0.75
B	1.09	0.72	0.49	-0.52
C	0.85	0.86	1.70	-0.75
D	0.68	0.44	0.67	-0.28
E	0.70	0.46	0.22	-0.10
F	0.92	0.54	1.95	-0.18
G	0.56	0.31	0.29	-0.08
H	0.56	0.14	0.12	-0.01
I	0.55	0.22	0.14	-0.02

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

De la tabla anterior, podemos notar que la aceleración horizontal máxima se produce en el extremo aguas arriba del coronamiento (punto B), alcanzando un valor de  $a_{m\acute{a}x}=1,09$  g. También se observa una gran amplificación en la parte central del talud aguas abajo del muro (punto F), alcanzando la aceleración un valor de  $a_{m\acute{a}x}=0,92$  g. En esta zona, además, se producen los mayores desplazamientos horizontales, en torno a 2,0 m, sin embargo, este desplazamiento es superficial y acotado a una zona específica, lo cual se asocia a un corrimiento superficial que no afectaría la integridad de la estructura. En tanto, los desplazamientos horizontales en el coronamiento son del orden de 1,7 m (punto C). También se observa que los desplazamientos verticales son inferiores a 0,75 m, alcanzando mayores valores en la zona del coronamiento de la presa.

Por lo tanto, se estima que la estructura no sufrirá problemas de inestabilidad que afecten su serviciabilidad ante la ocurrencia de un sismo severo (máximo creíble).

En la tabla 4-34 se resumen los esfuerzos máximos generados sobre el plinto y la pantalla de hormigón hasta el fin de las sollicitaciones sísmicas.

**Tabla 4-34: Esfuerzos máximos obtenidos en el análisis dinámico.**

Elemento Estructural	Esfuerzos Máximos		
	Momento, "M" (KN-m/m)	Corte, "Q" (KN/m)	Axial, "N" (KN/m)
Plinto	-360.9	694.9	-2327.0
Pantalla Hormigón	-325.5	568.3	8230.0

Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

Finalmente, se obtienen los desplazamientos en estos elementos estructurales durante la construcción y llenado del embalse, y posterior ocurrencia del sismo, indicados en la tabla siguiente.

**Tabla 4-35: Desplazamientos máximos obtenidos del análisis dinámico.**

Elemento estructural	Desplazamiento máximo (m)
Plinto	0,099
Pantalla Hormigón	0,687

Adaptado de Estudio de Diseño Construcción Sistema de Regadío Valle de Petorca. Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).

### 4.3.3 Diseño de detalle del canal alimentador Las Palmas

En esta sección se presenta el diseño de detalle del Canal Alimentador Las Palmas, proyectado en el sistema de riego del valle de Petorca. Este canal alimentador se inicia en la bocatoma ubicada en el río Petorca, su caudal de diseño es de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  y su trazado se extiende por 57 km aproximadamente, recorriendo las laderas del lado norte del valle Petorca hasta descargar en el embalse Las Palmas. El trazado general del canal alimentador se presenta en la siguiente figura.



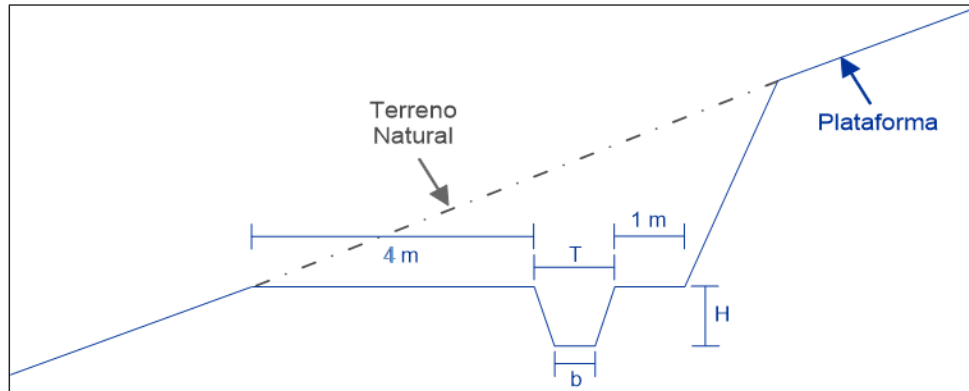
**Figura 4-17: Desarrollo del canal alimentador Las Palmas.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Como concepto general de diseño, se consideró una sección de escurrimiento de tipo trapecial en los tramos donde el canal se emplaza sobre suelo y de tipo rectangular en los sectores con presencia de roca. La sección trapecial tiene un ancho basal de 0,7 m y taludes laterales 1:1,5 (H:V). Por su parte, la sección rectangular tiene un ancho variable de 1,4 o 1,5 m. Este canal se proyecta en su totalidad revestido en hormigón, de modo de evitar pérdidas de agua por infiltración y eventuales riesgos sobre las laderas debido al humedecimiento y a las fuertes pendientes existentes. Para facilitar las funciones de mantención y operación del canal, se consideró la construcción de un camino lateral para tránsito liviano de 4,0 m de ancho.

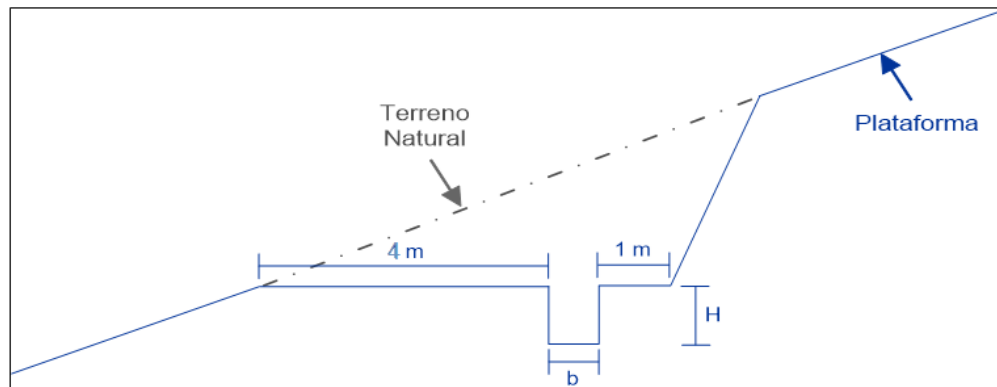
Debido a la sectorización del canal en cuanto a presencia de roca o suelo, tramos abovedados o abiertos, y requerimientos de altura de escurrimiento, se consideran 12 secciones tipo en el desarrollo de este canal, que poseen una altura que varía entre 1,1 y 1,3 m. Además, la pendiente de fondo del canal varía entre 0,055 y 0,13%.

A continuación, se muestra el diseño de las secciones tipo del canal alimentador.



**Figura 4-18: Sección trapezoidal tipo del canal alimentador.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*



**Figura 4-19: Sección rectangular tipo del canal alimentador.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

A lo largo del canal, existen 8 obras singulares que independizan el escurrimiento, correspondientes a 7 sifones y 1 caída, las cuales dividen el canal en 9 tramos. El canal se desarrolla en 45,2 km de sección trapezoidal en suelo, 1,4 km de sección trapezoidal cerrada en suelo, 7,3 km de sección rectangular en roca y 2,4 km de sección rectangular cerrada en roca.

Como parte del diseño del Canal Alimentador Las Palmas se proyectaron distintos tipos de obras que hacen posible su operación de forma adecuada. Dentro de las más importantes se encuentran:

- **Bocatoma:** esta consta de una barrera fija de tipo vertedora, dispuesta en el brazo derecho transversal al flujo del río Petorca, más una obra de toma superficial de tipo lateral. El funcionamiento de esta bocatoma está basado en el hecho que el nivel del agua en el río ha sido peraltado por la barrera vertedora, permitiendo que el agua ingrese por la toma lateral.



- Cruce de quebradas: basado en los antecedentes disponibles y una vez realizado el recorrido en terreno, se pudo constatar que este canal atraviesa un total de 82 quebradas, en las cuales es necesario emplazar una obra de cruce. Dentro de las obras de cruces se distinguen dos tipos, los atravesos elevados y los enterrados, en el primer grupo se encuentran los sifones y canoas, en tanto que al segundo grupo pertenecen los cajones y losas de hormigón armado.
- Desagües: una condición segura para la operación del canal debe considerar desagües que permitan el vaciado controlado hacia cauces naturales y aislar tramos de forma conveniente, tanto para situaciones de emergencia como de mantención normal.
- Cruce de caminos: en el desarrollo del canal Las Palmas se generan interferencias con las rutas vehiculares que lo intersectan, estas rutas se componen de huellas, caminos interiores a predios y accesos, entre otros. Para dar continuidad a las vías se diseñaron obras de atraveso de caminos, consistentes en la instalación de una losa sobre la sección del canal, sobre la cual se produce el tránsito vehicular. En total se identificaron 19 atravesos de caminos en el recorrido del canal.
- Obra de entrega: esta se emplazará en el costado izquierdo del embalse Las Palmas y entrega el caudal al pie de una quebrada. Esta obra consiste en un canal rápido de descarga en hormigón armado de sección rectangular de 31 m de largo, el cual culminará en una piscina disipadora de 11 m de longitud en el fondo de la quebrada.

#### **4.3.4 Evaluación social**

En este apartado se exponen los resultados de la evaluación social asociada a la materialización de los embalses Las Palmas y Pedernal, la cual consideró como base el modelo de evaluación económica utilizada en el estudio de factibilidad (4.2.3).

Las principales modificaciones consideradas en este análisis, guardan relación con la reevaluación de costos y beneficios conforme al diseño de detalle realizado y una actualización de los precios de mercado.

Para desarrollar esta evaluación, se estimaron los beneficios futuros bajo un escenario que considera la utilización de sólo los recursos superficiales para los 12 sectores de riego definidos en el valle de Petorca (ver figura 4-2). Con este modelo se determinó que la superficie beneficiada con 85% de riego es de 4.502 ha. Considerando este valor, se procedió a obtener los flujos de caja de la situación con proyecto para un horizonte de evaluación de 30 años.

A partir de la diferencia entre los márgenes netos totales para los sectores de riego definidos en el valle de Petorca, entre la situación futura o con proyecto y la situación actual optimizada, se obtuvieron los beneficios totales del proyecto.

Por otro lado, los costos del proyecto se refieren a la inversión requerida para la construcción de las obras del embalse Las Palmas, considerando una actualización de las bases económicas para la estimación de estos. Además, se incluyen los costos de expropiaciones de acuerdo a las superficies estimadas en el presente estudio y las medidas de compensación ambiental.

Considerando los beneficios y costos señalados anteriormente, se calcularon los indicadores de rentabilidad VAN y TIR del proyecto de embalses en el valle de Petorca. Conforme a lo recomendado por Mideplan, la evaluación económica se realizó para una tasa de descuento del 6%.

De acuerdo con lo señalado, los indicadores económicos del proyecto corresponden a un VAN de \$23.372 millones y una TIR de 7,3%, con lo cual se afirma que el proyecto es rentable.

#### **4.3.5 Conclusiones contenidas en el informe de ingeniería de detalles**

De acuerdo al proyecto planteado para el sistema de riego en el valle de Petorca, conformado por los embalses Las Palmas y Pedernal, así como el canal alimentador que permite el trasvase de las aguas del río Petorca hacia el estero Las Palmas, el informe estudiado concluye que la capacidad de estos embalses cumple con el objetivo de ampliar la zona con seguridad de riego de 85%, siendo parte fundamental para el desarrollo de la agricultura en el valle.

Los resultados de la evaluación económica realizada en este informe indican que el proyecto es rentable, por lo cual, está calificado para ser desarrollado mediante inversión pública. Cabe destacar que, durante el desarrollo de esta evaluación, se menciona que los indicadores de rentabilidad obtenidos son responsabilidad de la DOH, dado que esta institución fue la encargada de estimar los beneficios de la situación actual optimizada.

En atención al limitado alcance de las prospecciones consideradas en el contrato definido por la DOH en el estudio de ingeniería de detalles, y con el objetivo de asegurar la calidad en la construcción del proyecto y acotar las inversiones necesarias en obras, el Consultor ha propuesto la ejecución de prospecciones adicionales en áreas de interés del proyecto, que permitan aportar con mayores antecedentes para asegurar el diseño definitivo de las obras.

Finalmente, en el estudio analizado en esta sección se considera imprescindible desarrollar dos aspectos que no formaron parte de la consultoría. El primero de ellos, guarda relación con la determinación de detalle de las superficies y beneficios asociados al proyecto. El segundo, es que queda en evidencia la falta de optimización del tamaño del embalse frente a los beneficios asociados al área servida, lo cual ha sido una permanente observación del Consultor, por cuanto la proposición del tamaño del proyecto no fue establecida a través de una metodología que permitiera optimizar este aspecto con antecedentes técnico económicos objetivos.

## 5 Análisis del proceso de Evaluación Ambiental del proyecto

En el presente capítulo se llevará a cabo un análisis del proceso de evaluación ambiental del proyecto embalse Las Palmas, revisando los documentos y estudios desarrollados referentes al tema, estudiando las medidas ambientales propuestas por el titular e identificando la calidad y rigurosidad de estas.

En primer lugar, se presentará la metodología de evaluación ambiental de proyectos en el país, aspecto detallado en el documento titulado “Fortalecimiento de la Evaluación Ambiental de Proyectos en el SEIA”, correspondiente a un taller dictado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en el año 2016.

El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) es un instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo que permite a la autoridad determinar antes de la ejecución de un proyecto si este:

- Cumple con la legislación ambiental vigente
- Se hace cargo de los potenciales impactos ambientales significativos

Este instrumento es administrado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y se rige por lo establecido en la Ley N° 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente y el Decreto Supremo, DS N° 40 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación Ambiental (RSEIA).

Un proyecto debe someterse al SEIA si este es susceptible de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, de acuerdo a lo establecido en el Artículo 10 de la Ley N° 19.300. El proyecto en estudio, debe ingresar al SEIA de acuerdo al siguiente literal:

- Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de agua.

Para el proyecto en análisis, se señala que las presas cuyo muro tenga una altura igual o superior a cinco metros (5 m) o que generen un embalse con una capacidad igual o superior a cincuenta mil metros cúbicos (50.000 m<sup>3</sup>), deben someterse al SEIA. Ambas condiciones se cumplen para el embalse Las Palmas, ya que contempla un muro de setenta metros (70 m) de altura, y un volumen de embalse de cincuenta y cinco millones de metros cúbicos (55.000.000 m<sup>3</sup>). Además, el proyecto corresponde a un embalse clasificado como obra mayor de acuerdo a lo establecido por el Art. 294 del Código de Aguas. Por ende, el proyecto en estudio debe ser sometido a una evaluación en el SEIA de acuerdo a sus características.

Un proyecto se debe evaluar mediante un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) si genera o presenta a lo menos uno de los efectos, características o circunstancias mencionados en el Artículo 11 de la Ley N° 19.300, los que se indican a continuación:

- a) Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos
- b) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire
- c) Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos
- d) Localización en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y glaciares, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar
- e) Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona
- f) Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural

Aquellos elementos que dan origen a la necesidad de efectuar un EIA en este proyecto, son los establecidos en la letra b), c) y f) de la Ley. Por lo tanto, se concluye que el proyecto Embalse de regadío Las Palmas, debe ingresar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental bajo la modalidad de Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Posteriormente, el SEA debe evaluar el EIA realizado y emitir informes respecto a los contenidos del mismo. Si se encuentran errores, omisiones o inexactitudes en el desarrollo de este estudio, el SEA debe redactar el Informe Consolidado de Solicitud de Aclaraciones, Rectificaciones y/o Ampliaciones (ICSARA), el cual debe ser respondido por el titular del proyecto en un documento llamado Adenda.

Dentro del proceso de evaluación ambiental del proyecto embalse Las Palmas, se emitieron 3 Adendas, en las cuales se respondieron las principales inquietudes y dudas sobre el estudio ambiental realizado.

Posteriormente, se redacta el Informe Consolidado de Evaluación (ICE), que corresponde a un documento consolidado de los antecedentes del proceso de evaluación ambiental del proyecto. Este informe contribuye a la elaboración del acto administrativo terminal del proceso, que es la Resolución de Calificación Ambiental (RCA). Además, el ICE contiene la recomendación del SEA respecto a la aprobación o rechazo del EIA del proyecto.

Finalmente, cuando el SEA considera que el titular ha respondido todas las observaciones de manera satisfactoria, se presenta la RCA, acto administrativo que da término al procedimiento de evaluación ambiental, y mediante el cual, se califica ambientalmente el proyecto sometido al SEIA.

En el caso del Embalse Las Palmas, se emitió la RCA el 19 de diciembre del 2016, donde se calificó favorablemente el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto, identificada oficialmente como RCA N° 413/2016.

## **5.1 Revisión de documentación ambiental del proyecto**

En primer lugar, se analizará el Estudio de Impacto Ambiental del Embalse Las Palmas presentado por el MOP, el cual ingresó al SEIA con fecha 16 de marzo de 2015.

El área de influencia es definida como “El área o espacio geográfico, cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias del artículo 11 de la Ley, o bien para justificar la inexistencia de dichos efectos, características o circunstancias.”

El objetivo del capítulo 3 del EIA es determinar y justificar el área de influencia del proyecto para cada elemento del medio ambiente, tomando en consideración los impactos ambientales potencialmente significativos que se generarán sobre estos y el espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras y/o acciones del proyecto.

Para esto, en primer lugar, se identifican las actividades del proyecto susceptibles de causar impactos ambientales. Luego, se establecen las relaciones de causalidad entre dichas actividades con los componentes y factores ambientales susceptibles de ser impactados. Posteriormente, se determina el área de influencia para cada uno de los factores del medio ambiente que se verán afectados por la ejecución del proyecto, también se lleva a cabo la estimación de la zona o extensión en la cual se manifiestan los efectos potenciales.

En la siguiente tabla se presenta un resumen del área de influencia establecida por el titular para el proyecto embalse Las Palmas.

**Tabla 5-1: Resumen de áreas de influencia según componente ambiental.**

Medio	Componente	Factor Ambiental	Área de influencia
Medio físico	Atmósfera	Calidad del aire	5 km alrededor del área de faenas asociadas a la ejecución de las obras del proyecto.
		Ruido	Sectores poblados cercanos al área de faenas del proyecto.
	Litósfera	Riesgos naturales	Áreas intervenidas para la construcción de caminos de reposición y canal alimentador.
	Hidrosfera	Hidrología	Cursos de agua afectados directamente por las obras. Área de inundación, Estero Las Palmas hasta confluencia con Río Petorca. Río Petorca en sector bocatoma.
Calidad del agua		Cursos de agua afectados directamente por las obras. Área de inundación, Estero Las Palmas hasta confluencia con Río Petorca. Río Petorca en sector bocatoma.	
Ecosistemas terrestres	Suelo	Capacidad de uso del suelo	Sector ocupado por obras permanentes del embalse, canal alimentador y área de inundación (326,1 ha).
	Flora y vegetación terrestre	Formaciones vegetacionales, especies de flora. Hongos	Sector ocupado por obras permanentes del embalse, canal alimentador y área de inundación (326,1 ha). Sectores de tránsito de maquinaria.

	Fauna terrestre	Fauna	Sector ocupado por obras permanentes del embalse, canal alimentador y área de inundación (326,1 ha). Sectores de tránsito de maquinaria. Buffer aledaños a estas obras, considerando características de movilidad de las especies.
Ecosistemas acuáticos continentales	Biota acuática	Fauna	Cursos de agua afectados directamente por las obras. Área de inundación, Estero Las Palmas hasta confluencia con Río Petorca. Río Petorca en sector bocATOMA.
		Vegetación acuática	Cursos de agua afectados directamente por las obras. Área de inundación, Estero Las Palmas hasta confluencia con Río Petorca. Río Petorca en sector bocATOMA.
Medio Humano		Dimensión geográfica	Área de intervención directa de las obras y zonas pobladas aledañas al proyecto (Palquico, Las Palmas, Frutillar, Chicolco, Petorca).
		Dimensión bienestar social básico	Área de inundación y caminos de reposición.
		Dimensión socioeconómica	Área de intervención directa de las obras y zona de inundación (326,1 ha).
Elementos Naturales y Artificiales del Patrimonio Cultural	Patrimonio histórico y cultural	Arqueología	Área de emplazamiento de las obras donde se registran elementos de carácter patrimonial. Buffer de 120 m alrededor de las intervenciones areales (zona de inundación, obras muro de presa, rápido de descarga, etc.). Buffer de 65 m a cada lado del eje del trazado de las obras lineales (canal alimentador y caminos de reposición).
Paisaje	Recursos visuales	Calidad visual	Área de intervención directa del proyecto, buffer de 500 m alrededor de las obras permanentes del proyecto (embalse, canal alimentador).
Atractivos Naturales y Culturales	Turismo	Atractivos turísticos	Área de intervención directa de las obras y zonas pobladas aledañas al proyecto (Palquico, Las Palmas, Frutillar, Chicolco, Petorca).

*Adaptado de Estudio de Impacto Ambiental Embalse de Regadío Las Palmas. Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).*

Luego, se debe realizar una caracterización del área de influencia definida para el proyecto, la cual debe considerar una descripción y análisis de los diversos componentes ambientales presentes en esta. Este proceso se lleva a cabo en el capítulo 4 del EIA, donde se establece la línea de base del proyecto, a objeto de evaluar posteriormente los impactos que pudieran generarse sobre los elementos del medio ambiente.

En el capítulo 5 del EIA, “Predicción y evaluación de impactos ambientales” se lleva a cabo la identificación de los impactos ambientales relacionados a aquellas obras o actividades del proyecto susceptibles de causar impactos, a partir de los antecedentes e información indicada en los capítulos previos.

Las zonas en las cuales el proyecto considerará acciones y donde además se reconoce la existencia de elementos con valor ambiental, fueron denominadas Zonas de Probabilidad de Impacto (ZPI) y se ubican específicamente en el área de influencia del proyecto. En estas zonas se calificaron los impactos ambientales, y en función de su magnitud, se definieron las medidas de mitigación, compensación y reparación.

A continuación, se detallan los principales impactos para cada uno de los componentes ambientales abordados en este estudio.

#### 1. Medio físico:

- Calidad del aire: deterioro de la calidad del aire debido a emisiones atmosféricas provocadas por las actividades asociadas a faenas constructivas, principalmente relacionadas al incremento de material particulado (MP10) y gases de combustión en el aire.
- Ruido: aumento de los niveles de ruido durante la construcción del embalse, debido a la operación de equipos de movimiento de tierras, transporte de camiones, tronaduras, etc.
- Geomorfología: esta componente se podría ver afectada por la extracción de áridos, la construcción de vías y del canal alimentador. La principal alteración corresponde a un incremento en la inestabilidad de laderas.
- Suelos: se produce pérdida de suelo, correspondiente a la remoción o inundación de los horizontes de suelo producto de la ocupación del terreno por el emplazamiento de las obras. Esto también se asocia a la intensificación de procesos erosivos, derivados de las actividades constructivas en el lecho del estero Las Palmas. Otro impacto es el deterioro en las propiedades físicas del suelo debido a las actividades constructivas contempladas en el proyecto, como roce y escarpe del terreno, excavaciones para la construcción del embalse, etc.
- Hidrología e hidrografía: deterioro de la mecánica fluvial producto de la construcción de las obras. Sin embargo, en la fase de operación del proyecto se prevé un impacto positivo asociado a este factor, relacionado con un incremento en la regularidad de la escorrentía superficial en el estero Las Palmas y el río Petorca.
- Calidad del agua: deterioro en la calidad de aguas superficiales producto de remoción de materiales, se prevé un aumento de los sólidos suspendidos totales y de la turbiedad del agua.

#### 2. Ecosistemas terrestres:

- Flora y vegetación terrestre: pérdida de coberturas de las unidades de vegetación presentes en el área de intervención del proyecto y pérdida de individuos en categoría de conservación.
- Fauna terrestre: durante la fase de construcción del proyecto se llevarán a cabo actividades que perturbarán las especies de fauna terrestre, de manera directa, a través de la pérdida de hábitats y la mortalidad de los individuos, y de manera indirecta, por la generación de ruido y por la presencia humana. Durante la fase de operación, se prevé una fragmentación del hábitat para vertebrados terrestres debido al efecto barrera, producto de la construcción del canal y de los caminos de reposición.

### 3. Ecosistemas acuáticos continentales:

- Flora y fauna acuática: deterioro del hábitat acuático producto del cambio de caudales y pérdida de ejemplares de fauna íctica, debido a las obras de desvío y trabajos realizados directamente sobre los cauces, tales como, excavaciones, remoción de fondo y paso de maquinaria. Durante la fase de construcción, se espera la alteración de la calidad del agua en el Estero Las Palmas producto de las obras que implican remoción de materiales en los cursos de agua. En la fase de operación se prevé un impacto positivo, asociado a la preservación del hábitat acuático por regulación de caudales, esto debido a que en la actualidad la flora y fauna acuática del estero Las Palmas se presenta esporádicamente, pues los cursos de agua no presentan escurrimiento superficial durante gran parte del año, por lo que la presencia del embalse y el establecimiento de un caudal ecológico, permitirá dar continuidad al desarrollo de la biota acuática en la zona.

### 4. Medio humano:

- Pérdida de vivienda debido a expropiaciones.
- Pérdida de terrenos de uso agropecuario debido a expropiaciones.
- Disminución de la calidad de vida en sectores poblados aledaños por aumento del flujo vehicular, molestias por ruido y material particulado.
- Aumento de riesgo de accidente de tránsito en rutas E-37-D y E-315 por mayor flujo vehicular.
- Aumento de tiempos de viaje por desvíos del tránsito y salidas vehiculares asociadas a las obras del proyecto.
- Deterioro de la conectividad de la población de Las Palmas debido a intervención y trabajos en camino de acceso a localidad.
- Aumento de problemas sociales por la llegada de población foránea y/o trabajadores.
- Alteración de actividades ganaderas y de pastoreo debido a las obras y actividades en la construcción del proyecto.



También se esperan impactos positivos en el medio humano. En la fase de construcción del embalse se prevé un aumento en la posibilidad de empleo para la población local debido a la ejecución de las obras y actividades del proyecto. En la fase de operación, el impacto positivo está asociado al aumento de seguridad de riego y disponibilidad hídrica para los regantes de la zona.

5. Elementos naturales y artificiales del patrimonio cultural:

- Existe un deterioro de hallazgos y sitios arqueológicos debido a la construcción del proyecto. En el área de inundación del embalse, se identificaron 31 elementos patrimoniales, de los cuales 13 corresponden a hallazgos aislados y 19 a sitios de valor patrimonial (histórico, religioso y arqueológico), para los cuales se propone un plan de rescate. En el trazado del canal alimentador se identificaron 5 hallazgos aislados y 13 sitios con valor arqueológico y patrimonial. Lo mismo en los caminos de reposición, donde se identificaron 4 elementos patrimoniales y 1 hallazgo.

6. Uso del territorio y planificación territorial:

- Se realizará un cambio en el trazado de las rutas E-315 y E-37-D, ya que estas se verán afectadas en ciertos tramos debido a la inundación. Esta situación implica cortes de tránsito, demora en los tiempos de traslado, entre otras cuestiones.

7. Paisaje:

- Se prevé un deterioro en la calidad visual del paisaje producto de la materialización de las obras del proyecto.

Luego, se llevó a cabo la evaluación y valoración de los impactos identificados. Para esto se realizó el cálculo del Índice de Calificación Ambiental (ICA) a cada una de las interacciones producidas entre las acciones identificadas en el proyecto y los componentes ambientales relativos a las Zonas de Probabilidad de Impactos. Este índice refleja las características cuantitativas y cualitativas del impacto y se obtiene mediante la ponderación de distintos parámetros asociados a estos, entre ellos: el carácter (negativo o positivo), la probabilidad de ocurrencia, intensidad, extensión, duración, desarrollo y reversibilidad del impacto.

Se obtiene el valor del ICA de los impactos ambientales identificados, para posteriormente clasificarlos en tres rangos, de acuerdo a la siguiente escala:

**Tabla 5-2: Rangos de valor del Índice de Calificación Ambiental (ICA)**

<b>Rango</b>	<b>Valor de ICA</b>
Bajo	0 – 33
Medio	34 – 66
Alto	67 – 100

*Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).*

El resultado de la evaluación permitió jerarquizar los impactos ambientales, y con ello, definir las medidas ambientales clasificadas en medidas de mitigación, reparación o compensación según corresponda.

A continuación, se presenta un resumen de los impactos ambientales relevantes del proyecto embalse Las Palmas, los que justifican la elaboración del EIA. En base a estos impactos se desarrolla el plan de manejo ambiental, que será abordado más adelante.

**Tabla 5-3: Impactos negativos altos en fase de construcción.**

Componente	Impacto	Zona de Probabilidad de Impacto (ZPI)	ICA
Flora y vegetación terrestre	Pérdida de coberturas de las unidades de vegetación presentes en el área de intervención del proyecto	Zona de expropiaciones	-70
		Zona de inundación	-73
		Canal alimentador	-91
	Pérdida de individuos de especies en categoría de conservación en el área de influencia del proyecto	Zona de inundación	-81
		Canal alimentador	-100
	Fauna terrestre	Pérdida de hábitat	Zona de inundación
Canal alimentador			-82
Camino de reposición			-82
Asentamientos humanos	Pérdida de vivienda debido a expropiaciones	Zona de expropiaciones	-76
	Alteración de actividades ganaderas debido a las obras y actividades en la construcción del proyecto	Canal alimentador	-79

*Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).*

**Tabla 5-4: Impactos negativos medios en fase de construcción.**

Componente	Impacto	Zona de Probabilidad de Impacto (ZPI)	ICA
Calidad del aire	Incremento en las concentraciones de material particulado en el aire	Zona de obras del embalse	-43
		Localidad de Palquico	-46

Ruido y vibraciones	Aumento del nivel sonoro basal por construcción del embalse	Localidad de Palquico	-51
		Canal alimentador	-51
		Camino de reposición	-51
Geomorfología	Aumento en la ocurrencia de riesgos naturales producto de remociones en masa	Canal alimentador	-34
Edafología	Pérdida de suelo	Zona de obras del embalse	-35
		Canal alimentador	-35
		Camino de reposición	-35
	Deterioro de las propiedades físicas del suelo	Zona de obras del embalse	-35
		Camino de reposición	-35
Hidrografía e hidrología	Deterioro de la mecánica fluvial producto de la ejecución de las obras	Estero Las Palmas	-64
Flora y vegetación terrestre	Pérdida de individuos de especies en categoría de conservación en el área de influencia del proyecto	Zona de expropiaciones	-65
		Zona de obras del embalse	-61
Fauna terrestre	Generación de nuevos hábitats para la avifauna acuática	Zona de inundación	-49
	Perturbación de la avifauna por ruido y vibraciones	Zona de obras del embalse	-63
Asentamientos humanos	Pérdida de terrenos de uso agropecuario debido a expropiaciones	Zona de expropiaciones	-64
		Camino de reposición	-64
	Alteración de actividades ganaderas debido a las obras y actividades en la construcción del proyecto	Camino de reposición	-49
Patrimonio arqueológico y cultural	Deterioro hallazgos y sitios arqueológicos	Canal alimentador	-35
Paisaje y estética	Deterioro de la calidad visual del paisaje	Zonas de obras del embalse	-34
		Zona de muro	-53

		Canal alimentador	-42
--	--	-------------------	-----

Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).

**Tabla 5-5: Impactos negativos altos en fase de operación.**

Componente	Impacto	Zona de Probabilidad de Impacto (ZPI)	ICA
Asentamientos humanos	Alteración de actividades de pastoreo debido a la presencia del canal alimentador	Canal alimentador	-83

Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).

**Tabla 5-6: Impactos negativos medios en fase de operación.**

Componente	Impacto	Zona de Probabilidad de Impacto (ZPI)	ICA
Fauna terrestre	Fragmentación de hábitat para vertebrados terrestres debido a efecto barrera	Canal alimentador	-49
	Mortalidad incidental de fauna nativa	Canal alimentador	-66
		Caminos de reposición	-66

Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).

Cabe destacar que también se identificaron impactos ambientales negativos con un valor de ICA que los sitúa en el rango de impactos negativos bajos, pero en este trabajo no se presentarán en detalle, pues no influyen en la elaboración de los planes ambientales propuestos para el proyecto.

## 5.2 Estudio de planes ambientales propuestos

A continuación, se presenta el Plan de Medidas Ambientales propuesto por el titular, el que define las medidas de mitigación, restauración y compensación sobre los impactos ambientales relevantes generados por la materialización del proyecto embalse Las Palmas, identificados en la sección anterior.

El plan de medidas de mitigación tiene por finalidad evitar o disminuir la magnitud de los impactos ambientales negativos identificados en el EIA. Las medidas de mitigación propuestas para las distintas componentes del proyecto son las siguientes:

**Tabla 5-7: Plan de medidas de mitigación.**

Componente	Impacto ambiental asociado	Medidas de mitigación
Ruido y vibraciones	Aumento del nivel sonoro basal por construcción del embalse	- Barrera acústica perimetral en campamento
Flora y vegetación terrestre	Pérdida de coberturas de las unidades de vegetación presentes en el área de intervención del proyecto	- Resguardo de la vegetación terrestre - Capacitación a los trabajadores

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prohibición de corte y quema de vegetación nativa</li> <li>- Disposición de señaléticas y afiches</li> <li>- Plan de rescate de la diversidad biológica</li> </ul>
Fauna terrestre	Pérdida de hábitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rescate y relocalización de individuos</li> <li>- Capacitación de trabajadores</li> <li>- Prohibición de caza y captura de especies</li> <li>- Implementación de señalética y afiches</li> </ul>
Elementos del patrimonio cultural	Deterioro de hallazgos y sitios arqueológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traslado de petroglifos</li> <li>- Cerco perimetral e instalación de señalética en sitios arqueológicos</li> </ul>
Asentamientos humanos	Alteración de actividades ganaderas debido a las obras y actividades en la construcción del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementación de pasos de animales</li> <li>- Mantenimiento de pasos de animales (operación)</li> </ul>

*Adaptado de Resolución de Calificación Ambiental "Embalse de Regadío Las Palmas". Fuente: Comisión de Evaluación Región de Valparaíso (2016).*

Las medidas de compensación tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente al efecto producido por el impacto ambiental identificado. Este plan incluirá el reemplazo o sustitución de los recursos naturales o elementos del medio ambiente afectados, por otros de similares características, clase, naturaleza y calidad.

**Tabla 5-8: Medidas de compensación**

<b>Componente</b>	<b>Impacto ambiental asociado</b>	<b>Medidas de compensación</b>
Flora y vegetación terrestre	Pérdida de individuos de especies en categoría de conservación en el área de influencia del proyecto	- Compensación de individuos en categoría de conservación.

*Adaptado de Estudio de Impacto Ambiental Embalse de Regadío Las Palmas. Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).*

Las especies en categoría de conservación que son consideradas en esta medida de compensación son la Palma chilena (*Jubaea chilensis*) y el Guayacán (*Porlieria chilensis*). La medida consiste en un enriquecimiento de 1,34 ha con 30 ejemplares de Palma chilena y 15,5 ha con 1550 individuos de Guayacán.

Por otra parte, se define el Plan de Manejo Social, el que contempla la aplicación de 7 sub-planes que cubren, a través de sus medidas, el conjunto de impactos identificados sobre el componente socioeconómico cultural. Estos se presentan a continuación:

- i. Sub-plan de empleo temporal: se desarrolla en paralelo a la fase de construcción, este incluye la identificación de la mano de obra disponible y la demanda de empleos del proyecto.
- ii. Sub-plan apoyo al proceso expropiatorio: se contempla un programa de soluciones a problemas legales que consideran estudios y regularización de títulos.
- iii. Sub-plan de relocalización: incluye un programa de soluciones habitacionales según las necesidad y situación de tenencia, así como la habilitación de servicios básicos en las nuevas viviendas que se establezcan. Además, se incluye un programa de asistencia al traslado de familias.
- iv. Sub-plan de desarrollo social: tiene por objetivo general mitigar el impacto generado por las acciones de reasentamiento en la comunidad. Incluye programas de apoyo e inserción social que contempla generación de un vínculo con el nuevo territorio y apoyo psicológico a los afectados.
- v. Sub-plan de restablecimiento y desarrollo productivo: incluye un programa de restablecimiento productivo que considera regularización de derechos de agua, habilitación y apoyo para consolidación de huerto familiar. Además de un programa de desarrollo pecuario, que considera la construcción de pasarelas de paso de ganado sobre el canal alimentador y la coordinación para no alterar la actividad de la veranada.
- vi. Sub-plan de seguridad vial: tiene por objetivo informar a la población circundante a las obras del proyecto de la habilitación de accesos temporales; sobre las vías de acceso a las zonas de trabajo y sus respectivos horarios para el movimiento de vehículos y maquinaria; así como también dar a conocer la programación de tráfico y transportes de materiales, de manera de respetar las costumbres locales en cuanto a desplazamiento.
- vii. Sub-plan de información: tiene por objetivo mantener a la comunidad informada sobre las características del proyecto, los avances en el desarrollo de este y las implicancias o efectos que tiene para las comunidades. Este plan se traza dentro de la estrategia de participación ciudadana de la etapa de sometimiento a evaluación del estudio.

Es preciso señalar que en este proyecto no se proponen medidas de restauración o reparación, en ninguna de sus fases.

Por otra parte, se establece un plan de prevención de contingencias y emergencias, el que contiene las medidas de prevención que se implementarán en la fase de construcción, para la ejecución de las obras civiles. Estas incluyen el manejo de combustibles, residuos peligrosos y efluentes asociados al proyecto. También se incluyen

las acciones a implementar en caso de que se produzca una emergencia. El objetivo de este plan es evitar, controlar o minimizar la generación de emergencias y sus efectos sobre el medio ambiente y la población, dando énfasis a la forma en que se deben afrontar determinadas situaciones y circunstancias, con el fin de prevenir la ocurrencia de efectos ambientales no deseados producto de la ejecución de las faenas.

Luego de definir las medidas ambientales que se aplicarán en el proyecto, se debe implementar un sistema de seguimiento y control ambiental que permita chequear la evolución de la línea base, el cumplimiento de las medidas establecidas en el EIA y lo indicado en la normativa ambiental aplicable. Por lo mismo, se elabora el plan de seguimiento de variables ambientales relevantes, cuyo objetivo es asegurar que estas variables evolucionen según lo establecido, luego de la adopción de las medidas tendientes a minimizar o evitar los impactos ambientales identificados.

Este plan contempla dos grandes tipos de acciones: inspección ambiental y monitoreo, las que dan origen al Plan de Inspección Ambiental (PIA) y el Plan de Manejo Ambiental (PMA). Los instrumentos diseñados para el seguimiento ambiental del proyecto corresponden a informes ambientales, a través de los cuales el contratista informará al MOP el resultado del PIA y del PMA de forma periódica.

El primero de estos planes reúne las acciones que permiten verificar el cumplimiento de las medidas del EIA y su Resolución de Calificación Ambiental (RCA), siendo la base de acción que aplicará el titular, a través del contratista, en materias ambientales durante la fase de construcción del proyecto. Los resultados de las inspecciones ambientales deben ser notificados al Inspector Fiscal de la DOH, mediante los informes ambientales señalados previamente.

Por su parte, el monitoreo ambiental guarda relación con los procedimientos de medición, mediante los cuales el contratista verificará el estado de las variables o factores ambientales que lo requieran.

A continuación, se presentan los compromisos ambientales voluntarios propuestos por el titular del proyecto:

- Seguimiento de la operación del vertedero del embalse: su objetivo es medir el caudal liberado, la duración y evolución de las crecidas generadas a través del vertedero del embalse.
- Instalación de estaciones fluviométricas en la cuenca del estero Las Palmas: tiene por objetivo dar un seguimiento al caudal de la cuenca, aguas arriba y aguas abajo del embalse, y en el punto de entrega del caudal ecológico y de las aguas de regadío.
- Plan de perturbación controlada: su propósito es permitir que la fauna terrestre de las áreas afectadas se relocalice por sus propios medios, a través de una perturbación gradual y controlada de su hábitat.
- Cerco en torno a áreas críticas: su objetivo es evitar que la fauna terrestre ingrese a las áreas de instalación de faenas, plantas de materiales, canal alimentador, etc.

- Liberación de un caudal ecológico (o ambiental): se liberará un caudal ambiental voluntario a pie de presa del embalse Las Palmas, que permita mantener un escurrimiento superficial de agua, principalmente en el periodo en que el embalse se encontrará en su etapa de llenado. La determinación del caudal ecológico se rigió por el criterio de mantener a lo menos un 10% del hábitat disponible para las especies ícticas presentes en el estero Las Palmas, obteniendo los siguientes valores.

**Tabla 5-9: Régimen de caudal ecológico propuesto para la operación del embalse Las Palmas (l/s)**

Sector	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Las Palmas	2,2	0,9	2,7	12,4	54,7	85,9	122	103,2	66,1	29,1	14,6	5,2

*Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).*

- Plan de monitoreo de Pozos de Agua Potable Rural (APR): su objetivo es realizar un seguimiento de la calidad de agua en los pozos de APR de Las Palmas y de Palquico.
- Compromisos voluntarios sobre el paisaje: tiene por objetivo contribuir a mitigar el impacto visual sobre el paisaje, mediante la instalación de pantallas vegetales y la restricción a la corta de vegetación.
- Seguimiento sobre patrimonio paleontológico: su objetivo es contribuir al resguardo del patrimonio paleontológico, mediante la supervisión de un especialista paleontólogo en el área del proyecto.

Como comentario final de este capítulo, se debe señalar que el Plan de Medidas Ambientales propuesto para el embalse Las Palmas, en general, resulta adecuado, ya que estas intentan minimizar los efectos de los impactos ambientales relevantes identificados en el estudio realizado. Además, las medidas propuestas abordan prácticamente todos los componentes ambientales que son susceptibles de ser impactados en un proyecto de estas características, tanto en el medio físico como en el componente socio-económico, según lo establecido en el marco teórico (ver sección 2.2).

La principal desventaja del análisis realizado, es la imposibilidad de verificar la efectividad real de las medidas ambientales propuestas desde un trabajo de investigación basado solamente en la revisión de los estudios referentes al tema ambiental. Por lo mismo, se requiere una investigación más profunda, idealmente en terreno, que permita obtener la opinión de la comunidad que está siendo directamente afectada por la ejecución del proyecto sobre las medidas ambientales propuestas, y donde, además, se pueda verificar si estas medidas se están desarrollando de manera efectiva.



## 6 Descripción del proceso de contratación del proyecto

En este capítulo se describe el proceso de contratación del proyecto Embalse Las Palmas. En primer lugar, se revisan los antecedentes referentes a la licitación de este proyecto, y posteriormente, se analiza el procedimiento mediante el cual la empresa extranjera China Harbour Engineering Company (CHEC) se adjudica el contrato de concesión del Embalse Las Palmas.

### 6.1 Periodo de licitación

El proceso de licitación de la obra pública fiscal denominada “Concesión Embalse Las Palmas” se inicia el 17 de julio de 2017, cuando la Dirección General de Obras Públicas (DGOP) aprueba las Bases de Licitación del proyecto, con la finalidad de impulsar este proceso para la ejecución, reparación, conservación y explotación de la obra pública señalada. Este procedimiento se lleva a cabo a través del Sistema de Concesiones.

La licitación de esta obra pública fue internacional, pudiendo participar en ella personas naturales o jurídicas nacionales o extranjeras, consideradas individualmente o dentro de un Grupo Licitante, debiendo cumplir los requisitos exigidos en la Ley de Concesiones y en las Bases de Licitación aprobadas para este proyecto en particular.

Respecto a la conformación de las Bases de Licitación, se pueden identificar tres secciones principales, las que se precisan a continuación.

1. Las bases administrativas establecen los lineamientos del proceso de licitación que se debe llevar a cabo, presentando los antecedentes y objetivos del proyecto, así como, las exigencias que deben seguir aquellos licitantes o grupos licitantes interesados. Además, regulan los procesos que se deben cumplir desde la etapa de postulación hasta el término del proyecto y determinan los métodos de pago, multas y exigencias para el licitante adjudicatario.
2. Las bases técnicas rigen los aspectos técnicos de la etapa de construcción y explotación del embalse, donde se incluyen la elaboración de los proyectos de ingeniería de detalle de las obras, indicando las normas y criterios de diseño a considerar, las obras a realizar y los aspectos a tener en cuenta para la explotación de las obras, como también las consideraciones ambientales respectivas del proyecto. Además, las bases técnicas indican las exigencias mínimas a los protocolos asociados al primer llenado del embalse y el vaciado de emergencia, cuando este último sea requerido. En síntesis, este documento establece los estándares técnicos que deben ser respetados en el desarrollo del proyecto.
3. Las bases económicas establecen la forma en que se resolverá la licitación del proyecto embalse Las Palmas, entre aquellas ofertas determinadas como técnicamente aceptables. Las ofertas económicas que se presenten deben incluir los siguientes factores de licitación:

- Subsidio Fijo a la Construcción (SFC)
- Subsidio Fijo a la Operación (SFO)

Luego, se establece la cota máxima para cada una de estas variables, donde todas aquellas ofertas que no cumplan tales condiciones quedarán descalificadas.

La evaluación de las ofertas económicas se obtiene mediante un puntaje, calculado según:

$$P(i) = -[Cuota SFC + SFO]$$

Donde,

- P(i): Es el puntaje obtenido por el licitante o grupo licitante "i".
- Cuota SFC: Monto solicitado por el licitante o grupo licitante en su oferta económica, el cual corresponde al valor de cada una de las cuotas del Subsidio Fijo a la Construcción.
- SFO: Monto solicitado por el licitante o grupo licitante en su oferta económica, a partir del cual se calcularán las cuotas del Subsidio a la Operación.

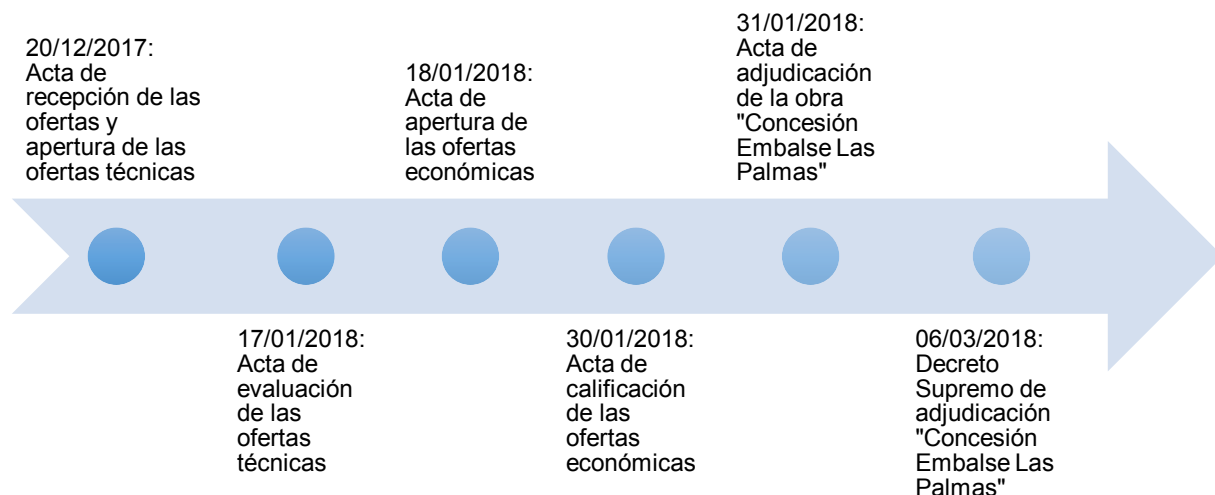
La concesión del embalse Las Palmas se adjudica a aquel licitante o grupo licitante cuya oferta económica obtenga el mayor puntaje. Si se produce un empate de dos o más puntajes, la concesión será adjudicada al licitante o grupo licitante que haya obtenido la mayor puntuación en la oferta técnica.

Cabe señalar que, durante el proceso de licitación del proyecto, se emitieron tres Circulares Aclaratorias, en las cuales se efectúan aclaraciones, rectificaciones y adiciones a las Bases de Licitación del embalse Las Palmas. La última de ellas fue aprobada el 5 de diciembre de 2017.

De acuerdo a los antecedentes recabados, son 22 empresas las que compran las Bases de Licitación del proyecto Embalse Las Palmas, tanto nacionales como extranjeras, entre ellas, obviamente se encuentra la empresa China Harbour Engineering Company Ltd., quien resultó ser el adjudicatario de la concesión y quien actualmente se encuentra desarrollando el proyecto.

## 6.2 Adjudicación del contrato

A continuación, se lleva a cabo una revisión de forma cronológica del proceso de adjudicación del contrato de concesión del embalse Las Palmas. En la siguiente ilustración se pueden apreciar los hitos más importantes que forman parte de este proceso.



**Figura 6-1: Línea de tiempo del proceso de adjudicación del contrato.**

*Fuente: Elaboración propia.*

En primer lugar, el 20 de diciembre del 2017 el MOP emite el acta de recepción de las ofertas y apertura de las ofertas técnicas de la licitación denominada “Concesión Embalse Las Palmas”, la cual se ejecutará por el Sistema de Concesiones.

En este documento se indican los licitantes y/o grupos licitantes que presentaron ofertas técnicas sobre este proyecto. Se identifican 5 grupos licitantes, señalados a continuación:

- CONPAX – BELFI – ICAFAL
- Consorcio BME
- Consorcio Sacyr
- Acciona Concesiones Chile Limitada
- China Harbour Engineering Company LTD.

De acuerdo con el documento, todos los grupos licitantes cumplen con lo establecido en las Bases de Licitación respecto a la presentación de las ofertas técnicas.

Posteriormente, con fecha 17 de enero de 2018, se emite el acta de evaluación de las ofertas técnicas, en el cual la comisión de evaluación califica las distintas ofertas presentadas por los grupos licitantes. La evaluación final para cada licitante se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla 6-1: Evaluación de las ofertas técnicas.**

Licitante/Grupo Licitante	Nota final
CONPAX – BELFI – ICAFAL	5,4

Consortio BME	5,2
Consortio Sacyr	4,7
Acciona Concesiones Chile Limitada	5,1
China Harbour Engineering Company	5,0

*Fuente: Dirección General de Obras Públicas (2018).*

Cabe destacar, que la comisión de evaluación designada aprobó la totalidad de las ofertas técnicas presentadas para esta concesión, es decir, todas las ofertas mostradas en la tabla anterior son declaradas técnicamente aceptables.

Luego, el 18 de enero de 2018 se efectuó la apertura de las ofertas económicas de los grupos licitantes ofertantes para la concesión Embalse Las Palmas, donde se dan a conocer los valores propuestos por cada uno de estos, respecto a los factores de licitación considerados en las bases económicas.

Con fecha 30 de enero de 2018, se lleva a cabo la calificación de las ofertas económicas recibidas por la Comisión de Evaluación de Ofertas Económicas, quienes proceden a calcular el puntaje de las ofertas propuestas por los grupos licitantes, atendiendo a los criterios establecidos.

En la tabla siguiente se pueden observar las ofertas económicas de los grupos licitantes interesados, junto al puntaje alcanzado por cada una de ellas

**Tabla 6-2: Evaluación de las ofertas económicas.**

Licitante/Grupo Licitante	Cuota SFC UF	Subsidio Fijo a la Operación (SFO) UF	P(i)= -[Cuota SFC + SFO]
			Puntaje P(i)
CONPAX – BELFI – ICAFAL	526.000	68.000	-594.000
Consortio BME	481.377	56.400	-537.777
Consortio Sacyr	467.619	38.000	-505.619
Acciona Concesiones Chile Limitada	526.000	60.530	-586.530
China Harbour Engineering Company	263.000	91.400	-354.400

*Fuente: Dirección General de Obras Públicas (2018).*

En consecuencia, la comisión de evaluación recomienda adjudicar la obra pública “Concesión Embalse Las Palmas” al licitante China Harbour Engineering Company Ltd. (CHEC). El día 31 de enero de 2018 se emite un acta, en la cual la Dirección General de Obras Públicas declara oficialmente la intención de que la empresa CHEC se adjudique la concesión del proyecto Embalse Las Palmas, ya que esta oferta cumple con todos los requisitos contemplados en las bases de licitación.

Posteriormente, el día 6 de marzo de 2018 se emite el Decreto Supremo de Adjudicación para la concesión de la obra pública fiscal denominada “Concesión Embalse Las Palmas”, en el cual se establece la adjudicación del contrato de concesión para la ejecución, reparación, conservación y explotación de la obra en estudio, al licitante China Harbour Engineering Company Ltd.

El inicio del plazo de concesión se cuenta a partir de la fecha de publicación del Decreto Supremo de Adjudicación del contrato de concesión en el Diario Oficial, de acuerdo a lo establecido en las Bases de Licitación. El plazo definido para la concesión es de 228 meses, a partir del hito de inicio mencionado anteriormente.

Este Decreto Supremo se publica en el Diario Oficial de la República de Chile el 4 de mayo de 2018.

Respecto a la adjudicación del contrato de concesión del Embalse Las Palmas, esta se realizó de acuerdo a lo establecido en las Bases de Licitación del mismo, ya que aquella oferta económica con el mayor puntaje es quien resultó triunfadora. Sin embargo, no deja de llamar la atención la gran diferencia entre las ofertas del licitante adjudicatario y los otros grupos licitantes participantes, especialmente en el SFC, donde la oferta de CHEC es considerablemente menor a las otras (ver Tabla 6-2).

## **7 Análisis de la relación con las comunidades en el proyecto Las Palmas**

En este capítulo se hace un análisis del contexto social del proyecto embalse Las Palmas, estudiando la relación con las comunidades aledañas en la puesta en marcha del mismo y analizando los impactos que una obra civil de estas características genera en la población que es afectada por su ejecución. Además, se efectúa una descripción de la situación actual del proyecto, comentando el tipo de relación existente entre la empresa concesionaria y la comunidad afectada.

### **7.1 Antecedentes en la puesta en marcha del proyecto**

Dentro de los antecedentes referentes a la relación del proyecto con la comunidad, nos encontramos con el capítulo XIII del EIA, en el cual se presentan las acciones efectuadas por el titular de manera previa a la presentación del EIA como tal, relacionadas con la estrategia de ciudadanía aplicada en el proyecto.

En dicho capítulo, se señala la metodología utilizada para la realización de las actividades relacionadas con la Participación Ciudadana Anticipada (PAC) del proyecto Embalse de Regadío Las Palmas, con el fin de informar cómo se abordó la relación con la comunidad potencialmente afectada por la ejecución del proyecto.

Por otro lado, se encuentra la Participación Ciudadana Formal, correspondiente a las distintas actividades que lleva a cabo el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), para informar del proyecto y obtener las observaciones por parte de la comunidad que es, o se siente afectada por la ejecución futura del proyecto. Estas observaciones deben ser valoradas al momento de la definición del proyecto por parte de la autoridad ambiental regional.

La implementación de la estrategia de Participación Ciudadana Anticipada (PAC), tiene por objetivo central llevar a cabo un trabajo efectivo con la comunidad, en todas las fases y actividades del estudio del componente social del proyecto, ya sea en el levantamiento de línea de base, evaluación de impactos para la determinación de las medidas de manejo ambiental y proposición de un plan de manejo social.

Se considera como actividades de PAC todo tipo de evento realizado con la comunidad en el marco del desarrollo del EIA o en los estudios de ingeniería realizados por la DOH, de forma previa.

Los objetivos planteados para la PAC anticipada son:

- Sintetizar las actividades y los resultados de las actividades de participación ciudadana realizadas a la fecha de inicio del EIA.
- Obtener la información de línea base asociada a los asentamientos humanos presentes en el área de estudio de fuentes directas.
- Sistematizar las actividades y resultados de los encuentros o talleres de participación en el marco del desarrollo del EIA.

- Desarrollar espacios de diálogo con las partes interesadas identificadas por el proyecto.

Dentro de las actividades de PAC realizadas en el contexto de los estudios de ingeniería, se presentan los resultados de aquellas desarrolladas en el marco del Estudio de Diseño Construcción Sistema de Regadío Valle de Petorca, Región de Valparaíso (2011), correspondiente al estudio de ingeniería de detalles analizado en el acápite 4.3 de la presente memoria. En este, se identificaron y caracterizaron diversos actores relevantes del área de estudio, principalmente dirigentes, en su mayoría pertenecientes a las localidades de Palquico, Frutillar y Las Palmas, además de usuarios de canales que tendrían relación con el proyecto.

Los principales temas que expusieron los entrevistados, organizados bajo agrupaciones de canalistas, regantes, o productores agrícolas, guardan relación con el mejoramiento de la infraestructura de canales, redes de distribución del agua, disponibilidad y gestión del recurso hídrico. Este grupo de actores está de acuerdo con el proyecto en general, ya que consideran que es una necesidad para el desarrollo de su actividad económica.

Aquellos pobladores de las localidades afectadas que no se dedican a la agricultura, no perciben el proyecto de manera positiva en su totalidad. En este grupo se presentan mayores diferencias de opinión, hay desconfianza ante los beneficios para la comunidad en general, y para los pequeños agricultores en particular, además, se evidencia preocupación ante los potenciales impactos negativos del proyecto.

Luego, en el proceso de divulgación del proyecto, se llevaron a cabo 4 reuniones de Participación Ciudadana con las comunidades afectadas por la construcción del embalse. Las tres primeras reuniones se realizaron en el año 2010, estas tenían por objeto, exponer información general del proyecto y recoger inquietudes de la población sobre el desarrollo del mismo. Finalmente, durante el mes de enero del año 2012, se llevó a cabo la última reunión del proceso de Participación Ciudadana considerada en este estudio, cuyo objetivo fue dar a conocer los resultados del diseño definitivo de los embalses, e informar sobre las siguientes etapas que se desarrollarían en el proyecto, entre ellas, el Estudio de Impacto Ambiental.

Como conclusiones del proceso de PAC efectuado en el estudio de ingeniería de detalles, se menciona incredulidad y desconfianza de la comunidad frente al proyecto. Por su parte, la crisis hídrica también se presenta como un obstáculo, pues esta deja de manifiesto la impaciencia en la gente que espera el proyecto.

A continuación, se presenta una imagen del texto analizado, donde se evidencian las afirmaciones realizadas anteriormente.

### XIII.2.1.3 Conclusiones y recomendaciones Estudio de Diseño

Entre las principales conclusiones del proceso de PAC del Estudio de Diseño Construcción Sistema de Regadío Valle de Petorca, Región de Valparaíso, se señala que el principal obstáculo para un óptimo desarrollo de las reuniones lo constituye el factor geográfico con la amplia dispersión territorial de los asentamientos y las largas distancias que separan a unas localidades/asentamientos de otras. Con esta consideración el distrito de Longotoma, el más bajo de la cuenca, es el más distante y por lo tanto tiene mayores dificultades de movilidad. Por consiguiente se recomienda que las nuevas actividades de PAC contemplen 3 centros de reunión: en la parte alta de la cuenca (sector de Chicolco); en la parte media (Pedegua), y finalmente, en la parte baja en Longotoma.

Asimismo, se menciona una incredulidad y desconfianza frente al proyecto, especialmente en periodos eleccionarios. Mientras la crisis hídrica también se presenta como un obstáculo pues deja entrever impaciencia en la gente que espera el proyecto.

**Figura 7-1: Evidencia de las conclusiones del proceso PAC.**

*Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).*

En lo que sigue, se presenta el desarrollo y los resultados de los encuentros y actividades de Participación Ciudadana que forman parte del desarrollo del EIA del proyecto embalse Las Palmas.

Resulta preciso mencionar que las primeras actividades PAC fueron realizadas por la Consultoría POCH (2010-2012), las que tenían por objetivo rescatar las principales aprehensiones respecto al proyecto y los potenciales impactos que visualiza la comunidad, conforme a la información disponible. Para esto, se llevaron a cabo entrevistas con representantes de autoridades y de organizaciones sociales, y se realizó una reunión de participación ciudadana en la localidad de Palquico, donde además se informó a los involucrados de la modificación en la ley ambiental vigente y en la institucionalidad ambiental.

Las principales inquietudes que surgen de las actividades realizadas en el marco de esta consultoría se puntualizan a continuación:

- Existe incertidumbre de parte de la comunidad respecto a la construcción del embalse Las Palmas, en vista de que se han realizado sucesivos estudios de factibilidad en años anteriores que no han tenido como resultado, a juicio de los participantes, ningún avance concreto. Se manifiesta desgaste y molestia en los pobladores, debido a las constantes promesas incumplidas en el sector.



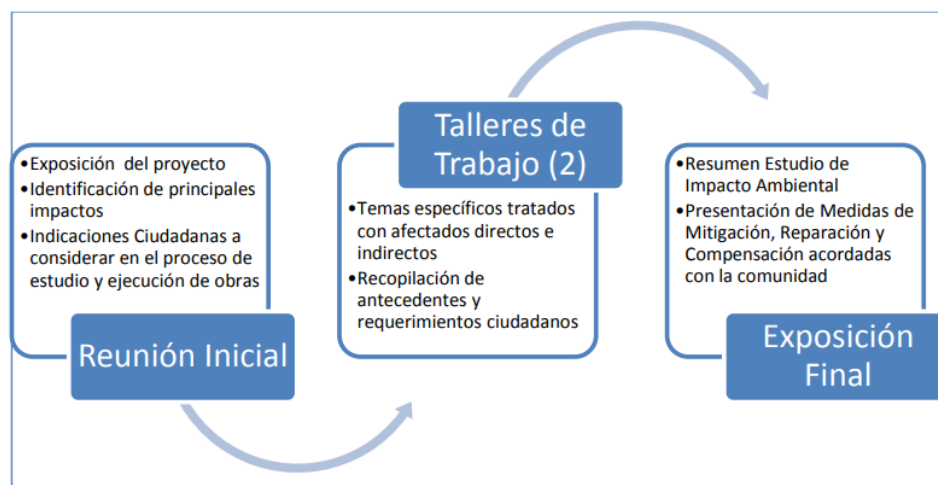
- La situación de extrema sequía que vive la zona implica que la construcción de un embalse sea visto como una solución definitiva a la crítica situación actual. Sin embargo, la imagen de este proyecto se ha visto afectada por los continuos estudios y compromisos realizados con anterioridad que no fueron concretados en el sector, lo que genera desconfianza de parte de la comunidad.
- Se demanda información más detallada y actualizada sobre el proyecto, como por ejemplo, la fecha de inicio de la obra, los plazos de construcción, etc. Se manifestó inquietud por la pronta construcción del embalse Las Palmas, dada la crítica situación de sequía en el sector que afecta directa y firmemente la economía local.
- Otro aspecto relevante guarda relación con la situación de las personas que deberán ser relocalizadas, se enfatiza la necesidad de información precisa y oportuna para aquellos vecinos.
- También se manifiestan preocupaciones respecto a la cobertura y distribución del agua, los beneficios del proyecto para pequeños agricultores, entre otras.

Dentro del Programa de Participación Ciudadana Anticipada desarrollado en el EIA, se contempla la realización de 4 encuentros o talleres con la comunidad del área de influencia del proyecto, de forma de conseguir espacios de diálogo entre las partes interesadas. La primera de estas reuniones tenía por objetivo informar sobre los alcances del proyecto y validar los antecedentes levantados en la línea base del componente social, para detectar desde la perspectiva de la población los potenciales impactos del proyecto.

Posteriormente, se llevaron a cabo dos talleres con la comunidad, donde se recabaron antecedentes, indicaciones y requerimientos de los participantes en mesas de trabajo dispuestas con diferentes enfoques, según el tipo de afectado (directo o indirecto), para trabajar en conjunto respecto a las medidas sociales ligadas a los impactos generados por la expropiación y relocalización.

Finalmente, se considera la realización de una última reunión con la comunidad afectada, para exponer los aspectos más relevantes de la evaluación ambiental y las medidas propuestas sobre el medio humano, de manera de conocer la percepción ciudadana sobre estos y recoger sugerencias para incorporar en el Plan de Manejo Social definitivo.

En la siguiente figura se muestra un esquema de las actividades de Participación Ciudadana Anticipada contempladas en el marco del desarrollo del EIA del embalse Las Palmas.



**Figura 7-2: Esquema de actividades Participación Ciudadana Anticipada (PAC).**

*Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).*

A continuación, se presenta un resumen de las actividades descritas anteriormente.

**Tabla 7-1: Resumen de actividades de Participación Ciudadana Anticipada (PAC).**

<b>Actividad (Fecha)</b>	<b>Participantes (Número de asistentes)</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Inquietudes planteadas por la comunidad</b>
Reunión PAC N°1 (22/05/2013)	Alcalde de Petorca, Sr. Gustavo Valdenegro, funcionarios municipales, vecinos de las localidades de Las Palmas, Frutillar y Palquico, representantes de DOH y de la consultora a cargo. (25)	Informar y aclarar dudas sobre los alcances del EIA. Exponer características técnicas del proyecto y recoger observaciones y consultas del mismo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consulta respecto al procedimiento referido a las expropiaciones.</li> <li>- Relación entre el canal alimentador y el embalse Las Palmas.</li> <li>- Plazos para terminar y evaluar el EIA y plazos para concretar el proyecto.</li> <li>- Incorporar personas que no fueron invitadas y que serían potencialmente afectadas.</li> </ul>
Taller PAC N°2 (06/06/2013)	Principalmente personas que deberán ser expropiadas y/o relocalizadas. Representantes del municipio y de la gobernación de Petorca, dirigentes de organizaciones sociales, vecinos de Las Palmas, Frutillar y Palquico, representantes de DOH	Recabar antecedentes, indicaciones y requerimientos de la comunidad, para elaborar una propuesta que permita mitigar los impactos ambientales y sociales de la ejecución del proyecto	<p>Este taller consistió en trabajos en grupo según la condición de tenencia de los participantes. Luego, se expusieron los resultados del trabajo realizado en cada mesa, enfocados principalmente en los requerimientos y propuestas de las personas afectadas para comenzar a trabajar en la implementación del Plan de Manejo Social. Los principales resultados se refieren a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Decisión de los participantes respecto a la aceptación de la expropiación.</li> </ul>

	y de la consultora a cargo. (22)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas de compensación para aquellos que serán expropiados y afectados de forma indirecta por la construcción del embalse.</li> <li>- Regularización de la situación de aquellos ocupantes sin título.</li> </ul>
Taller PAC N°3 (18/07/2013)	Representantes de la Municipalidad y Gobernación de Petorca, vecinos de los sectores afectados por el proyecto, representantes de la DOH y de la consultora a cargo. (29)	Presentar los avances del denominado Plan de Manejo Social, destinado a minimizar los impactos ambientales y sociales asociados a la ejecución del proyecto. Recabar consultas, aportes y observaciones de la comunidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervención con otros proyectos, como pavimentación del camino de acceso a Las Palmas.</li> <li>- Consulta sobre cómo se desarrollarán las veranadas durante la construcción.</li> <li>- Se propone tener un acercamiento particular con aquellos vecinos que deben ser relocalizados.</li> <li>- Consulta respecto al respeto a los derechos de agua de predios que serán expropiados.</li> </ul>
Taller PAC N°4 (27/08/2013)	Representantes de la consultora, vecinos de las localidades de Las Palmas, Frutillar y Palquico, algunos de ellos expropiados. (22)	Dar a conocer los resultados finales del EIA, los impactos ambientales del proyecto y presentar las medidas de mitigación, reparación y compensación establecidas y el Plan de Manejo Social.	<p>No se generaron mayores inquietudes o comentarios, salvo los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consulta sobre plazos para ejecutar las obras, de modo que no impidan el desarrollo de otros proyectos, especialmente en el sector de Las Palmas.</li> <li>- Consulta sobre tasación de los elementos que encuentren los peritos.</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia.*

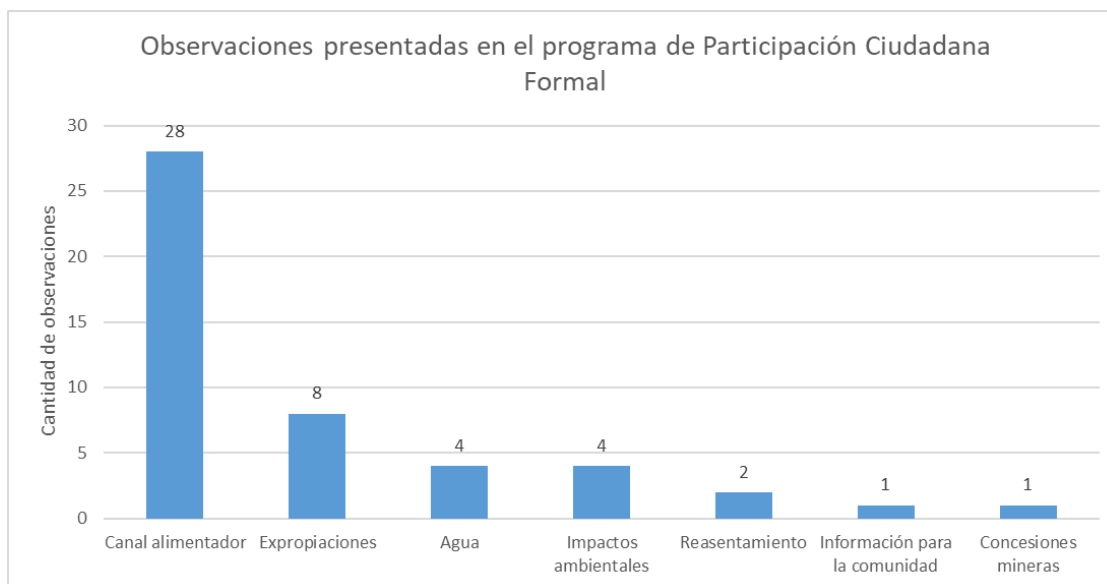
De acuerdo a lo señalado en el EIA, se concluye que el proceso de Participación Ciudadana Anticipada desarrollado en el contexto de la realización de este estudio, se llevó a cabo sin contratiempos y con una comunidad participativa e interesada en que se realice el proyecto. Además, se establece que el Plan de Manejo Social se construyó junto a ellos, en el cual se definen las medidas de mitigación, reparación y/o compensación de los impactos asociados al proyecto, los que afectarán tanto directa como indirectamente a la comunidad de Las Palmas, Palquico y Frutillar Bajo.

Respecto al programa de Participación Ciudadana Formal (dentro del SEIA), la DOH debe dar cumplimiento a lo establecido en la Ley N° 19.300, la cual señala que las organizaciones ciudadanas y las personas naturales afectadas por el proyecto “Embalse de Regadío Las Palmas”, podrán formular observaciones al Estudio de Impacto Ambiental ante el SEA, para lo cual dispondrán de un plazo de sesenta días, contado desde la publicación del extracto del EIA por parte del titular, visado por la autoridad en el Diario Oficial y en un diario de circulación nacional o regional.

Las observaciones que se hubieren recibido dentro del plazo, serán ponderadas en los fundamentos de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto.

En el apartado N° 14 de la RCA se presenta la evaluación técnica de las observaciones ciudadanas realizadas. Se llevaron a cabo 50 observaciones de parte de las comunidades afectadas por el desarrollo del proyecto embalse Las Palmas, de las cuales, 43 fueron declaradas pertinentes, 5 como parcialmente pertinentes y 2 observaciones se evaluaron como no pertinentes.

De forma general, las observaciones declaradas como pertinentes y parcialmente pertinentes se pueden agrupar de la siguiente manera.



**Figura 7-3: Distribución de las observaciones realizadas en el programa de Participación Ciudadana Formal.**

*Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se detallan las inquietudes presentadas por la comunidad en cada uno de los tópicos mostrados en la tabla anterior, y luego, se presenta la respuesta otorgada por la autoridad ambiental en la RCA del proyecto.

La principal preocupación de la comunidad guarda relación con la construcción del canal alimentador, donde se exponen temas como la inestabilidad del terreno donde se emplazará, y los movimientos de tierra necesarios para la construcción del mismo, lo que se puede traducir en derrumbes que afecten a las viviendas aledañas. También existe preocupación respecto a la posibilidad de ocurrencia de un aluvión en la zona, como el vivido en el año 1987, este fenómeno podría generar el desborde del canal, afectando a la comunidad. Por otro lado, se solicita que se precise la información asociada a la ubicación y el tipo de obras consideradas para los cruces de caminos y atravesos de quebradas a realizar.

Uno de los factores que provoca que las observaciones relacionadas al canal alimentador sean las de mayor cantidad, es que se presentan 8 observaciones idénticas, emitidas por habitantes de la población Sabino Moreno, en la cual manifiestan su oposición a la construcción del canal, argumentando que esta zona no es apta para su construcción y representa un peligro para sus viviendas y las vidas humanas de los vecinos.

La respuesta general a estas observaciones señala que es muy improbable que existan fenómenos aluvionales; además, para casos de emergencia, en los cuales el canal vea comprometida su operación, existen distintos desagües que evacuarán las aguas a las quebradas con el fin de evitar que este se rebalse y se ponga en riesgo a la población. Por otra parte, se señala que el canal alimentador se construirá sobre suelo y roca, por lo cual, de acuerdo a las características geológicas del sector, no se encontrarán expuestos a grandes remociones en masa.

Respecto a las expropiaciones, se manifiesta rechazo de parte de algunas personas, ya que existe temor de perder las actividades que sustentan sus familias, mientras que otras solicitan información más detallada respecto a este proceso, por ejemplo, en relación al área de expropiación definida y a los montos a recibir por los expropiados.

Las respuestas a estas observaciones se basan en mencionar que existe el Plan de Reasentamiento y comentar sus principales características, además se indica donde se puede encontrar la información solicitada en cada observación (por ejemplo: Anexo 3, Adenda Complementaria 2, página 12).

Por otra parte, se presentan observaciones relacionadas a los derechos de agua posteriores a la construcción del embalse, donde existen dudas respecto a si el agua embalsada se debe comprar para su utilización en las actividades que los vecinos consideren pertinentes. Además, se plantea si el agua que será trasladada por el canal alimentador aportará algún beneficio a la pequeña agricultura de Petorca, y si los otros sistemas de APRs presentes en el sector se verán afectados por el traslado del agua desde la bocatoma al embalse.

En este caso, se informa que los derechos de aprovechamiento de aguas se mantienen vigentes, donde los propietarios podrán escoger si desean permanecer con sus derechos o destinarlos para ser embalsados y hacer uso posterior de ellos. También se menciona que el único objetivo del agua trasladada por el canal es el llenado del embalse Las Palmas, y que la disponibilidad de agua en los pozos de APR no se verá afectada por el funcionamiento del canal alimentador.

Las observaciones relacionadas a los impactos ambientales asociados a la construcción del embalse, se refieren a la protección de la vegetación presente en el área de influencia del proyecto, y los efectos generados en las casas cercanas al sector de inundación, como el aumento de humedad, lo que implica un aumento en el número de mosquitos existentes en la zona.

La respuesta a estas observaciones señala que durante el levantamiento de la línea base del proyecto se han identificado las especies que serán afectadas por la construcción del embalse, y se han fijado las medidas de compensación respectivas. Por otra parte, se

menciona que en la etapa de operación del proyecto, este será administrado por la Junta de Vigilancia de Aguas del Embalse, por lo que recaerá en ellos la responsabilidad de generar programas de fumigación y/o erradicación de estos vectores.

Respecto al reasentamiento, se manifiesta disconformidad respecto a los sectores donde los vecinos afectados serán reubicados.

Se responde señalando que aquellos que no deseen reasentarse en el sitio propuesto por el titular, deberán ser acompañados por éste en el proceso de obtención del pago de la expropiación y en la búsqueda de vivienda.

Finalmente, se solicita que se cuente con información clara y precisa del proyecto en la Municipalidad de Petorca, con el fin de que la comunidad pueda mantenerse al tanto de los avances de este. Además, se clarifica una situación particular respecto a las concesiones mineras presentes en la zona.

## **7.2 Descripción de la situación actual del proyecto Embalse Las Palmas**

En el marco del desarrollo de este trabajo de título resultó interesante conocer la situación actual del proyecto embalse Las Palmas, analizando la relación de la comunidad con el desarrollo de la obra y el cumplimiento de los planes ambientales propuestos por el titular.

Para esto, se intentó contactar a autoridades de la comuna de Petorca y coordinadores de organizaciones sociales del sector, como juntas de vecinos, comités, etc. En primer lugar, se logró establecer comunicación vía remota con los profesionales encargados de la Oficina de Asuntos Hídricos y Medio Ambiente de la Municipalidad de Petorca, donde se pudo obtener una visión general del proyecto, desde una perspectiva que permite establecer una mirada objetiva de la ejecución de este. Además, se consiguió el contacto de algunas personas, cuya opinión podría ser valiosa para llevar a cabo este trabajo, en particular, la presidenta del Comité Pro-Adelanto Palquico Sueña y Crece, Sra. Pamela Proboste, quien es una de las personas más interesadas en la relación social entre la comunidad y el proyecto embalse Las Palmas.

De acuerdo a los antecedentes recabados en las primeras conversaciones llevadas a cabo vía remota con la dirigente, se evidencia una relación negativa entre la comunidad y la empresa concesionaria CHEC.

Según la dirigente, la construcción del embalse Las Palmas representaba un sueño para la comunidad, quienes habían escuchado esta promesa de parte de las autoridades desde hace varias décadas, ya que esta obra permitiría aportar al desarrollo de la agricultura para los pequeños productores, mejorando la situación económica de la comunidad en general. Por lo mismo, las comunidades aledañas al proyecto estaban ilusionadas con la noticia de la construcción de este embalse.

Sin embargo, la situación ha cambiado radicalmente a la fecha, donde la comunidad se siente abandonada, desgastada y desesperanzada respecto a la ejecución del proyecto, esto debido principalmente a distintas actitudes y situaciones, que ella califica como irregulares, y que se han evidenciado en el desarrollo del mismo, como por ejemplo, falta

de información y transparencia respecto a las actividades y documentos del proyecto, falta de empatía de parte de la empresa con la comunidad, malos tratos de parte de personal de la empresa, entre otros.

En este contexto, y gracias a la constante comunicación con las autoridades de la Municipalidad de Petorca y con la Sra. Pamela Proboste, surgió la posibilidad de realizar una visita a terreno para profundizar el análisis sobre el contexto social en el cual se está ejecutando el proyecto. El objetivo era aportar información a la comunidad sobre el proyecto, como los impactos ambientales identificados en el EIA, los planes ambientales propuestos, etc., con el fin de determinar, de acuerdo a la experiencia de las personas directamente afectadas, si las medidas establecidas por el titular se están cumpliendo de manera adecuada.

Esta visita a terreno se llevó a cabo el día 20 de noviembre de 2021, concretamente a la localidad de Palquico. Para esta visita se contó con la cooperación del profesor guía, Sr. Adolfo Ochoa y la Ingeniera Civil Hidráulica, Srta. María José Arellano.

En la reunión, la dirigente plantea que existe una relación tensa entre la comunidad y la empresa concesionaria, producto de diversos factores que se detallarán a continuación.

En primer lugar, se señala que existe falta de transparencia y carencia de información asociada al proyecto por parte de la empresa. Comentan que la empresa lleva a cabo reuniones con la comunidad de carácter informativo, donde no se permite la participación activa de los asistentes. Además, señalan que el personal encargado de llevar a cabo estas reuniones no es competente para informar acerca de los aspectos relevantes del proyecto, porque no responde, en general, las consultas que se hacen.

Otro factor que se destaca, es que no existen actas oficiales de las reuniones que se han llevado a cabo, por lo que no hay registro de la información que se ha entregado en estas ni de los acuerdos que se han intentado alcanzar. Esto se puede interpretar como una clara deficiencia en el relacionamiento comunitario, ya que puede conducir -y ha conducido según la comunidad- a la entrega de información errónea y a contradicciones respecto a los procesos presentes en la ejecución del proyecto.

Uno de los aspectos que se evidencia es que no existe ningún convenio entre la empresa CHEC y las organizaciones sociales que representan a la comunidad, además, no existe comunicación directa con los vecinos, el acceso a los documentos asociados al proyecto es prácticamente nulo, y no se han llevado a cabo reuniones informativas sobre la RCA del proyecto y los planes ambientales establecidos.

Todos estos elementos han creado desilusión en la gente, la comunidad se siente abandonada y pasada a llevar, la mayoría de ellos se han cansado de reclamar y exigir mejores tratos.

La comunidad plantea que la empresa no tiene responsabilidad social, ya que esta no muestra empatía con la gente afectada por el proyecto y peor aún, se evidencian malos tratos de parte de la empresa para con la comunidad. Por lo tanto, se puede concluir que no existe un compromiso real de parte de la concesionaria por conseguir la licencia social

del proyecto, que le permita ejecutar las obras en armonía con la comunidad directamente afectada.

Dentro de los impactos ambientales generados por la construcción del embalse que más perjuicios han causado a la comunidad, las personas identifican los siguientes:

- Polución: esta se genera por el tránsito de maquinarias en los caminos cercanos a la localidad de Palquico, lo que produce una nube de polvo de tamaño considerable, que afecta la calidad del aire de forma constante. Se presenta evidencia en formato de video donde se puede apreciar la gran cantidad de polvo que se levanta durante un día de construcción. De acuerdo a lo expuesto por la comunidad, la empresa está llevando a cabo un plan de supresión de polvo, mediante humectación de caminos principalmente, sin embargo, las medidas de mitigación claramente están siendo deficientes.
- Tronaduras: la comunidad plantea que los explosivos utilizados para llevar a cabo las tronaduras generan un efecto de vibraciones en las casas cercanas a las faenas del proyecto, que están destruyendo aquellas viviendas más vulnerables. Es relevante que se verifique el tipo de tronadura que se está ejecutando y la distancia entre el lugar de colocación del explosivo y las viviendas más cercanas. Además, la comunidad comenta que se debe llevar a cabo una fiscalización efectiva para disminuir los impactos negativos que afectan a los vecinos de Palquico, actividad que es prácticamente inexistente.
- Construcción del canal alimentador: la comunidad plantea que el sector donde se emplazará el canal alimentador es bastante inestable, lo que puede generar daños potenciales a las personas y viviendas del lugar producto de las actividades constructivas asociadas. La comunidad expone que la construcción del canal alimentador es muy peligrosa y representa un riesgo para ellos.
- Extracción de áridos: existió un conflicto respecto a una información que circulaba, en la cual se señalaba que el área definida para esta actividad se ubicaba aguas abajo del embalse, cercana a un pozo de agua potable rural de la localidad de Palquico. Esta información causó gran preocupación en la población, debido a los evidentes impactos que traería consigo la ejecución de esta actividad en la zona. Los vecinos lograron organizarse y redactar una carta, en la cual se pedía una aclaración inmediata respecto a esta situación. Esta carta fue firmada por gran parte de la comunidad, y posteriormente, se les notificó sobre la eliminación de esta área para la extracción de áridos.

Otro aspecto que fue abordado en la reunión con la comunidad, guarda relación con la situación crítica que se vive actualmente en las localidades rurales de la provincia de Petorca, asociada a la escasez de agua para consumo humano que existe en la zona, donde para la comunidad, esta situación representa la primera prioridad.

En este contexto, resulta interesante abordar la posibilidad que el embalse Las Palmas tenga la característica de ser regulador de agua para consumo humano, además de aportar para las actividades de riego, es decir, ser un embalse multipropósito. Sin embargo, luego de una revisión completa de los antecedentes de ingeniería del proyecto, no se evidencia la intención de que este embalse sea de carácter multipropósito, solo se



menciona en los informes ejecutivos oficiales del proyecto que uno de los beneficios de esta concesión es que permitirá regular la entrega de agua para regadío y para consumo humano, pero no existe ningún informe o diseño que respalde esta información. Además, la comunidad nos señala que este beneficio sería para las 8 familias que debieron ser relocalizadas debido a la ejecución del proyecto, no para la comunidad en general, ya que nunca han recibido información oficial respecto a este tema.

La comunidad siente desconfianza respecto a quienes serán los verdaderos beneficiados por la construcción del embalse, ya que esta información no ha sido clara. Ellos creen que aquellos que obtendrán mayores beneficios del proyecto serán los grandes agricultores y productores de la zona, dejando de lado al grueso de la comunidad afectada.

Se debe buscar la forma para que la construcción de este embalse otorgue beneficios reales a la comuna de Petorca y a sus comunidades más vulnerables, entregándoles herramientas que les permitan mejorar sus situaciones económicas y sociales actuales. Por lo mismo, surge la interrogante de por qué no se consideró que el embalse Las Palmas sea de carácter multipropósito, teniendo en cuenta la tremenda escasez hídrica que existe en la zona y las penurias que ha tenido que pasar la gente producto de esta situación.

Desde el punto de vista de la comunidad y del personal de la Municipalidad de Petorca, existe una combinación de factores que llevan a los proyectos a esta posición, desde temas estructurales, como la adjudicación de los contratos de obras concesionadas, hasta desconocimiento de la realidad de la zona donde se emplazará el proyecto. Estos temas son evidentes en el embalse Las Palmas, donde la empresa concesionaria claramente no poseía conocimiento de la situación que vive la comuna de Petorca y las localidades aledañas. Esto se evidencia en los informes ejecutivos mensuales emitidos por la Dirección General de Concesiones del MOP, ya que en los informes de los meses de abril y junio del año 2021, la empresa concesionaria CHEC solicita la suspensión del contrato a menos de dos años del inicio de ejecución de las obras (septiembre del 2019). Esta solicitud es respaldada por informes de ingeniería en los que se llevó a cabo un análisis y revisión del recurso hídrico para el embalse Las Palmas, en los que se demuestra la existencia de errores significativos en los antecedentes referentes a la disponibilidad de agua.

La postura de la comunidad ante la noticia de la posible suspensión de la construcción, es que se apliquen las modificaciones necesarias para que el proyecto se siga ejecutando, ya que bajo su punto de vista lo peor sería que el embalse quede construido “a medias”. Pero, es necesario que el desarrollo del proyecto se adecúe a la realidad ambiental y social actual, buscando que este se lleve a cabo de manera sustentable.

Por otra parte, la comunidad también señala que existe falta de información y de apoyo de parte de las instituciones públicas, entre ellas, de la Municipalidad de Petorca y del MOP. No existe disposición de parte de estas instituciones por mejorar esta situación, además, la fiscalización a la empresa constructora es prácticamente nula.

Como conclusiones de esta visita a terreno, se puede señalar que el relacionamiento comunitario de parte de las empresas o instituciones responsables de la ejecución del proyecto ha sido inadecuado, esto debido a las distintas situaciones y experiencias que la comunidad planteó en la reunión respecto al desarrollo del proyecto.

Es patente que se deben mejorar las relaciones comunitarias en el desarrollo del proyecto embalse Las Palmas, ya que aún quedan varios años de construcción, y el entorno social en el cual se está llevando a cabo está muy alejado del óptimo.

Dentro de las medidas que se pueden aplicar para mejorar el trato con las personas y alcanzar mayor transparencia, se debe plantear la obligación de realizar reuniones participativas con la comunidad, donde se presenten los impactos ambientales y sociales que los están afectando, y a partir de esto, se elaboren medidas de mitigación efectivas. También, se deben emitir actas oficiales de estas reuniones, firmadas por los asistentes o representantes de organizaciones asistentes, para tener registro de toda la información relevante que surja en ellas y de los compromisos que se adhieran de parte de la empresa, instituciones y comunidad.

Por otra parte, la comunidad plantea que es necesario que exista un convenio con la empresa, en el cual se presenten medidas que compensen los impactos ambientales que los están perjudicando. Por ejemplo, se menciona un mejoramiento de la estructura pública de la localidad de Palquico, ya sea para la escuela, la plaza, la posta, etc. También se propone un tratamiento efectivo a los caminos en los cuales transitan los camiones y maquinarias, con el objetivo de evitar el levantamiento de polvo. Al aplicar alguna de estas medidas, la comunidad puede mejorar su calidad de vida y ser compensada por los impactos que los han afectado, generando un mejoramiento de la relación social en el desarrollo del proyecto. De no ser esto posible, por condiciones contractuales de la empresa con su mandante, el camino es que el Estado o la Municipalidad pueda atender estas inquietudes aportando a una adecuada inserción del proyecto.

Como conclusión final, se puede apreciar que existe mucha inseguridad, frustración y desconfianza de parte de la comunidad respecto al desarrollo del proyecto. Además, se evidencia falta de interés y esperanza en las comunidades aledañas al embalse Las Palmas.

## 8 Planificación de construcción presa Las Palmas

En este capítulo se analiza la planificación de construcción de la presa CFRD contemplada en el proyecto embalse Las Palmas. En primer lugar, se revisan los antecedentes referentes a la construcción del embalse en los estudios de ingeniería, para estar al tanto de las actividades que componen la fase de construcción del proyecto, sus respectivos plazos y la estrategia constructiva a implementar.

Los aspectos principales que se analizan son la metodología de construcción, con sus medios y recursos estimados a emplear, y la secuencia constructiva, su programación y plazos de las principales actividades o procesos constructivos.

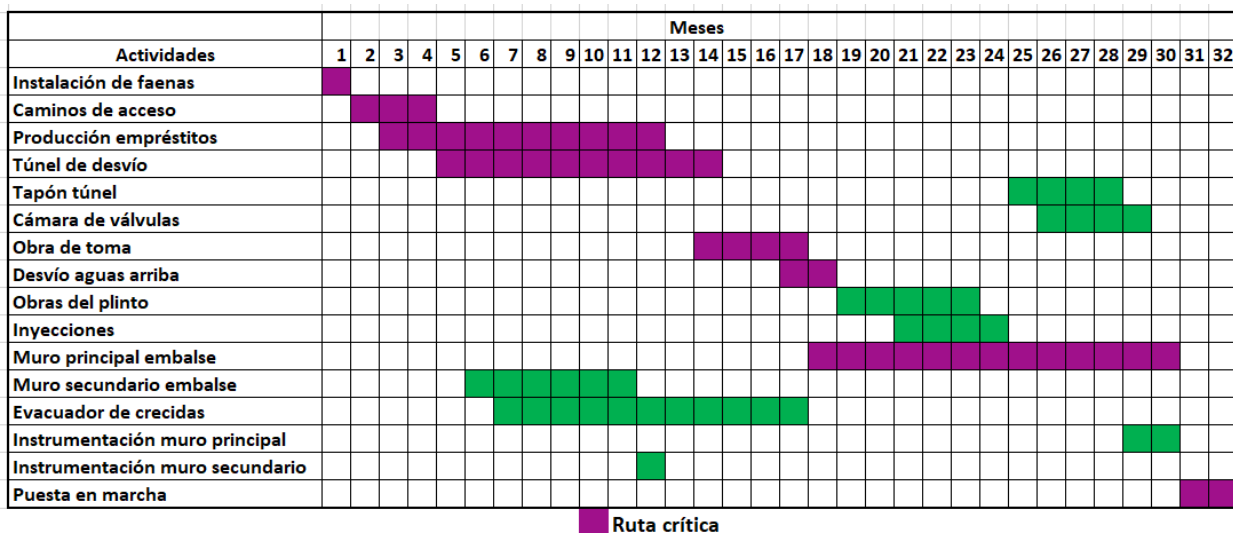
A partir del conocimiento adquirido en este ámbito (complementado con la revisión de proyectos similares) y de las principales características de diseño del embalse Las Palmas presentadas en el desarrollo de este trabajo, se establece una metodología de construcción para las obras asociadas a la construcción del muro de presa y las obras de hormigón consideradas en el proyecto, debido a su importancia para el desarrollo del mismo.

### 8.1 Antecedentes

Antes de iniciar el desarrollo de este capítulo, resulta relevante destacar que no fue posible obtener el programa de trabajo de la empresa concesionaria a cargo de la construcción del embalse en la actualidad, ya que los documentos no están disponibles para su revisión. Por lo mismo, no se pudo efectuar un análisis crítico al programa de construcción establecido para la ejecución de las obras civiles del embalse Las Palmas en el presente trabajo, ni utilizarlo como base para realizar una optimización de los rendimientos considerados en las distintas actividades.

Dentro de los antecedentes que permiten situarnos en un lugar adecuado para desarrollar este capítulo y cumplir con los objetivos planteados en este trabajo, nos encontramos con el programa de construcción establecido en la etapa de ingeniería de detalles del proyecto, que pese a no tener un alto nivel de especificación, otorga los plazos considerados para las distintas actividades presentes en la fase de construcción y la lógica constructiva necesaria para la ejecución del proyecto. Cabe destacar que, de acuerdo a los criterios adoptados y los plazos establecidos para las actividades principales del proyecto, el plazo total resultante de este programa de trabajo preliminar es de 32 meses.

En la siguiente ilustración se muestra el programa de trabajo considerado en la etapa de ingeniería de detalles del embalse Las Palmas.



**Figura 8-1: Carta Gantt para Embalse Las Palmas.**

*Elaboración propia con base en Estudio de Diseño Construcción Sistema de Regadío Valle de Petorca. Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

En la figura anterior se puede apreciar la ruta crítica del programa de construcción, la cual se establece de acuerdo a la estrategia constructiva a emplear y determina la duración del proyecto. A continuación, se indican las actividades que componen la ruta crítica del embalse Las Palmas.

**Tabla 8-1: Actividades pertenecientes a la ruta crítica del programa de construcción.**

Actividades	Duración en meses
Instalación de faenas	1 MES
Caminos de acceso	3 MESES
Producción de empréstitos	10 MESES
Túnel de desvío	10 MESES
Obra de toma	4 MESES
Obras de desvío (ataguía)	2 MESES
Muro principal embalse	13 MESES
Puesta en marcha	2 MESES

*Adaptado de Estudio de Diseño Construcción Sistema de Regadío Valle de Petorca. Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Para tener un respaldo que permita la comprensión de este programa de trabajo, se usó como referencia el programa de construcción definido para el Embalse Chironta, que considera la construcción de una presa CFRD de características similares al embalse en estudio. Estas características se presentan en la siguiente tabla, donde además se realiza una comparación con las del Embalse Las Palmas.

**Tabla 8-2: Tabla comparativa de características de los embalses Chironta y Las Palmas.**

<b>Característica</b>	<b>Embalse Chironta</b>	<b>Embalse Las Palmas</b>
Altura (m)	76	70
Longitud (m)	274	560
Capacidad de embalsamiento (hm <sup>3</sup> )	17	55

*Fuente: Elaboración propia.*

De los documentos revisados relacionados al embalse Chironta, resultan de particular interés la propuesta técnica y la propuesta económica realizadas por el contratista encargado de la construcción de esta obra (Besalco S.A.,2016), ya que en estas se pueden apreciar los plazos definidos y la cantidad de material requerido para la ejecución de cada actividad, respectivamente.

Por otra parte, mediante la revisión de un desglose del programa de construcción mostrado en la figura 8-1, se logró definir los plazos de aquellas actividades que serán analizadas con mayor detalle, correspondientes a las obras de hormigón y los rellenos de la presa. Además, la cubicación realizada para dichas actividades en la etapa de ingeniería de diseño facilita la comparación con lo establecido en el programa de trabajo del embalse Chironta.

A continuación, se presenta una tabla comparativa entre los dos programas de trabajo analizados, en la cual se exponen las cantidades requeridas y los plazos considerados para la ejecución de las actividades a estudiar.

**Tabla 8-3: Tabla comparativa entre programas de trabajo del embalse Las Palmas y Chironta.**

<b>Actividad</b>	<b>Embalse Las Palmas</b>		<b>Embalse Chironta</b>	
	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Plazo (meses)</b>	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Plazo (meses)</b>
Rellenos	2.033.000	12	2.238.991	13
Plinto	1.998	4	2.012	11
Pantalla de hormigón	15.846	6	10.390	6
Parapeto	506	2	1.193	3

*Fuente: Elaboración propia.*

Analizando la tabla anterior se pueden realizar las siguientes observaciones:

- La cantidad total de materiales de relleno para la construcción de la presa es de un orden similar para ambos embalses, por lo tanto, el plazo establecido en el programa del embalse Las Palmas resulta razonable.
- Los plazos considerados para la construcción del plinto son muy dispares, pese a que la cantidad de metros cúbicos requeridos es similar en ambos casos. Se debe estudiar si es factible la construcción del plinto de Las Palmas en 4 meses.
- Respecto a la pantalla, la cantidad de hormigón requerido para la presa Las Palmas es aproximadamente 50% mayor que para Chironta, sin embargo, el plazo

considerado es el mismo. Al igual que para el plinto, se estudiará la factibilidad de esta condición.

- El plazo establecido para la ejecución del parapeto en el embalse Las Palmas guarda relación con lo propuesto en el embalse Chironta, de acuerdo a los requerimientos respectivos.

Teniendo en cuenta las observaciones realizadas, y la información contenida en el desarrollo de este trabajo, se lleva a cabo la planificación de construcción de las obras principales del proyecto embalse Las Palmas.

## 8.2 Metodología de construcción

El objetivo de una metodología constructiva se basa en indicar como hacer realidad el diseño definido para el proyecto, a partir, principalmente, de los planos, las especificaciones técnicas y los estudios básicos. Esta metodología, además de describir los métodos constructivos a emplear, debe indicar como utilizar los recursos para materializar las obras contempladas en el proyecto de manera eficiente, donde se incluyen los equipos, maquinarias, materiales y personal requerido para el desarrollo del mismo.

En general, la planificación de construcción siempre busca el menor plazo posible para la ejecución de las distintas faenas, ya que el tiempo empleado en realizar una obra es directamente proporcional al costo; a mayor plazo, mayor costo. En un proyecto siempre se debe procurar abaratar los costos, de aquí surge la importancia de establecer una metodología de construcción que permita alcanzar tal objetivo.

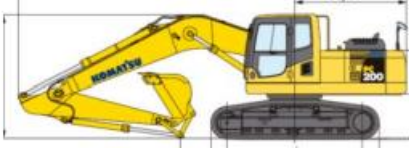

### 8.2.1 Medios y recursos








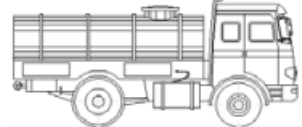
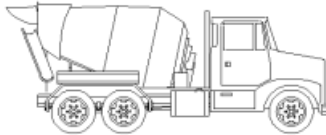
Antes de presentar la metodología de construcción considerada para las actividades principales del proyecto Embalse Las Palmas, se detallan los medios y recursos necesarios para llevar a cabo las mismas de manera efectiva.

- **Maquinaria:**

En el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto se hace referencia al tipo y cantidad de maquinarias requeridas para realizar las distintas faenas contempladas en el desarrollo de la fase constructiva del proyecto. Las principales maquinarias se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8-4: Listado de maquinarias.

Tipo de maquinaria	Esquema	Cantidad
Excavadoras tipo Komatsu PC200 o similar		20
Bulldozer tipo Caterpillar D10 o similar		10

Camiones tolva estándar de 12-14 m <sup>3</sup>		50
Cargadores frontales tipo Caterpillar 928		10
Motoniveladora tipo Komatsu GD675 o similar		8
Rodillo vibrador tipo Caterpillar CP54 o similar		4
Retroexcavadora tipo Caterpillar 430 o similar		10
Rodillo neumático		1
Camión pluma		3
Camión aljibe		10
Camión mixer		10

Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).

- **Materiales:**

La producción de los materiales necesarios para las distintas actividades constructivas del proyecto se realizará, en principio, en el área de influencia del mismo.

Los materiales primordiales para el desarrollo del proyecto son los materiales de relleno que conformarán la presa, para esto, la zona de empréstitos definida en el área de

inundación del embalse proveerá los materiales granulares requeridos para los distintos tipos de relleno y, además, los áridos para la producción de hormigón.

Se considera la instalación de una planta de áridos y de hormigón, donde se realizará el proceso de selección de los materiales de relleno para la presa y de producción de hormigón para aquellas faenas que lo requieran. Estas plantas se ubicarán en un sector cercano a la zona de extracción del material de empréstito, dentro del área de inundación del embalse.

- **Mano de obra:**

El proyecto requiere de personal para llevar a efecto la fase de construcción, donde se priorizará la contratación de mano de obra local de acuerdo a los planes propuestos en el EIA del proyecto. En la tabla siguiente se presenta una estimación del personal requerido para la fase de construcción del proyecto.

**Tabla 8-5: Mano de obra para fase de construcción del proyecto.**

<b>Fase</b>	<b>Mano de obra promedio</b>	<b>Mano de obra máxima</b>
Construcción	100	120

*Fuente: Fuente: SIGA Ingeniería y Consultoría S.A.- Dirección de Obras Hidráulicas (2015).*

### **8.2.2 Procesos y actividades principales**

A continuación, se presenta la metodología de construcción considerada para las principales actividades del proyecto Las Palmas.

- **Producción de materiales de relleno:**

Una actividad prioritaria para el desarrollo del proyecto es la producción de los materiales de relleno requeridos para la construcción de la presa.

De acuerdo a los antecedentes revisados en el estudio geotécnico desarrollado en la ingeniería de detalles del proyecto, la zona definida para la explotación de empréstitos corresponde al área de inundación del embalse, la cual aporta un volumen estimado de 3,3 Mm<sup>3</sup>. En la siguiente figura se puede apreciar esta zona.





Figura 8-2: Zona de empréstito para embalse Las Palmas.

Fuente: Elaboración propia.

La primera actividad que se debe realizar es la construcción de los caminos de acceso a la zona de inundación del embalse, para lograr acceder a los yacimientos que serán explotados; para esto se requiere la utilización de la maquinaria de movimiento de tierras mostrada en la sección anterior (tabla 8-4), como por ejemplo, excavadoras, bulldozers, cargadores frontales, entre otros. Luego, se debe instalar la planta procesadora de áridos para comenzar con la producción de materiales de relleno requeridos para el muro.

La metodología constructiva para producir los materiales de relleno se detalla a continuación.

- En primer lugar, se debe realizar la explotación de los yacimientos definidos, para esto se utilizan maquinarias tales como, excavadoras tipo Komatsu PC200 y retroexcavadoras tipo Caterpillar 430, dependiendo de las características del sector donde se realizarán las excavaciones y del tipo de material a extraer.
- Luego, los materiales que son extraídos de las zonas de empréstitos deben ser transportados e ingresados a la planta procesadora, la cual seleccionará aquellos materiales que cumplan con las exigencias granulométricas establecidas en el proyecto y desechará aquellos materiales de sobretamaño; el material seleccionado transitará por las cintas transportadoras y será depositado en un sector adecuado para su posterior retiro.
- Luego, los cargadores frontales tipo Caterpillar 928 se encargan de retirar el material seleccionado desde los conos producidos por las cintas transportadoras y lo cargan al interior de un camión tolva, el cual debe transportar el material hacia las zonas de acopio consideradas en el proyecto.

- Por otra parte, también se requiere una cuadrilla compuesta por cargadores frontales y camiones tolva que se encarguen de transportar el material de rechazo a los botaderos del proyecto, los que se ubican en la cubeta de recepción del embalse.



**Figura 8-3: Funcionamiento de una planta de áridos.**

*Fuente: Yepes (2014).*

Respecto al volumen total de materiales de relleno que se deben producir, los antecedentes del proyecto indican que el volumen compactado requerido para la construcción del muro es de  $2,1 \text{ Mm}^3$ , sin embargo, se debe considerar que el total de material de rellenos a producir en la planta seleccionadora debe ser mayor, ya que este corresponde a material suelto (no compactado). Para esto, se aplica un factor de esponjamiento del material del 35%, con lo cual se obtiene el volumen total que debe ser transportado a la presa.

Otro aspecto que se debe considerar, es que no todo el material que ingrese a la planta seleccionadora cumplirá con las granulometrías establecidas en el proyecto, generando de esta manera el material de rechazo. Esto implica que el volumen integral necesario de extraer asciende dependiendo del porcentaje de materiales de sobretamaño estimado.

Los antecedentes del proyecto señalan que la cantidad de materiales de sobretamaño se estima marginal, indicando un volumen aproximado de  $231.000 \text{ m}^3$ , lo cual corresponde a un 7% del volumen total de materiales de empréstitos disponibles. Esta estimación no es para nada conservadora, y además, no existe un análisis que la sustente, por lo cual, representa una deficiencia del estudio geotécnico realizado.

Algo más realista y conservador, por ejemplo, sería considerar un porcentaje de materiales de rechazo similar al estimado en el estudio geotécnico del embalse Chironta, donde las granulometrías desarrolladas muestran que el porcentaje utilizable de los yacimientos es cercano al 60%, es decir, aproximadamente el 40% del volumen de materiales de empréstitos disponible corresponde a sobretamaños.

Luego, en el caso del embalse Las Palmas, considerando que las condiciones geológicas varían dependiendo de la región donde se emplazará el embalse, resulta prudente estimar que el porcentaje de materiales de sobretamaño presente en los yacimientos definidos en el proyecto sea de un 30% aproximadamente.

Además, se debe considerar que existe cierta cantidad de material que será desechado por los operadores de la maquinaria encargada de extraer el material, quienes no cargarán aquellos materiales que evidentemente serán rechazados en la planta. Se estima, según la opinión de expertos, que aproximadamente un 10% del material disponible puede ser rechazado de esta forma.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los volúmenes de material contemplados para la producción de materiales de relleno para la presa Las Palmas.

**Tabla 8-6: Resumen volúmenes de material para construcción de presa Las Palmas.**

<b>Tipo de volumen</b>	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>)</b>
Volumen disponible	3.300.000
Volumen compactado requerido	2.100.000
Volumen a producir (35% esponjamiento)	2.835.000
Volumen necesario de extraer (30% rechazo en planta)	4.050.000
Volumen total requerido en yacimientos (10% rechazo en terreno)	4.500.000

*Fuente: Elaboración propia.*

Analizando la tabla anterior, es evidente que el volumen disponible en las zonas de empréstitos determinadas en la ingeniería de detalles del proyecto no logra satisfacer la demanda de materiales que se deben extraer, de acuerdo a las estimaciones realizadas. Por lo tanto, resulta indispensable para el desarrollo del proyecto que se revise esta situación y se realicen nuevos estudios geotécnicos, con el objetivo de definir nuevas zonas de empréstitos explotables que permitan cumplir las exigencias requeridas en este proceso.

Una vez desarrollado este aspecto, es posible definir la cantidad de maquinaria requerida para la producción de los materiales de relleno, teniendo en consideración que se debe cumplir el plazo establecido en el programa y con el objeto de optimizar los costos en los que se incurre al realizar esta actividad, principalmente asociados a la utilización de la maquinaria.

- **Construcción de los rellenos:**

La etapa de colocación y compactación de los materiales de relleno que componen la presa se inicia una vez que las obras de desvío están terminadas y operativas, puesto que la presa se debe construir en seco.

En primer lugar, se deben llevar a cabo las excavaciones de la zona donde se fundará la presa, de forma de alcanzar las cotas establecidas en los planos del proyecto y, al mismo tiempo, comprobando que la calidad del macizo rocoso sea idónea para la cimentación del muro. La terminación de la ejecución de las excavaciones condiciona la iniciación de los trabajos definitivos de la obra, por lo tanto, se deben planificar las actividades de tal manera de hacer coincidir el final de las excavaciones con el comienzo de los tratamientos previos del terreno para el inicio del relleno del cuerpo de la presa.

Además, se debe considerar que previo al inicio de los trabajos de relleno se requiere un stock mínimo de materiales producidos, por ejemplo, para abastecer durante cinco a diez días a la presa; esto en caso de que ocurra algún imprevisto relacionado con las actividades de producción del material de relleno. Por lo tanto, es importante que estas actividades se planifiquen de manera coordinada, a fin de alcanzar un rendimiento óptimo en la fase de construcción de la presa.

Luego, se debe establecer una metodología para la colocación y compactación del material que será transportado diariamente, por medio de una flota de camiones tolva, desde las zonas de acopio de materiales hasta la zona donde se erigirá la presa. Es evidente que para cargar los camiones tolva que transportarán el material se requerirá la acción de una flota de Cargadores frontales tipo Caterpillar 928.

Es importante que el transporte de los materiales sea diferenciado por el tipo de relleno que llevan los camiones encargados de esta faena, de modo de aplicar las especificaciones requeridas para cada una de las zonas definidas en la presa según corresponda. Para evitar problemas de esta índole, se definen tres etapas principales para la colocación masiva de rellenos, las cuales se pueden apreciar en la siguiente ilustración.

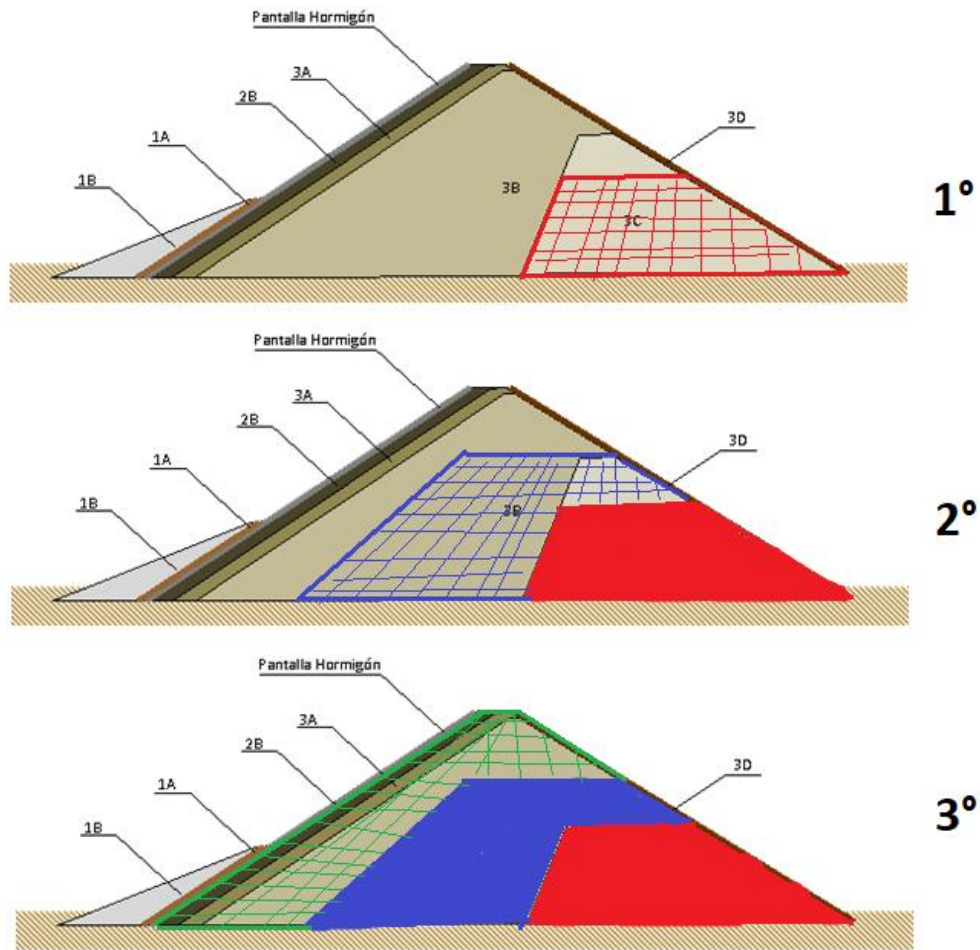


Figura 8-4: Etapas definidas para la colocación de materiales de relleno.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la metodología considerada para la construcción de la presa.

- **1° Etapa:** En la primera etapa se construye la base del espaldón de aguas abajo (Zona 3C), la cual está compuesta por gravas, bolones y bloques con tamaño máximo 32". Respecto del relleno 3B, este relleno es menos afectado por las cargas de agua, por lo tanto, se permiten una rigidez menor, lo que se traduce en un mayor espesor de capa. De acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto, este material deberá ser colocado en capas no superiores a 120 cm (sin compactar), por lo tanto, los camiones tolva deben verter el material correspondiente en la zona donde se construirá este espaldón y luego se procede a esparcir el material que fue vertido, procurando respetar el espesor de capa definido (sin compactar); para este procedimiento se utilizarán Bulldozer tipo Caterpillar D10 y motoniveladoras tipo Komatsu GD675; además se agregará cierta proporción de agua a las capas de material colocado para que estas

alcancen la humedad óptima determinada. Luego de que las capas se encuentren niveladas y se alcance el espesor de capa correspondiente, se ejecuta el proceso de compactación, el cual se lleva a cabo mediante la utilización de rodillos lisos vibratorios tipo Caterpillar CP 54; las capas deberán ser compactadas hasta alcanzar densidades superiores o iguales al 75% de la densidad relativa. El número de pasadas del rodillo vibrador se fijará con ensayos en terreno en los que se evalúa el asentamiento medio de la superficie de la capa de escollera. Se debe considerar que el porcentaje de finos no sea superior al 10%, pues el material debe permitir drenaje libre después de ser compactado.

- 2° Etapa: En esta etapa se lleva a cabo la construcción de la base del espaldón de aguas arriba (zona 3B) y se finaliza la zona 3C, en la cual se considera la misma metodología explicada previamente. Respecto a la zona 3B, este relleno está constituido por gravas arenosas con tamaño máximo 24". Esta zona constituye el mayor apoyo de la pantalla de hormigón, por lo tanto, debe ser compactado de manera de lograr un alto módulo grado de rigidez, con el propósito de limitar los asentamientos de la pantalla y del muro en general. Según la información contenida en las especificaciones técnicas del proyecto, este material debe ser colocado en capas no superiores a 80 cm (sin compactar), las que deberán ser compactadas hasta alcanzar densidades superiores o iguales al 80 % de la densidad relativa. La metodología de colocación y compactación de los materiales de relleno de esta zona es similar a la utilizada en la primera etapa, puesto que las granulometrías de ambas zonas no difieren en demasía, sin embargo, se debe prestar especial atención en respetar el espesor de capa y la densidad relativa fijada en las especificaciones del proyecto.
- 3° Etapa: En la última etapa se debe finalizar la construcción de la zona 3B, para esto, en primera instancia, se realizará el proceso de colocación y compactación de los materiales de relleno tipo 3B hasta la cota donde se ha finalizado la etapa anterior, para luego, avanzar con dos frentes de trabajo que actúen de forma simultánea, uno en la colocación del material tipo 3A en la parte inferior de la presa y el otro en el término de la zona 3B (parte superior de la presa). Respecto al relleno tipo 3A, este actúa como un filtro de transición entre los materiales 2B y 3B, y está compuesto por gravas y arenas. En el caso de potenciales fugas a través del muro, este relleno evita el lavado de finos del material 2B, lo que en caso de producirse podría generar asentamientos de la pantalla de hormigón. Este relleno será colocado en capas de no más de 35 cm (sin compactar), las que deberán ser compactadas hasta alcanzar densidades no inferiores al 85% de la densidad relativa.

Una vez finalizada la construcción de la zona 3A, se procede a la colocación de los rellenos que componen la zona 2B de la presa, la cual está constituida por materiales granulares con tamaño máximo 3", alto contenido de arenas y algunos finos limosos. De acuerdo a las especificaciones del proyecto, este relleno será colocado en capas no superiores a 25 cm, las que deberán ser compactadas hasta alcanzar una densidad relativa del 85%. Este relleno se ubica bajo la pantalla de

hormigón y tiene como propósito dar un soporte uniforme a la pantalla y reducir las fugas de agua en la eventualidad de producirse grietas en la pantalla de hormigón, por lo tanto, es fundamental que la colocación y compactación de este material se lleve a cabo de forma idónea, cuidando que no existan irregularidades en la conformación del talud donde se apoyará la pantalla. Respecto a la maquinaria que se utilizará para esta zona de la presa, en la literatura consultada se recomienda realizar 4 pasadas con rodillo vibratorio tambor para la nivelación y compactación de las capas, lo cual debe ser comprobado con ensayos en terreno.



**Figura 8-5: Compactación material tipo 2B. Presa La Yesca-México.**

*Fuente: Materón (2015).*

El desarrollo de esta actividad requiere una gran cantidad de recursos, ya sea maquinarias, equipos, personal, etc., debido a los diversos procesos y tareas contenidas en la misma, además, su tremenda importancia para el avance del proyecto obliga a buscar la manera óptima de cumplir con los criterios técnicos establecidos y con el plazo definido para su ejecución.

A continuación, se presenta la metodología constructiva para las obras de hormigón contempladas en el embalse Las Palmas, referidas a las obras del muro principal, es decir, la pantalla impermeable de hormigón, el plinto y el muro parapeto. La cantidad de hormigón requerido y el plazo determinado para la materialización de cada una de estas obras se indica en la tabla 8-3 (ver sección 8.1).

Es importante recalcar que el proyecto contempla la instalación de una planta de hormigón dentro del área de influencia del mismo, en la cual se confeccionará todo el material requerido para las obras de hormigón. Este factor es clave, ya que aporta a la

producción al disminuir los tiempos de traslado entre el lugar de elaboración del material y donde debe ser utilizado, además, asegura una calidad óptima del hormigón.

Cabe señalar que, para llevar a cabo el transporte del hormigón desde la planta productora hasta la zona de la presa, se considera una flota de 10 camiones mixer con capacidad de 8 m<sup>3</sup>, tal como se puede apreciar en el listado de maquinarias presentado en la tabla 8-4. Otro dato relevante es que el tipo de hormigón requerido para la construcción de estas obras es de grado H30.

- **Plinto:**

Para fundar el plinto de la presa se deben colocar rellenos en el valle hasta alcanzar la cota 454,4 m s.n.m., donde previamente se realiza una compactación del fondo del valle con un compactador vibratorio apropiado. El plinto en los empotramientos se apoyará en maicillo, por lo tanto, se deben efectuar excavaciones para eliminar el material común, el cual debe ser transportado a los botaderos establecidos en el proyecto. Para cumplir estas faenas se requiere una cuadrilla compuesta por excavadoras y camiones tolva, para la extracción y transporte del material, respectivamente.

Cuando se alcance el nivel de excavación definido en los planos, se debe lavar toda la superficie para realizar una inspección y verificar donde se requieren excavaciones adicionales. Una vez terminado el tratamiento dental a la superficie, el cual consiste en tratar aquellas zonas que presenten fallas, fisuras o discontinuidades mediante la inyección de hormigón pobre, para lograr que la calidad de la roca de fundación sea adecuada, se realiza una última limpieza y se procede a vaciar los hormigones de emplantillado, que permiten nivelar la superficie de apoyo del plinto. Luego, se deben colocar las barras de anclaje de 25 mm, que deberán penetrar al menos 3,5 m en la roca sana.

Previo a la colocación del hormigón masivo, se debe disponer el refuerzo de acero establecido en la ingeniería de detalles del proyecto siguiendo los planos correspondientes. También se requiere la instalación del moldaje en el tramo que será hormigonado, en este caso, se considera adecuado utilizar encofrados trepantes para esta faena.

Cabe destacar, que el hormigonado de los plintos se llevará a cabo mediante la acción del camión bomba con brazo articulado.

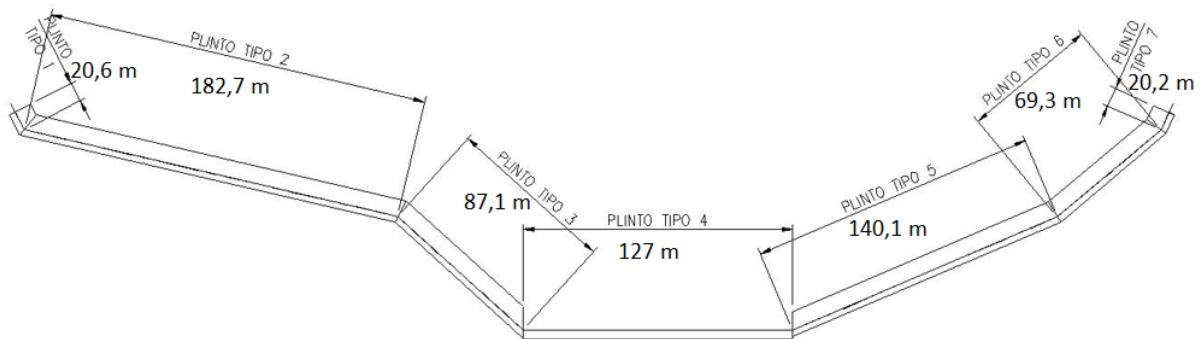




**Figura 8-6: Construcción del plinto.**

*Fuente: Astaldi (2015).*

Para definir la estrategia constructiva para el hormigonado del plinto se analizaron los planes estructurales correspondientes, con el fin de apreciar la longitud de cada uno de los tipos de plintos definidos en el proyecto. En la siguiente figura se muestra el plano con la disposición de los plintos.



**Figura 8-7: Planta disposición plintos.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Luego, a partir de los antecedentes referentes a la construcción del plinto, se estima la cantidad de hormigón requerido para cada uno de los tipos de plinto.

**Tabla 8-7: Volumen de hormigón requerido para cada tipo de plinto.**

Tipo de plinto	Largo (m)	Sección transversal (m <sup>2</sup> )	Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> )
1	20,6	3,1	64
2	182,7	3,1	566
3	87,1	3,1	270
4	127	3,1	394
5	140,1	3,1	434
6	69,3	3,1	214
7	20,2	3,1	63

*Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se analiza la factibilidad de realizar el hormigonado de cada tipo de plinto en una etapa distinta, es decir, realizar el hormigonado total del plinto en 7 etapas. Para esto, se calcula la cantidad de viajes de camiones mixer necesarias para el hormigonado de cada etapa, considerando que cada camión transportará un volumen de 7 m<sup>3</sup> de hormigón. Luego, se estima la cantidad de viajes requeridos por cada camión mixer perteneciente a la flota (10 camiones) para satisfacer la demanda de hormigón de cada etapa. La secuencia de cálculo se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 8-8: Análisis de las etapas de hormigonado del plinto.**

Tipo de plinto	Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> )	Cantidad de viajes total	Cantidad de viajes por camión mixer
1	64	9	1
2	566	81	8
3	270	39	4
4	394	56	6
5	434	62	6
6	214	31	3
7	63	9	1

*Fuente: Elaboración propia.*

Es evidente que la etapa más crítica corresponde al hormigonado del plinto tipo 2, pues se requieren 81 viajes de camiones mixer en total, desde la planta productora de hormigón hasta la zona de descarga, en este caso, la ladera izquierda del valle.

Si se considera que se realizan 4 descargas de camiones mixer por hora, es decir, descargas de hormigón cada 15 minutos, se podría llevar a cabo el hormigonado de esta etapa en 20 horas, por lo tanto, considerando el sistema de turnos de trabajo que permite trabajar ininterrumpidamente durante el día (dos turnos seguidos de 10 horas), es factible realizar el hormigonado del plinto tipo 2 durante una etapa.

Luego, como los otros tipos de plintos requieren menor volumen total de hormigón para su ejecución, se concluye que resulta factible realizar el hormigonado del plinto en 7 etapas, diferenciadas por el tipo de plinto a hormigonar.

Una vez finalizado el vaciado de hormigón necesario para completar cada una de las etapas definidas comienza el periodo de curado del hormigón, el cual deberá prolongarse por al menos 7 días según lo establecido en las especificaciones técnicas del proyecto.

Con el avance en el hormigonado del plinto, se deben coordinar las actividades de relleno de los materiales tipo 3A y 2B y la construcción de los bordillos extruidos, con lo cual se inicia la conformación de la superficie de apoyo de la pantalla de hormigón.

Otra actividad imprescindible para el desarrollo del proyecto es la construcción de la cortina monolineal de impermeabilización, la cual se realiza por medio de inyecciones de lechadas de cemento en la roca basal a lo largo de todo el plinto. El objetivo de esta cortina es prolongar la estanqueidad de la pantalla de hormigón dispuesta en el talud de aguas arriba de la presa, completando un sello estanco en la roca a partir de la losa de hormigón del plinto.

Las especificaciones del proyecto establecen tres tipos de perforaciones: primarias, secundarias (entre las primarias) y terciarias (entre primarias y secundarias). Las inyecciones se realizarán con el sistema de línea directa utilizando una conducción de 1 pulgada de diámetro entre el lugar de preparación y el de inyección.

Finalmente, de acuerdo al diseño del proyecto, el plinto debe ser protegido por un material de tipo 1A y luego un espaldón de tipo 1B en todo su desarrollo horizontal, por lo cual, es necesario programar las actividades correspondientes para lograr este objetivo, estas son: producción de la cantidad de materiales requeridos de cada tipo de relleno en la planta procesadora, transporte de los materiales a la zona del plinto y colocación del material de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto. Esta actividad se debe ejecutar después del hormigonado del plinto y de la construcción de la pantalla de hormigón, ya que el enrocado de protección se ubica aguas arriba de esta.

- **Pantalla:**

La construcción de esta obra se debe iniciar una vez finalizada las obras del plinto y la colocación de rellenos en el muro de presa, específicamente, se requiere la conformación definitiva de la capa de material tipo 2B, correspondiente a la superficie donde se apoya la pantalla, en la cual se debe llevar a cabo un proceso de compactación especial para uniformizar la misma.

Previo a la actividad de hormigonado, se deben disponer las armaduras presentadas en el diseño de detalle del embalse (tabla 4-24), también se deben realizar las actividades de armado de juntas selladas entre el plinto y la pantalla.

El espesor determinado para la pantalla de hormigón es de 35 cm en todo el desarrollo de la misma, además, sabemos que la construcción de la pantalla se efectuará en fajas de 15 m de ancho, las cuales se ejecutarán de abajo hacia arriba. Para el hormigonado se debe utilizar moldaje deslizante de al menos 1,1 m de longitud, en el sentido de su desplazamiento (abajo-arriba), el cual será izado por medio de equipos especializados para esta función, ubicados en la parte superior de la presa. Se considera obligatorio el vibrado por inmersión, mediante métodos que eviten la flotación del moldaje. Otro

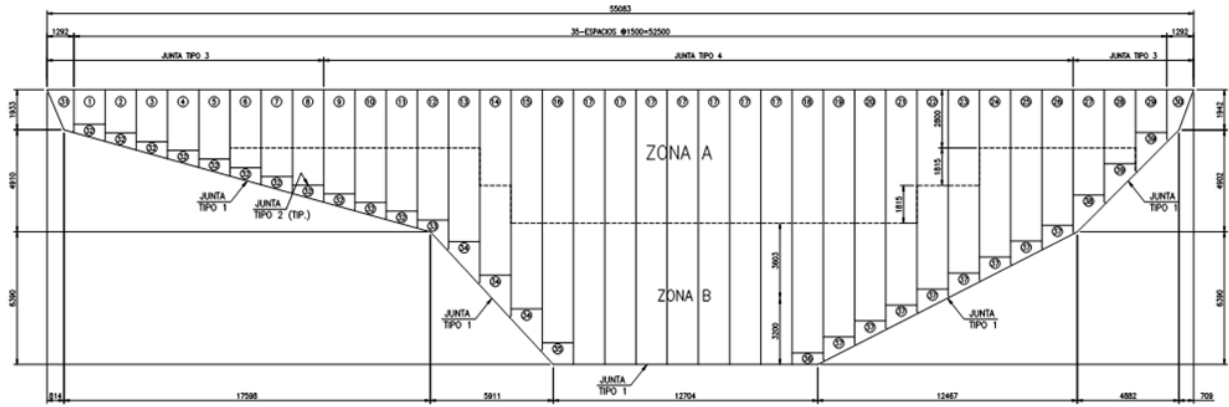
aspecto relevante, es que se deben evitar las juntas horizontales, excepto aquellas indispensables para el desarrollo de la actividad.



**Figura 8-8: Hormigonado de la pantalla de la presa con encofrado deslizante.**

*Fuente: Astaldi (2015).*

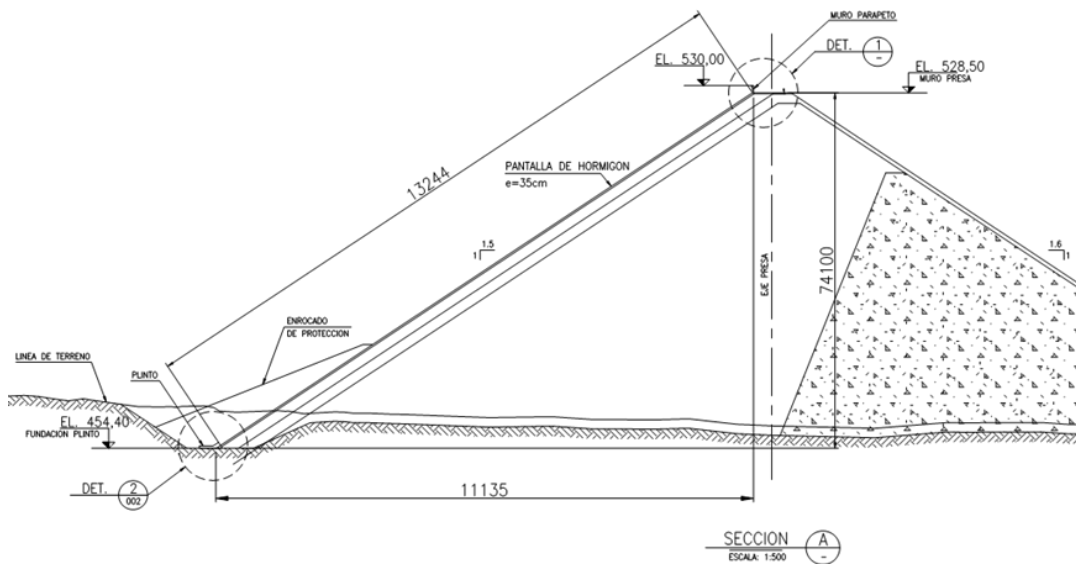
Para establecer la metodología de hormigonado de la pantalla se deben tener en cuenta las características físicas del muro, por ejemplo, su longitud, su altura y el talud de aguas arriba (donde va apoyada la pantalla). La longitud de coronamiento del muro es de 560 m, luego, considerando el ancho determinado para las fajas, la pantalla de hormigón se dividirá en 35 fajas, que en total alcanzan una extensión de 525 m. Los 35 metros restantes se dividen en dos fajas, una por cada empotramiento. En la siguiente figura se muestra la división en fajas de la pantalla de hormigón para la etapa de hormigonado.



**Figura 8-9: Vista en planta de la pantalla de hormigón.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Además, la presa tiene una altura de 70 m y un talud de 1,5:1,0 (H:V), lo que implica que las fajas centrales que se apoyan en el sector del lecho del estero tienen una longitud aproximada de 130 m. En la siguiente figura se presenta un esquema donde se puede apreciar lo explicado previamente.



**Figura 8-10: Vista transversal de la presa Las Palmas.**

*Fuente: Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas (2011).*

Para poder realizar una estimación de la extensión de las otras fajas, se revisaron los planos efectuados durante la ingeniería de detalles asociados a la pantalla de hormigón. A partir de esta información y de la cantidad total de hormigón requerido en la pantalla, se efectuó la siguiente aproximación.

**Tabla 8-9: Estimación de volumen de hormigón para las distintas fajas.**

Tipo de losa	Cantidad	Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Volumen por faja (m <sup>3</sup> )	Volumen total (m <sup>3</sup> )
Vecina al plinto (izq)	1	0,35	17,5	20	122,5	122,5
Ladera alta (izq)	7	0,35	15	50	262,5	1.837,5
Ladera (izq)	7	0,35	15	95	498,75	3.491,25
Central	7	0,35	15	130	682,5	4.777,5
Ladera (der)	7	0,35	15	95	498,75	3.491,25
Ladera alta (der)	7	0,35	15	50	262,5	1.837,5
Vecina al plinto (der)	1	0,35	17,5	20	122,5	122,5
<b>Total</b>	<b>37</b>					<b>15.680</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Con esta información es posible establecer una programación para el hormigonado de las distintas fajas, teniendo en consideración que se deben reducir al máximo las juntas horizontales. La metodología considerada para cada tipo de faja se detalla a continuación.

- Para las losas vecinas al plinto se requiere un volumen de 122,5 m<sup>3</sup> por faja, considerando que la capacidad útil de los camiones mixer es de 7 m<sup>3</sup>, se requieren 18 viajes para cumplir esta actividad. Por lo tanto, el hormigonado de estas losas se ejecutará en una sola etapa.
- Para las losas ubicadas en las laderas altas, se requiere un volumen de 262,5 m<sup>3</sup> por faja, lo cual se traduce en 38 viajes de camiones mixer para realizar el hormigonado en una sola etapa. Considerando que se posee una flota de 10 camiones mixer, cada camión debe realizar 4 viajes desde la planta hasta la zona de la presa para completar esta faena; luego, si se considera que se realizan 4 descargas de hormigón por hora, resulta factible ejecutar esta faena en una sola etapa. Si no existen imprevistos y la actividad se realiza de acuerdo a lo planificado, el hormigonado de estas fajas se completará en un turno de trabajo (10 horas).
- Respecto a las losas ubicadas en laderas, la cantidad de hormigón requerido aumenta de forma considerable si se compara con las anteriores, puesto que cada una de estas fajas requiere cerca de 500 m<sup>3</sup> de hormigón en total, un poco menos del doble del hormigón requerido para las losas analizadas previamente. Por lo tanto, es lógico pensar que si se doblan los esfuerzos se logrará realizar el hormigonado de estas fajas en una sola etapa. Para ello, se debe definir un turno de trabajo que permita realizar esta faena de forma continua, en este caso, siguiendo la lógica constructiva anterior, se necesitan aproximadamente 20 horas de hormigonado para cada una de las losas, lo cual es factible de realizar si se aplican las consideraciones pertinentes.
- Finalmente, para las fajas centrales, la cantidad de hormigón requerido para su construcción es aún mayor, debido a que estas presentan una mayor extensión. La cantidad de hormigón necesaria para cada una de estas losas asciende a 682,5 m<sup>3</sup> aproximadamente, por lo tanto, se requieren aproximadamente 100 viajes de

camiones mixer desde la planta productora de hormigón hasta la zona de la presa, teniendo en cuenta que se transportará un volumen aproximado de 7 m<sup>3</sup> por camión mixer. Considerando la misma frecuencia de descargas anterior, es decir, se realiza el vaciado del hormigón cada 15 minutos, lo que se traduce en 4 descargas por hora; se requieren 25 horas de hormigonado para completar la faena. Debido a la gran importancia que posee la construcción de la pantalla de hormigón para el desarrollo del proyecto, se planificará el hormigonado de las fajas centrales de forma tal que estas se puedan llevar a cabo en una sola etapa, teniendo en consideración que para lograr este objetivo se necesitará trabajar una cantidad de horas mayor a lo habitual (25 horas). Esta metodología de construcción es lo usual en la práctica actual cuando se trabaja con grandes volúmenes de hormigón.

Es evidente que para realizar el hormigonado de todas las losas contempladas en el proyecto, se exige un gran nivel de coordinación entre las distintas actividades que se realizan de forma simultánea o sucesiva, desde la producción del hormigón, el transporte del material, su vaciado en el sector correspondiente, los procedimientos de vibrado y curado del hormigón, etc. Para esto también se necesita que el personal encargado de llevar a cabo las diversas actividades sea capaz de cumplir con lo requerido de manera eficiente.

Cabe mencionar, que esta metodología representa una aproximación, ya que es notorio que, por ejemplo, no todas las fajas ubicadas en las laderas tienen el mismo largo como se consideró en este trabajo, por la conformación del valle del estero Las Palmas. Sin embargo, resultó interesante desarrollarla de esta manera para tener una idea de las cantidades que se requieren para la construcción de obras de esta magnitud y los rendimientos que se deben alcanzar para cumplir con los plazos establecidos.

- **Parapeto:**

Respecto al muro parapeto, este se construye una vez terminada la etapa de hormigonado de la pantalla. Las primeras actividades que se deben desarrollar son el armado de juntas selladas entre este elemento y la pantalla, la disposición de las armaduras correspondientes y la colocación del moldaje determinado en las especificaciones del proyecto.

El muro parapeto requiere un volumen de hormigón de 506 m<sup>3</sup> para su materialización. De acuerdo al plazo establecido en el programa de trabajo (2 meses), se necesita un rendimiento mensual de 253 m<sup>3</sup>, equivalente a 8,5 m<sup>3</sup> de hormigón al día aproximadamente para construir esta obra en tal plazo.

Este rendimiento no sería difícil de alcanzar teniendo en cuenta la capacidad de la flota de camiones mixer que posee el proyecto (70 m<sup>3</sup> aproximadamente) y la experiencia que se obtendría con el hormigonado de la pantalla de hormigón, donde se trabajaría con grandes cantidades de hormigón en un turno de trabajo de 10 horas (250 m<sup>3</sup> aproximadamente). Por lo tanto, considerando los factores mencionados previamente, es posible concluir que el plazo determinado para la construcción del parapeto en el programa de trabajo del embalse Las Palmas está sobredimensionado.

Para definir la metodología constructiva de esta obra, se debe considerar que la longitud del coronamiento de la presa es de 560 m. Luego, se pretende ejecutar esta actividad en 4 etapas, con lo cual, el hormigonado del parapeto se realizará en tramos de 140 m de largo.

Para cada una de estas etapas se requerirá una cantidad total de hormigón de aproximadamente 130 m<sup>3</sup>, por lo tanto, para desarrollar una etapa de forma cabal, cada camión mixer debe realizar dos viajes desde la planta de hormigón hacia la zona del coronamiento de la presa para descargar el material.

Considerando que las descargas de los camiones mixer se lleven a cabo cada 20 minutos, es decir, tres descargas por hora (20 m<sup>3</sup>/h aproximadamente), el hormigonado total de una etapa se completará en menos de 7 horas, lo cual representa un rendimiento factible de alcanzar y que, además, posee cierta holgura respecto al turno de trabajo estándar (10 horas).

Una vez realizado el hormigonado de un tramo de muro parapeto, comienza el proceso de curado del hormigón, el cual comenzará tan pronto se hayan retirado los moldes, y deberá prolongarse por al menos 7 días, según lo establecido en las especificaciones del proyecto.

### **8.3 Secuencia y programa de construcción**

En esta sección se realiza una descripción de la secuencia constructiva que se debe emplear para llevar a cabo el proyecto embalse Las Palmas, utilizando como base el programa de construcción definido en la ingeniería de detalles (ver figura 8-1).

En primer lugar, cabe señalar que el sistema de trabajo considerado para desarrollar dicho programa consiste en un turno de 10 horas por día, donde todas las actividades se llevarán a cabo en la jornada diurna, excepto las faenas asociadas a la construcción del túnel, en las cuales se considera un sistema que permita trabajar las 24 horas del día.

Esta consideración no se condice con la práctica actual en la construcción de presas, ya que, por lo general, el sistema de trabajo utilizado es aquel que permite trabajar día y noche, con el objetivo de mejorar la producción y amortizar los costos asociados al proyecto, principalmente de maquinarias. Por lo tanto, es conveniente considerar un sistema de dos turnos al día (10 horas cada uno) que cubra todos los días del mes.

Analizando el programa de construcción base, se pueden identificar ciertas deficiencias e incoherencias, por ejemplo, según lo mostrado en la figura 8-1, la actividad de producción de los materiales de empréstitos para los rellenos de la presa finalizaría antes de iniciar la construcción del muro principal, lo que no es factible, puesto que no existe un lugar donde se pueda acopiar el volumen total necesario para la construcción de la presa. Es evidente que esta planificación no es óptima, ya que, si se llevara a cabo este programa en la fase constructiva del proyecto, los recursos estarían siendo utilizados de forma errónea (sería como construir dos presas).



Otro de los aspectos deficientes del programa de construcción realizado en la ingeniería de detalles, es que no considera las actividades asociadas a la construcción del canal alimentador Las Palmas, obra muy relevante para el desarrollo del proyecto.

Por lo tanto, se concluye que el programa de trabajo definido en la ingeniería de detalles del proyecto (2011) está obsoleto, pues posee defectos muy considerables y no se ajusta a los conceptos utilizados en la práctica actual en construcción de presas.

En lo que sigue, se presenta un listado con las actividades que se deben desarrollar, de forma general, para la construcción del embalse Las Palmas:

1. En primer lugar, se prioriza la movilización e instalación de faenas, la cual se localizará en un sector ubicado aguas abajo del muro principal.
2. Con un desfase no mayor a 30 días, un frente de trabajo debe desarrollar los caminos de acceso hacia el área de empréstitos, área de obras de desvío, zona del muro secundario y acceso a la zona del evacuador de crecidas.
3. Un segundo frente de trabajo se encargará de llevar a cabo las tareas requeridas para la construcción del túnel de desvío, comenzando con las excavaciones del portal de entrada y de salida del mismo.
4. Otro frente de trabajo actuará en paralelo para desarrollar las obras del evacuador de crecidas y el muro secundario, una vez concluidas dichas obras se trasladarán los recursos que sean necesarios tanto de mano de obra como equipos al muro principal.
5. Posteriormente, se debe trabajar en la construcción de la obra de toma, ubicada en la ribera derecha del estero Las Palmas.
6. Con prioridad similar a la faena anterior, se debe llevar a cabo la construcción de la ataguía, localizada en el sector de aguas arriba de la presa.
7. El término de estas actividades influye directamente en el inicio de las actividades constructivas del muro principal, comenzando con el roce y despeje del área correspondiente a la presa, y posteriormente, ejecutando las excavaciones necesarias.
8. Cabe destacar, que debe existir un frente de trabajo que actúe de forma paralela en la construcción del canal alimentador Las Palmas, el cual debe trabajar de manera constante en el desarrollo de esta obra.
9. Un frente de trabajo se encargará de producir los materiales de relleno desde los empréstitos ubicados en la zona de inundación. Esta actividad se debe coordinar con el inicio de los procesos constructivos de la presa, de modo que exista un desfase no mayor a 10 días entre el inicio de ambas actividades.
10. Luego, se lleva a cabo la construcción de la presa, para lo cual, se implementa la metodología constructiva de colocación y compactación de los materiales de relleno explicada en la sección precedente.
11. Luego de iniciada esta actividad, es posible comenzar con las faenas asociadas a la construcción de los distintos tipos de plintos
12. Posteriormente se inicia la construcción de la cortina de inyecciones de impermeabilización, la cual se ejecutará 14 días después de haberse concretado la construcción del plinto.

13. Una vez finalizadas las faenas asociadas a la construcción del plinto y de la presa, se comienza a ejecutar la construcción de la pantalla de hormigón, la cual será hormigonada en fajas de 15 m de ancho, utilizando una metodología similar a la presentada anteriormente.
14. Una vez completada esta faena, se procede con la construcción del muro parapeto ubicado en el coronamiento de la presa.
15. Cabe señalar, que la construcción del tapón de cierre se debe coordinar con las actividades finales referentes a la construcción de la presa. La cámara de válvulas se construye de forma posterior, ya que esta se ubica a continuación del tapón.
16. Finalmente, se debe llevar a cabo el proceso de instrumentación de la presa, el cual tiene por objetivo controlar su comportamiento ante las distintas solicitaciones a las que se verá sometida.
17. Una vez terminado este proceso, se efectúa la puesta en marcha del embalse, llevando a cabo el procedimiento determinado para el primer llenado.

El último aspecto que se desarrolla en este capítulo, guarda relación con realizar una comparación entre las actividades que se deberían estar ejecutando de acuerdo al programa preliminar analizado y las actividades que efectivamente se están llevando a cabo en el proyecto, teniendo en cuenta la fecha en la que comenzó la construcción del embalse Las Palmas.

Para llevar a efecto esta comparación, se debe señalar que el inicio de la ejecución de las obras fue el mes de septiembre del año 2019, por lo tanto, si analizamos el informe oficial del proyecto más actual, correspondiente al informe ejecutivo de febrero del año 2022, han transcurrido 29 meses en total desde aquel hito.

Observando la carta Gantt mostrada en la figura 8-1, se puede notar que en el vigésimo noveno mes de trabajo se deberían estar ejecutando las últimas tareas asociadas a la construcción del muro principal, finalizando la construcción de la cámara de válvulas e iniciando el proceso de instrumentación de la presa.

Por otro lado, el informe oficial de la “Concesión Embalse Las Palmas” correspondiente al mes de febrero del 2022, señala que se están ejecutando las siguientes partidas:

- Variantes a rutas enroladas.
- Excavaciones y obras civiles en túnel de desvío.
- Excavación y limpieza en muro principal.
- Rellenos de ataguía.
- Excavación de evacuador de crecidas.
- Obras de construcción en estaciones fluviométricas.

Finalmente, se menciona que el avance de la obra en general al mes de febrero de 2022 es del 21%.

En la siguiente ilustración se reproduce una parte del registro fotográfico presentado en el informe oficial analizado (febrero 2022).



**Figura 8-11: Vista general de la zona del muro principal y del túnel de desvío.**

*Fuente: Dirección General de Concesiones (2022).*

Existe una diferencia notoria entre las actividades proyectadas en el programa preliminar analizado y lo que se está desarrollando en la realidad, tomando como referencia el vigésimo noveno (29) mes de trabajo.

Del análisis realizado se concluye que, en primer lugar, el plazo total establecido por el programa de trabajo realizado en la ingeniería de detalles (32 meses) no se adecúa a los plazos determinados para proyectos de características similares. Por ejemplo, en el caso del embalse Chironta, la duración de la fase de construcción del proyecto asciende a 43 meses aproximadamente.

Sin embargo, aunque se haya considerado un plazo mayor en el programa de trabajo, resulta muy cuestionable que a 29 meses del inicio de las obras del embalse Las Palmas se alcance un porcentaje de avance de tan solo el 21%. Esta situación atenta contra el futuro del proyecto, ya que existe la posibilidad de que se generen inconvenientes en los temas contractuales asociados y, además, contribuye a que la percepción de la comunidad con respecto al proyecto sea más negativa.

## 9 Conclusiones

### 9.1 Cumplimiento de objetivos

De acuerdo con lo indicado en el punto 1.2 del presente informe, se puede concluir que el objetivo general de esta memoria se ha cumplido de manera satisfactoria, ya que mediante las distintas investigaciones realizadas a lo largo de este estudio fue posible revisar todos los procesos de interés identificados en el desarrollo del proyecto Embalse Las Palmas. Del análisis realizado se concluye que, en general, el estándar de diseño considerado en el proceso ingenieril desarrollado para el embalse Las Palmas es adecuado, sin embargo, la investigación realizada deja en evidencia ciertas deficiencias en la construcción del proyecto en el ámbito técnico-social, las que serán detalladas más adelante.

Respecto a los objetivos específicos planteados en este trabajo, se deben señalar los siguientes logros:

- El estudio de las etapas de diseño del Embalse Las Palmas permitió comprender el desarrollo completo de un proyecto de ingeniería de gran envergadura. Se logró asimilar el vínculo entre las distintas etapas, con el fin de definir el diseño óptimo de las obras a construir, y el aporte que entrega cada una de estas para alcanzar tal objetivo. De lo último se concluye que, el estudio de prefactibilidad otorgó, dentro de una gama de alternativas, aquella más rentable de ser ejecutada. Luego, en la etapa de factibilidad se llevó a cabo un diseño a nivel conceptual de las obras más relevantes que deben ser construidas en el marco del proyecto. Finalmente, en la ingeniería de detalles se realizó una optimización al diseño de las obras considerado anteriormente, basado en antecedentes más detallados y estudios más completos, determinando el diseño definitivo de las obras contempladas en el proyecto embalse Las Palmas.
- Respecto al análisis de los planes ambientales definidos para el embalse en estudio, se concluye que el objetivo propuesto se cumplió plenamente, ya que fue posible obtener toda la documentación ambiental del proyecto para su posterior revisión y análisis. De esta se desprende que, los estudios realizados en materia ambiental son completos y cumplen con lo establecido en las leyes ambientales vigentes. En estos se identificaron y valoraron los impactos ambientales que serán ocasionados por la ejecución del proyecto y se propusieron medidas que permitan mitigarlos o compensarlos.
- Otro de los objetivos que se cumplió de manera satisfactoria, fue conocer la realidad de las personas afectadas por la ejecución del proyecto, donde se pudo constatar los impactos que genera un proyecto de esta magnitud en las comunidades aledañas. En particular, se descubrió que la relación comunitaria en el Embalse Las Palmas se encuentra muy alejada de lo ideal, esto debido principalmente a que la empresa encargada de la construcción del proyecto

(CHEC) no se ha interesado en adoptar los compromisos sociales requeridos para que la ejecución de las obras no perjudique a las comunidades locales.

- El proceso de adjudicación del contrato de concesión del Embalse Las Palmas fue revisado de manera completa, de este surgen interrogantes, ya que la oferta económica de la empresa triunfadora se aleja del orden de las ofertas de los otros grupos licitantes interesados en la concesión del proyecto en estudio. Sin embargo, no se efectuó un análisis más detallado de la oferta propiamente tal, pues no estaba considerado dentro de los alcances del presente informe.
- Respecto a la planificación de construcción, se debe mencionar que esta se logró realizar de manera parcial, pues no se logró el objetivo de incluir un programa de construcción detallado para la presa CFRD contemplada en el proyecto. El principal factor que influyó en este aspecto fue el no tener acceso al programa de construcción definitivo para las obras del embalse. A pesar de lo anterior, se propuso una metodología de construcción para las principales actividades y procesos presentes en el desarrollo del proyecto, de acuerdo a las características de la práctica actual en la construcción de este tipo de obras. También se presentó una secuencia constructiva de las principales actividades que se deben desarrollar para la construcción del embalse Las Palmas, la cual permite comprender la estrategia que se debe emplear para llevar a cabo una obra de estas características.

## 9.2 Comentarios

La zona en la cual se emplazará el Embalse Las Palmas es una de las más afectadas por la crisis hídrica que azota al país, en este contexto, la construcción de una obra ingenieril que permita almacenar el agua que cae durante la época de invierno, para que luego pueda ser utilizada por los pobladores para el desarrollo de la actividad agrícola, era vista como una solución coherente respecto a los impactos que ha generado esta problemática en las comunidades locales, pues la construcción y posterior operación de un embalse permitiría mejorar la producción agrícola, lo que significaría mejores condiciones económicas y sociales para aquellos que han sido más perjudicados. Sin embargo, al llevar a cabo un análisis completo del proyecto se pudo identificar que el desarrollo del mismo en la actualidad presenta bastantes contradicciones, las que serán abordadas a continuación.

Para comprender de mejor manera un proyecto como éste, resulta conveniente recordar la cita destacada en el tercer capítulo del presente informe:

*“Las grandes obras de ingeniería que una vez fueron el factor facilitador del desarrollo agrícola, hoy deben diseñarse de modo diferente, con la finalidad de considerar escenarios climáticos y sociales cambiantes en un país altamente urbanizado.”*

Desde el punto de vista técnico, el diseño de la presa Las Palmas, obra principal del proyecto, se puede considerar apropiado, pues este se llevó a cabo siguiendo los estándares utilizados en la práctica actual respecto a la construcción de presas CFRD.

El diseño de las obras más importantes para el desarrollo del proyecto, como la pantalla de hormigón, el plinto y la distribución de los materiales de relleno, se realizó utilizando criterios conservadores reportados en la literatura técnica especializada en el tema. La elección de los taludes de la presa y el ancho de coronamiento, se definieron de acuerdo a la experiencia en el diseño de presas similares a nivel nacional.

La principal crítica que se puede realizar al diseño del proyecto, se refiere a la falta de optimización del tamaño del embalse frente a los beneficios asociados a la operación del mismo, ya que las dimensiones consideradas no han sido definidas ni justificadas mediante análisis técnico económicos objetivos. Esta observación fue realizada por el consultor encargado de la ingeniería de detalles del proyecto (2011) y hasta la fecha no existe ningún estudio que demuestre que la solución propuesta es la que otorgará mayores beneficios.

También se puede comentar que, en el transcurso de los estudios de ingeniería desarrollados para el proyecto, el valle de Petorca se identifica como un sector que posee excelentes condiciones agroclimáticas para el desarrollo de la agricultura. Sin embargo, el análisis realizado en el presente estudio da cuenta que la situación actual en la zona de emplazamiento del embalse ha cambiado drásticamente, pues está experimentando una profunda crisis hídrica.

En este contexto, resulta necesario mencionar que, durante el año 2021, la empresa concesionaria solicitó la suspensión del contrato de construcción del embalse Las Palmas, justificando dicha solicitud con estudios referentes a la escasez de agua en la zona. Por tanto, es posible señalar que el embalse en estudio no se ha diseñado según el enfoque contemporáneo, que considera escenarios climáticos y sociales cambiantes.

Otro factor sumamente relevante, es que el diseño del embalse no consideró la principal necesidad identificada por los habitantes del sector, la falta de agua potable para consumo humano. Es evidente que un diseño más adecuado para este proyecto, teniendo en cuenta el escenario social en el cual estará inserto, sería el de un embalse multipropósito.

Durante el desarrollo de este trabajo fue posible visitar la zona de emplazamiento del embalse Las Palmas, donde se advirtieron los problemas que viven las personas afectadas por la crisis hídrica, debiendo realizar distintas maniobras e implementando soluciones “caseras” para poder utilizar el limitado acceso que poseen a un recurso tan vital como el agua. Es incuestionable que las políticas asociadas a la gestión de este recurso han sido deficientes en gran parte del país, donde la inequidad del acceso al agua representa una de las grandes demandas sociales actuales a nivel nacional.

En este contexto, resulta frustrante que el proyecto Las Palmas no haya considerado ni siquiera un diseño conceptual de embalse multipropósito que permita aportar con agua potable a la comunidad local, presentando gran inconsistencia y desconexión con las necesidades de la población.

Una vez realizado el análisis completo del proyecto, se puede concluir que el plan nacional de embalses no ha otorgado soluciones reales, efectivas y oportunas al principal problema, la falta de agua potable.

Otro aspecto negativo en la ejecución del proyecto, es el relacionamiento comunitario de la empresa concesionaria, el cual fue abordado de manera amplia en el capítulo 7. En este sentido, se requiere que las empresas concesionarias encargadas de los proyectos públicos en el país se comprometan realmente a cumplir con la normativa vigente y a resolver las posibles problemáticas que surjan en el desarrollo del proyecto, con el objetivo de que la relación con la comunidad afectada sea óptima. En caso que este tipo de acciones no tenga cabida en los respectivos contratos, es el Estado con sus instituciones quien debe hacerse cargo de las externalidades negativas.

Respecto al desarrollo del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto, se puede concluir que, a pesar que este propone diversas medidas para los componentes ambientales que serán impactados, la investigación en terreno permitió confirmar que estas no son del todo eficientes. Se debe analizar si la verdadera intención de los EIA en el país es ayudar a las comunidades afectadas y proteger al medio ambiente, o simplemente se visualiza como un proceso burocrático que se debe realizar para cumplir con la ley vigente y poder seguir adelante con la ejecución del proyecto.

Además, en el proyecto embalse Las Palmas se identifican varios aspectos establecidos en el informe de la Comisión Mundial de Represas (ver sección 2.2.1), por ejemplo, las personas afectadas por la ejecución del proyecto no han participado en las negociaciones de los beneficios futuros, la información que se ha entregado a la comunidad ha sido insuficiente, las medidas propuestas por el titular del proyecto no se han cumplido según lo establecido, entre otros. Cabe mencionar la posibilidad de que este proyecto se haya aprobado por la oportunidad de enriquecimiento personal de aquellos encargados de tomar las decisiones, pues tal como se mencionó anteriormente, la gran dimensión de este embalse no es acorde a las condiciones climáticas e hidrológicas presentes en la zona de emplazamiento.

Como comentario final, siguiendo los lineamientos del informe de la WCD, es necesario impulsar alguna política o plan nacional que evite la ejecución de obras que beneficien lo económico por sobre lo social y ambiental, basado en el escenario actual que considera el desarrollo sostenible como ámbito primordial.

## 10 Bibliografía

- AC Ingenieros Consultores Ltda. - Dirección de Obras Hidráulicas. (2007). *Estudio de factibilidad: Obras de Regulación para los Valles de La Ligua y Petorca.*
- Arcadis Chile - Dirección de Obras Hidráulicas. (2011). *Estudio de Diseño Construcción Sistema de Regadío Valle de Petorca.*
- Astaldi. (2015). *Estrategia de trabajo. Concesión de la Obra Pública Embalse La Punilla.*
- Besalco S.A. - Dirección de Obras Hidráulicas. (2016). *Propuesta Económica "Construcción Embalse Chironta"*
- Besalco S.A. - Dirección de Obras Hidráulicas. (2016). *Propuesta Técnica "Construcción Embalse Chironta"*
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2012). *Situación de sequía y sus efectos en la región de Valparaíso.*
- Comisión de Evaluación Región de Valparaíso. (2016). *Resolución de Calificación Ambiental "Embalse de Regadío Las Palmas".*
- Comisión Nacional de Riego. (junio, 2019). *Presidente Piñera lanza Plan de Embalses para beneficiar a 150 mil agricultores y comunas rurales: "El objetivo es transformar a Chile en una potencia agroalimentaria".* Ministerio de Agricultura. Recuperado de <https://www.cnr.gob.cl/presidente-pinera-lanza-plan-de-embalses-para-beneficiar-a-150-mil-agricultores-y-comunas-rurales-el-objetivo-es-transformar-a-chile-en-una-potencia-agroalimentaria/>
- Comisión Nacional de Riego. (s.f.). *Plan de Regulación y Embalses.* Ministerio de Agricultura. Recuperado de <https://www.cnr.gob.cl/agricultores/infraestructura/infraestructura/embalses/>
- Comisión Mundial de Represas. (2000). *Represas y Desarrollo: Un nuevo marco para la toma de decisiones.* Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/read/14524428/represas-y-desarrollo-un-nuevo-marco-para-la-toma-decisiones>
- Cygsa Chile S.A. – Dirección de Obras Hidráulicas. (2003). *Diagnóstico de las obras de Riego de los valles de La Ligua y Petorca.*
- Dirección de Obras Hidráulicas. (enero, 2016). *Plan Nacional de Embalses.* Ministerio de Obras Públicas. Recuperado de [https://www.mop.cl/participacion\\_ciudadana/Documents/cosoc/actas/ANEXO\\_SESION\\_8\\_N\\_2\\_COSOC\\_MOP\\_14012016.pdf](https://www.mop.cl/participacion_ciudadana/Documents/cosoc/actas/ANEXO_SESION_8_N_2_COSOC_MOP_14012016.pdf)



- Dirección General de Aguas. (agosto, 2021). *Segundo Informe Consolidado de solicitudes temporales amparadas en los decretos de escasez. Periodo 2020-2021*. Ministerio de Obras Públicas. Recuperado de [https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/segundo\\_reporte\\_escasez\\_agosto\\_2021.pdf](https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/segundo_reporte_escasez_agosto_2021.pdf)
- Dirección General de Concesiones. *Concesión Embalse Las Palmas*. Ministerio de Obras Públicas. Recuperado el 15 de abril de 2022 de [http://www.concesiones.cl/proyectos/Paginas/detalle\\_adjudicacion.aspx?item=192](http://www.concesiones.cl/proyectos/Paginas/detalle_adjudicacion.aspx?item=192)
- Dirección General de Obras Públicas. (2017). *Bases de Licitación del Proyecto "Concesión Embalse Las Palmas"*. Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección General de Obras Públicas. (2018). *Acta de Calificación de las Ofertas Económicas "Concesión Embalse Las Palmas"*. Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección General de Obras Públicas. (2018). *Acta de Evaluación de las Ofertas Técnicas "Concesión Embalse Las Palmas"*. Ministerio de Obras Públicas.
- Espinosa, M. (2010). *Ingeniería de Presas de Escollera*
- Gandarillas, H. y Gandarillas, L. (2010). *Enfoques de diseño de presas de enrocado con membrana impermeable*. Recuperado de <https://studylib.es/doc/8906416/enfoque-de-dise%C3%B1o-de-presas-de-enrocado-con-membrana-impe...>
- Garreaud, R. (noviembre, 2015). *La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. Recuperado de <https://www.cr2.cl/informe-a-la-nacion-la-megasequia-2010-2015-una-leccion-para-el-futuro/>
- Hidrogestión - Dirección de Obras Hidráulicas. (2005). *Informe de prefactibilidad: Evaluación Social de Embalses de Riego para los Valles de Ligua y Petorca V Región*.
- Imhof, A., Wong, S., y Bosshard, P. (2002). Guía Ciudadana sobre la Comisión Mundial de Represas. *International Rivers Network*. Recuperado de [https://www.archivochile.com/Chile\\_actual/patag\\_sin\\_repre/03/chact\\_hidroay-3%2000017.pdf](https://www.archivochile.com/Chile_actual/patag_sin_repre/03/chact_hidroay-3%2000017.pdf)
- Instituto Nacional de Derechos Humanos. (2018). *Informe Misión de Observación. Provincia de Petorca*. Recuperado de <https://bibliotecadigital.indh.cl/bitstream/handle/123456789/774/mision-petorca-2018.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

- Instituto Nacional de Derechos Humanos. (marzo, 2021). *Corte Suprema revoca fallo y fija un mínimo de 100 litros de agua por persona al día para Petorca*. Recuperado de [https://www.indh.cl/corte-suprema-revoca-fallo-y-fija-un-minimo-de-100-litros-de-agua-por-persona-al-dia-para-petorca/?fbclid=IwAR0juUV6DXZOrE2cuwCfQdhogmH28XGq2Nj9O-yKP6pNFmjU\\_4EoUICfezo](https://www.indh.cl/corte-suprema-revoca-fallo-y-fija-un-minimo-de-100-litros-de-agua-por-persona-al-dia-para-petorca/?fbclid=IwAR0juUV6DXZOrE2cuwCfQdhogmH28XGq2Nj9O-yKP6pNFmjU_4EoUICfezo)
- Materón, B. *Innovative Design and Construction Methods for CFRD's*. Recuperado de [https://nanopdf.com/download/innovative-design-and-construction-methods\\_pdf](https://nanopdf.com/download/innovative-design-and-construction-methods_pdf)
- Materón, B. (octubre, 2015). *Curso sobre Diseño y Construcción de presas de Enrocado Compactado con Cara de Concreto*. Comité Nacional Chileno de Grandes Presas.
- Morales, P. (abril, 2021). *Escasez hídrica en Chile y las proyecciones del recurso*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32023/3/Escas ez%20hi%CC%81drica%20en%20Chile%20y%20las%20proyecciones%20del%20recurso.pdf>
- Muñoz, A., Klock-Barría, K., Alvarez-Garretón, C., Aguilera-Betti, I., González-Reyes, A., Lastra, J.,... LeQuesne, C. (2020). Water Crisis in Petorca Basin, Chile: The Combined Effects of a Mega-Drought and Water Management. *Water*, 12(3), 648. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/3/648>
- Ochoa, A. (2021). *Guía para preparar la planificación de construcción Obras Civiles Embalse Chironta*.
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2016). *Taller: Fortalecimiento de la Evaluación Ambiental de Proyectos en el SEIA*.
- SIGA Ingeniería y Consultoría S.A. – Dirección de Obras Hidráulicas. (2015). *Estudio de Impacto Ambiental Embalse de Regadío Las Palmas*.
- USBR. Bureau of Reclamation. (1987). *Design of Small Dams*.
- Yepes, V. (2014). *¿Qué son los áridos?* [Fotografía]. Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/produccion-de-aridos/>