



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

**ANÁLISIS FACTIBILIDAD Y PROPUESTAS TÉCNICAS PARA OPTIMIZAR  
CONSTRUCCIÓN DE EMBALSE LA TRANCA EN RÍO COGOTÍ**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CAMILO ANTONIO PONCE CASTRO

PROFESOR GUÍA:  
ADOLFO OCHOA LLANGATO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
EZEQUIEL CAMUS HAYDEN  
DAVID CAMPUSANO BROWN

SANTIAGO DE CHILE  
2022

RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
POR: CAMILO ANTONIO PONCE CASTRO  
FECHA: 2022  
PROF. GUÍA: ADOLFO OCHOA LLANGATO

## **ANÁLISIS FACTIBILIDAD Y PROPUESTAS TÉCNICAS PARA OPTIMIZAR CONSTRUCCIÓN DE EMBALSE LA TRANCA EN RÍO COGOTÍ**

El desarrollo de un embalse es un desafío ingenieril de alta complejidad, corresponde a un proyecto integral de manejo hídrico para mejorar la sustentabilidad de la zona donde se desea implementar. Este tipo de obras requiere de gran estudio desde el punto de vista técnico, para plantear la mejor solución, optimizando los recursos disponibles, además de considerar el impacto al medio ambiente y cómo se afecta a los pobladores de las localidades cercanas. Para llevar a cabo estas obras, se deben cumplir una serie de etapas, como estudios de pre-factibilidad, factibilidad, diseño y construcción. Estas etapas son necesarias para buscar una mejora continua del proyecto, compatibilizando tres ejes principales, su factibilidad técnica, impacto ambiental, beneficios y prejuicios que este trae a las comunidades.

En el presente trabajo de título se analizan los estudios de factibilidad del proyecto Embalse la Tranca en Río Cogotí, con la finalidad de identificar sus limitantes, proponer mejoras y estudiar una metodología de construcción para la presa del embalse. Cabe destacar que el proyecto está paralizado desde el año 2017 en su fase de diseño por conflictos con comunidades de la zona. Por lo que también se aborda esta problemática, destacando la importancia de la relación con las comunidades al momento de desarrollar proyectos de construcción.

La construcción de esta obra civil puede ser una solución frente a la escasez hídrica que afecta a la comuna de Combarbalá, mejorando la seguridad de riego para la agricultura y generando redes a abastecimiento a los APRs deficitarios. Bajo este contexto se plantean acciones para seguir perfeccionando la propuesta de construcción con miras a ser un aporte positivo para la economía de la comuna y calidad de vida de sus habitantes.

Otro aspecto relevante es la ineficiencia que presentan estos proyectos al comparar los plazos planificados con los reales. El estudio de bibliografía complementaria y la metodología de construcción para la presa CFRD propuesta, permiten contextualizar el proyecto además de identificar fuentes de pérdidas e ineficiencia que se pueden presentar durante la construcción, afectando los plazos y calidad del producto final. Estas fuentes son estudiadas con el fin de reducir sus efectos negativos en la construcción del embalse respecto a los plazos y uso de recursos. Para lo anterior se propone una mejora constante de los procesos constructivos, optimizando el flujo de actividades al fortalecer la planificación, control y comunicación entre los equipos de trabajo, bajo el enfoque del Lean Construction.

# Agradecimientos

En primer lugar agradezco a mi familia por ser una apoyo durante todo mi proceso de formación como persona y profesional. A mi padre por ser un ejemplo a seguir y mostrarme que las metas se cumplen a base de esfuerzo y perseverancia. A mi madre por desvelarse estudiando conmigo cuando estuve en el colegio y durante la revisión del trabajo. Esto es gracias a ustedes.

A todos mis amigos y gente importante que estuvo al lado mio durante mi paso por la universidad. En especial a Erick Lemus por su paciencia y ayuda en los primeros años de la carrera.

A Teresita, se que siempre estoy en sus pensamientos y siempre quiere lo mejor para mi. Sus comidas en el campo son lo mejor.

A Lucy por ser una constante motivación en mi vida, las conversaciones con ud siempre están en mi memoria.

Al Profesor Adolfo Ochoa por ser parte de este proceso y ayudarme en la elaboración del trabajo de título durante el último año.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	2
1.2. Objetivos . . . . .	4
1.2.1. Objetivos generales . . . . .	4
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	4
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
2.1. Estudios MN Ingenieros . . . . .	5
2.2. Proyecto de Presa . . . . .	6
2.2.1. Etapas proyecto de presa . . . . .	7
2.3. Diseño de presas pequeñas . . . . .	10
2.3.1. Planificación . . . . .	10
2.3.2. Elección tipo de presa . . . . .	10
2.3.2.1. Estudios básicos . . . . .	11
2.3.3. Presas de escollera . . . . .	13
2.3.3.1. Tipo de pantalla . . . . .	14
2.3.3.2. Requisitos y tratamiento de cimentación . . . . .	15
2.3.3.3. Colocación material de escollera . . . . .	16
2.4. Manual para Obras de Aprovechamiento Hidráulico . . . . .	18
2.4.1. Factibilidad . . . . .	19
2.4.2. Ejecución de Obras . . . . .	20
<b>3. Proyecto Embalse La Tranca</b>	<b>22</b>
3.1. Ubicación del proyecto . . . . .	22
3.1.1. Sitio para la presa . . . . .	23
3.2. Tipo de presa y zonificación cuerpo de presa . . . . .	26
3.2.1. Yacimientos . . . . .	28
3.3. Prospecciones en fondo de presa . . . . .	30
3.4. Condiciones hidrológicas . . . . .	31
3.5. Situación demográfica . . . . .	32
3.6. Apoyo a sistemas de APR . . . . .	33
3.6.1. Criterios de exclusión . . . . .	33
3.6.2. Sistemas APRs abastecidos por embalse La Tranca . . . . .	35
3.7. Eje ambiental y mitigación . . . . .	36
3.8. Participación Ciudadana . . . . .	39
<b>4. Metodología de construcción presa CFRD</b>	<b>42</b>
4.1. Roce, escarpe y descepe . . . . .	43

4.2.	Instalación de Faena . . . . .	46
4.2.1.	Laboratorios de hormigones y mecánica de suelos . . . . .	46
4.2.2.	Desmovilización y cierre . . . . .	47
4.3.	Desvío de camino público D-779 . . . . .	48
4.3.1.	Preparación subrasante . . . . .	49
4.3.2.	Base granular con rodadura . . . . .	51
4.4.	Obras de desvío . . . . .	52
4.4.1.	Túnel de desvío . . . . .	53
4.4.2.	Ataguía . . . . .	57
4.5.	Construcción de la presa . . . . .	60
4.5.1.	Excavaciones . . . . .	60
4.5.1.1.	Obras de drenaje . . . . .	61
4.5.1.2.	Excavación en material común . . . . .	61
4.5.1.3.	Excavación en roca . . . . .	62
4.5.1.4.	Zonas de excavación para presa . . . . .	63
4.5.2.	Plinto . . . . .	65
4.5.3.	Cortina de impermeabilización . . . . .	70
4.5.3.1.	Perforaciones . . . . .	71
4.5.3.2.	Inyecciones de lechada . . . . .	71
4.5.4.	Yacimientos . . . . .	73
4.5.4.1.	Propuestas de nuevos sectores de explotación . . . . .	73
4.5.4.2.	Excavaciones . . . . .	76
4.5.5.	Colocación de rellenos . . . . .	78
4.5.5.1.	Material Zona 1 . . . . .	79
4.5.5.2.	Material Zona 2 . . . . .	80
4.5.5.3.	Material Zona 3 . . . . .	85
4.5.5.4.	Procedimiento general . . . . .	91
4.6.	Pantalla de hormigón . . . . .	93
<b>5.</b>	<b>Discusión</b>	<b>101</b>
5.1.	Condiciones preliminares del proyecto . . . . .	101
5.1.1.	Características del emplazamiento . . . . .	101
5.1.2.	Stakeholders del proyecto . . . . .	103
5.1.3.	Prioridades en la DOH . . . . .	105
5.1.4.	Situación hídrica . . . . .	106
5.2.	Atrasos en desarrollo de proyectos . . . . .	107
5.2.1.	Modelo diseño, licitación, construcción . . . . .	108
5.2.2.	Pérdidas de materiales y eficiencia durante el desarrollo del proyecto . . . . .	109
5.2.2.1.	Problemas con el material de construcción . . . . .	109
5.2.2.2.	Bajos rendimientos e incumplimiento de objetivos . . . . .	112
5.3.	Recomendaciones para el proyecto Embalse La Tranca . . . . .	117
5.3.1.	Lean Construction . . . . .	117
5.3.2.	Uso Last Planner para el proyecto . . . . .	118
5.3.3.	Implementación BIM . . . . .	120
5.3.4.	Prevenir pérdidas . . . . .	121
5.3.5.	Estado actual y recomendaciones . . . . .	125
5.3.6.	Cambiar el volumen del embalse . . . . .	127

5.3.7. Ampliar abastecimiento de APRs . . . . .	128
<b>6. Conclusiones</b>	<b>130</b>
6.1. Cumplimientos de objetivos . . . . .	130
6.2. Comentarios finales . . . . .	132
<b>7. Bibliografía</b>	<b>133</b>

# Índice de Tablas

3.1.	Ventajas y desventajas de Sitio La Tranca II; Elaboración propia; Fuente Estudios factibilidad MN Ingenieros. . . . .	25
3.2.	Resumen zonas y características; Fuente: Estudios de factibilidad MN Ingenieros.	27
3.3.	Volúmenes requeridos; Fuente: Estudios factibilidad. . . . .	29
3.4.	Caudales promedio río Cogotí; Fuente: DGA. . . . .	31
3.5.	Crecidas de diseño La Tranca; Fuente: Estudios factibilidad MN Ingenieros. . .	31
3.6.	Localidades posibles de ser abastecidas por embalse La Tranca y criterio de exclusión. . . . .	34
4.1.	Propuesta Embalse 25 Hm3 para metodología. . . . .	43
4.2.	Características variante Ruta D-779. . . . .	49
4.3.	Secciones desvío del río. . . . .	53
4.4.	Granulometría material de ataguía. . . . .	57
4.5.	Taludes de excavación en material común . . . . .	61
4.6.	Carga lineal explosivos; Fuente: Especificaciones Técnicas de proyecto Embalse Chironta. . . . .	62
4.7.	Espaciamiento entre inyecciones. . . . .	71
4.8.	Características lechada de inyección. . . . .	71
4.9.	Presiones máximas de inyección según profundidad. . . . .	72
4.10.	Cubicaciones yacimientos propuestos. . . . .	75
4.11.	Granulometría relleno 2B. . . . .	81
4.12.	Granulometría relleno 3A. . . . .	86
4.13.	Granulometría 3B y 3C parte 1. . . . .	87
4.14.	Granulometría 3B y 3C parte 2. . . . .	88
4.15.	Cubicaciones rellenos; Fuente: Estudios de factibilidad; Elaboración propia. . .	92
5.1.	Caudales y precipitaciones medias últimos años; Elaboración propia; fuente: DGA.	106
5.2.	Comparación tamaños de embalse; Fuente: Elaboración propia, adaptada de estudios de factibilidad. . . . .	128

# Índice de Ilustraciones

2.1.	Procedimiento en proyectos presas. . . . .	6
2.2.	Diagrama Flujo Selección de alternativas de proyectos. Elaboración propia; Fuente: Ingeniería de presas de escollera. . . . .	10
2.3.	Diagrama Flujo elección de alternativas de presas. Elaboración propia. . . . .	13
2.4.	Pantalla aguas arriba (a) y Pantalla central (b). . . . .	14
2.5.	Zonas materiales de presas de escollera; Fuente: Diseño de presas pequeñas. . .	16
2.6.	Ciclo de vida proyecto de riego. Fuente: Manual para obras de Aprovechamiento Hidráulico. . . . .	19
3.1.	Ubicación zona de estudio; Fuente: Estudio de factibilidad. . . . .	22
3.2.	Sitio La Tranca II; Fuente: Google Earth. . . . .	24
3.3.	Presa CFRD tipo; Fuente: EETT Embalse Chironta. . . . .	26
3.4.	Sectores de yacimientos y calicatas; Elaboración propia. . . . .	28
3.5.	Ubicación sondajes respecto al eje de presa; Elaboración propia. . . . .	30
3.6.	Población Combarbalá; Fuente: INE 2022. . . . .	32
3.7.	Trazado sistema APR abastecido por Embalse la Tranca. Fuente: Estudio MN Ingenieros 2011 . . . . .	35
4.1.	Limpieza de terreno con cargador frontal. . . . .	44
4.2.	Tramo de ruta D-779 inundada. Elaboración Propia. . . . .	48
4.3.	Trazado referencial variante D779. Elaboración propia. . . . .	51
4.4.	Esquema obras de desvío; Elaboración propia. . . . .	52
4.5.	Geometría secciones del desvío; Fuente: Estudios MN Ingenieros. . . . .	54
4.6.	Esquema perforaciones para tronadura en túnel; Elaboración propia. . . . .	56
4.7.	Acumulación de rellenos en laderas; Fuente Ing. Presas de Escollera. . . . .	58
4.8.	Cierre progresivo; Fuente Ing. Presas de Escollera. . . . .	59
4.9.	Técnicas de sostenimiento. . . . .	63
4.10.	Planta excavaciones fundación presa; Fuente: DOH. . . . .	64
4.11.	Sección Típica Plinto; Fuente: Maruala And Pinto, 2000. . . . .	66
4.12.	Moldaje plinto; Presa de Itapebi, Brasil. . . . .	68
4.13.	Junta Plinto-Muro en lecho del río, Presa Limón/Olmos, Perú; Fuente Ing. Presas de Escollera. . . . .	69
4.14.	Construcción plinto en ladera Presa Potrerillos, Argentina; Fuente: Ing. de Presas de Escollera. . . . .	69
4.15.	Animación cortina de impermeabilización EETT Chironta vista desde el subsuelo; Fuente: DOH. . . . .	70
4.16.	Sector El Durazno, Aguas arriba de la presa; Elaboración propia. . . . .	74
4.17.	Sector Las Barrancas, Aguas abajo de la presa; Elaboración propia. . . . .	75
4.18.	Zonas de Rellenos presa CFRD; Fuente: Conferencia 50 aniversario S.V.G . . .	79
4.19.	Detalle rellenos al pie de presa (Presa Potrerillos); Fuente: Ing. presas de escollera.	80

4.20.	Transporte materiales 2B; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas. . . . .	82
4.21.	Esparcido finisher; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas. . . . .	83
4.22.	Compactación 2B. Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas. . . . .	83
4.23.	Perfilado talud; Fuente: Ing. de presas de Escollera. . . . .	84
4.24.	Compactación 2B con placa vibradora; Fuente: Ing. de presas de Escollera. . .	85
4.25.	Colocación bordillo extruido; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas. . .	85
4.26.	Pinzas de escollera y manipulación; Fuente: Catalogo ALEXIMPORT. . . . .	90
4.27.	Zona 3D presa Bakún, Malasia; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas. . .	90
4.28.	Trabajos de relleno en presa la Yesca, México. ; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas. . . . .	91
4.29.	Referencial juntas y fajas en presa; Fuente: Diseño de presas CFRD. . . . .	94
4.30.	Estructura apoyo para armadura; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.	95
4.31.	Detalle sello junta perimetral; Fuente: Construcción de cortina de enrocamiento P.H La Yesca . . . . .	97
4.32.	Protección sello con Hypalón; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas. . .	97
4.33.	Moldaje deslizante para hormigonado; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.	99
4.34.	Estructura transferencia cimbra; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas. .	99
5.1.	11 principios del Lean; Lauri Koskela 1992. . . . .	117

# Capítulo 1

## Introducción

El presente trabajo de título, busca realizar una investigación respecto a la planificación y metodología constructiva del Proyecto Embalse La Tranca, ubicado en la cuarta región de Coquimbo en la provincia de Limarí. Este embalse tiene un objetivo multipropósito, ya que pretende regular los recursos hídricos del río Cogotí para destinarlos al regadío, aumentando la seguridad de riego en zonas agrícolas, además del abastecimiento de redes de agua potable rural en los poblados cercanos de la comuna de Combarbalá.

Este proyecto fue propuesto por la DOH el año 2008 y cuenta con estudios de factibilidad. Pretende mitigar los efectos adversos de la sequía y escasas precipitaciones que se han presentado las últimas décadas en el país. Respecto a la situación actual, para marzo del 2022 se tienen 188 comunas que cuentan con decretos de escasez hídrica, en las regiones de Los Lagos, Metropolitana, Valparaíso, Atacama, O'Higgins, Maule, Los Ríos, Aysén y Coquimbo. La cifra anterior, resulta bastante preocupante ya que en estas comunas viven 8.5 millones de personas, es decir un 47.5 % de la población chilena.[1]

Las consecuencias negativas de la situación actual afectan a la población de forma transversal y estas se acentúan en las zonas rurales como la provincia de Limarí en la IV región de Coquimbo. En la provincia, el acceso a agua potable es bastante limitado e insuficiente para vivir de forma digna, teniendo en cuenta que la dotación adecuada de agua potable establecida es de 100 a 150 l/hab/día y que en muchos poblados de la zona esta cifra no supera los 30 l/hab/día [2]. sumado a lo anterior, se debe considerar que el principal sector productivo de la provincia y en consecuencia fuente de trabajo para sus habitantes es la agricultura, rubro que se ve fuertemente condicionado por la seguridad de riego, lo que limita las inversiones e incentivo a la producción.

Por lo tanto resulta extremadamente necesario buscar una solución a este problema, cuando se tiene un recurso vital y extremadamente escaso como el agua. Bajo este contexto es prioritario contar con algún mecanismo que permita almacenar agua disponible en la zona para administrarla de una forma óptima, con un suministro más seguro y constante que el actual, utilizando los excedentes de las épocas de abundancia en tiempos de sequía. Debido a esto la Dirección De Obras Hidráulicas ha propuesto la construcción del Embalse la Tranca en Río Cogotí, mediante una presa CFRD (*Concret Face Rockfill Dam*; sigla en inglés) de gravas compactadas. Lamentablemente, la fase de estudios de ingeniería no ha avanzado por diversas complicaciones como desacuerdos con comunidades, problemas políticos y largos

plazos para iniciar el proceso de licitación.

Los proyectos de estas características tienen varias aristas relevantes para la investigación, como analizar sus estudios de factibilidad y gestión de la construcción cuando estos se encuentren en su etapa de ejecución. Estos temas son de especial interés para el desarrollo del presente trabajo, en el cual se propone estudiar: la relación con las comunidades del sector, propuesta de generar redes de abastecimiento a los sistemas de agua potable rural (APR) presentes en la zona de influencia del embalse, una propuesta técnica para las actividades de construcción críticas considerando la morfología del emplazamiento escogido y experiencias a nivel mundial en proyectos similares.

Por otra parte obras civiles de similares características, propuestas por los mismos entes gubernamentales, muestran una clara deficiencia en su desarrollo, lo cual ha quedado en evidencia con considerables atrasos, largas paralizaciones en la etapa de construcción y excesivos sobre costos. Sin ir más lejos, dos ejemplos claros son el Embalse Chironta en la Región de Arica y Parinacota que presenta grandes atrasos respecto a la programación inicial además de un presupuesto que ha sido modificado en varias ocasiones o el Embalse La Punilla en la Región de Ñuble que ha presentado varias paralizaciones desde 2018. Este déficit suele ser bastante común en los proyectos de construcción a nivel nacional lo cual es gravísimo, ya que estos atrasos suelen afectar directamente a las personas que eventualmente serán beneficiadas por el proyecto y los sobre costos deben ser cubiertos por el Estado, en otras palabras, con los recursos de todos los chilenos y chilenas. Debido a esto también es deseable investigar sobre esta temática.

## 1.1. Motivación

El estudio del Embalse La Tranca es un desafío fuertemente ligado a la ingeniería civil, dentro del punto de vista técnico, con las metodologías y procedimientos constructivos además de la gestión y planificación para la llevar a cabo el proyecto, actividades propias de la profesión y de gran interés que se pretenden abordar.

El trabajo de título pone a disposición el conocimiento técnico adquirido durante la investigación para dar a conocer una de las posibles soluciones y dejar constancia de la crisis que existe en la provincia de Limarí, respecto a la escasez hídrica y el restringido acceso a agua potable que tienen los habitantes de las zonas rurales en la comuna de Combarbalá. El embalse busca dar una respuesta técnica y tangible a una problemática social, mejorando la economía local al ampliar las hectáreas disponibles con riego seguro y mejorando el abastecimientos de agua potable para 2.249 habitantes que pueden ser potencialmente beneficiados. Esta población corresponde a los habitantes de los poblados en la zona de influencia del proyecto, que cumplen con las condiciones establecidas en la sección 3.6.1 y detallados en la tabla 3.6. Los proyectos de estas características pueden mejorar considerablemente la calidad de vida de los chilenos que no tienen acceso a un recurso vital como el agua. Estas soluciones son propias del quehacer ingenieril buscando el siempre el máximo bienestar social, considerando el contexto que hoy en día es crítico.

La materialización del embalse de forma exitosa trae consigo una gran cantidad de externalidades positivas como:

- Aumento del turismo, debido al crecimiento de la agricultura, el principal árbol frutal que se planta en la zona es la vid de mesa. En Chile muchas viñas son consideradas como atractivos turísticos [3].
- Aumento en las exportaciones, en conjunto con la demanda de mano de obra. Se debe considerar que la agricultura es uno de los principales rubros que se desarrollan en el sector rural de la provincia de Limarí.
- Mejora al acceso a agua potable mediante la red de abastecimiento para los sistemas APRs, esto será un incentivo para construir nuevas viviendas en la zona y mejorar la tendencia demográfica de las últimas décadas [3].
- Desarrollo de infraestructura, aumentando los volúmenes de producción agrícola. Se necesitarán mejores instalaciones y tecnologías para optimizar las explotaciones.
- Durante las últimas 3 décadas ha disminuido la cantidad de habitantes en las zonas rurales de la comuna [3], esta situación podría cambiar con el proyecto ya que se fortalecerá la economía local, generando más empleos y mejorará el acceso a agua potable.

También es relevante destacar la clara deficiencia que presentan estos proyectos respecto a su gestión y planificación en Chile al ser comparados con trabajos similares en el extranjero. Se tiene la convicción que los profesionales formados en el país son tan capaces como los del resto del mundo por lo tanto se puede mejorar y optimizar el uso de recursos al momento de ejecutar este tipo de obras civiles. Estos proyectos no solamente son deficientes por un tema técnico, sino que también existen motivos políticos, problemas de comunicación entre mandante-diseñador y mandante-constructor.

Finalmente, el principal motivo para realizar este estudio es dejar constancia respecto a la situación crítica que viven los pobladores de zonas rurales en la provincia de Limarí. Con el objetivo de llamar la atención de las autoridades competentes y que tomen cartas en el asunto para dar soluciones reales. Complementando con una propuesta técnica para la construcción e identificación de posibles fuentes de pérdidas para el Embalse la Tranca en Río Cogotí, la cual quede a disposición como un antecedente frente a la eventual puesta en marcha del proyecto.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos generales**

Se busca exponer y analizar una de las soluciones planteadas frente a la dificultad que ha afectado por décadas a los habitantes de la comuna de Combarbalá, respecto a la ausencia de recursos hídricos principalmente destinados a uso doméstico y para la agricultura en la zonas rurales de la provincia.

Para abordar el problema detectado en la zona, se plantea estudiar la ejecución de un proyecto de embalse llamado “Embalse la Tranca” propuesto por la DOH hace más de 15 años. Analizando el ciclo de vida del proyecto desde sus etapas de estudios de factibilidad, procesos de licitación y propuesta de construcción.

También se pretende investigar los motivos por los cuales este tipo de obras civiles de gran envergadura suelen presentar deficiencias respecto a los plazos y costos, teniendo en cuenta que este déficit es mucho mayor cuando se trata de proyectos públicos, como el caso del Embalse La Tranca.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Con el objetivo de hacer un estudio detallado y completo se definen los siguientes objetivos:

- Analizar el sector escogido para la zona de inundación, estudiando los impactos no solo para la flora y fauna, sino que también para los habitantes que se encuentran en las cercanías del proyecto.
- Contemplar en el proyecto el apoyo a sistemas de APR para los habitantes como prioritario.
- Estudiar metodologías constructivas de presas tipo CFRD y analizar la ejecución de proyectos similares con el fin de implementarlos en Embalse la Tranca.
- Estudiar un posible cambio en la presa propuesta por los informes de factibilidad considerando la disponibilidad de los yacimientos en la zona.
- Buscar la optimización del proyecto en su ejecución, identificando fuentes de ineficiencias durante su ciclo de vida, considerando las distintas fases de este.
- Revisar los informes de factibilidad del Embalse La Tranca de forma crítica para buscar posibles mejoras y complementarlos.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### 2.1. Estudios MN Ingenieros

El embalse La Tranca en el río Cogotí es un proyecto que hasta el momento ha llegado a la fase inicial en su etapa de diseño. Los estudios de factibilidad fueron desarrollados por la consultora MN Ingenieros. El embalse fue propuesto por la Dirección de Obras Hidráulicas y tiene como objetivo principal optimizar los recursos hídricos aguas abajo del embalse, proporcionando una mayor capacidad y seguridad de riego para el sector agrícola y la posibilidad de apoyar los sistemas de Agua Potable Rural ya existentes en la zona.

Se ha logrado establecer que en la zona de influencia del proyecto, actualmente se riegan 775 ha con seguridad y se pretende aumentar esta cifra a 1.276 ha con riego seguro (85 % de probabilidad de riego) [2]. Esta superficie varía dependiendo del volumen seleccionado para embalsar. El tamaño recomendado por la consultora MN Ingenieros LTDA es un embalse de 46 hm<sup>3</sup> lo que logra una superficie de riego de 4.794 ha.

Los estudios realizados por la consultora, han establecido la ubicación ideal para la construcción de la presa y futuro embalse, considerando variables técnicas y económicas para tomar la decisión óptima dentro del punto de vista ingenieril. Se comparan 4 posibles emplazamientos, ubicados en la cercanías de las comunidades de La Fragüita, La Tranca 1 y 2, El Pedregal y La Cuarcita. Respecto a estos sitios, el principal criterio de selección es la relación entre el volumen embalsado vs el volumen de materiales empleados para la construcción del cuerpo de presa. Bajo este criterio el emplazamiento ideal para el embalse es el Sitio La Tranca 2, detallado en la Figura 3.2.

Si bien, para esta ubicación son requeridas mayores alturas de muro que en El pedregal o La Fragüita, el largo de coronamiento es menor. Además este sector permite fundar la presa directamente en roca sólida, material ideal para las presas de gravas compactadas, ya que esta minimiza las filtraciones en la parte inferior del muro. Las presas fundadas en roca suelen tener menores asentamientos luego de la colocación del material de escollera. Teniendo en cuenta el emplazamiento del proyecto, se define que la presa ideal para este es una tipo CFRD, debido a que existe la disponibilidad de materiales en el lecho del río que puede ser utilizado como relleno del cuerpo de presa, lo que disminuye considerablemente los costos y uso de recursos para transporte de yacimientos.

Por otra parte, en la Participación Ciudadana elaborada por MN Ingenieros, se ha consultado a: especialistas de la DOH, interesados en la ejecución del proyecto, miembros de las juntas de vigilancia, regantes que serán beneficiarios directos y campesinos que viven en la zona de influencia de la obra. De la Participación Ciudadana (PAC) se puede establecer el interés real de gran parte de los participantes y beneficiarios directos e indirectos del embalse, que ven el proyecto como una oportunidad para mejorar las condiciones de producción agrícola, de calidad de vida de los habitantes y sustentabilidad de la región. Sin embargo, tienen una mirada crítica y cautelosa del resultado final de los trabajos y sus beneficios reales. Esto se detalla con mayor profundidad en la sección 3.8 de Participación ciudadana.

Las investigaciones de la consultora determinaron que el Embalse La Tranca es una solución factible, rentable y que cuenta con el interés de los posibles beneficiarios, directos e indirectos, sobre todo por el enfoque multipropósito de abastecer los arranques de APRs. Por lo tanto esta alternativa debe ser analizada en mayor profundidad para seguir avanzando con los estudios de diseño.

## 2.2. Proyecto de Presa

El texto “Ingeniería de presas de escollera” [8], considera que el proyecto de presa está asociado con otras obras de infraestructura pertenecientes a la utilización y distribución de agua, de modo que la presa corresponde a un proyecto integral de aprovechamiento de un tramo del río. Cabe destacar que este tipo de proyectos de infraestructura son una tarea de gran interés en la sociedad, para manejar los recursos naturales disponibles y contar con las habilidades necesarias para asegurar condiciones de sustentabilidad de dicha sociedad a largo plazo. Para el desarrollo de este tipo de obras civiles es conveniente adoptar una serie de procedimientos compuestos por niveles sucesivos, no necesariamente estrictos, ya que se pueden modificar debido a costumbres de la administración pública existente en el país o región en donde se desarrolle la solución, así como temas técnicos y culturales. Se definen los siguientes procesos.



Figura 2.1: Procedimiento en proyectos presas.

Es de vital importancia tener claro cuales son los tópicos que ordenadamente requieren tener respuesta con el fin de avanzar exitosamente en la planificación y gestión del proyecto. Del listado presentado en la figura 2.1, se desprende que el desarrollo de una presa es una cuestión multidisciplinaria que requiere de diversos estudios y análisis. Por esto es conveniente especificar desde el principio los alcances de cada una de las especialidades en función del tamaño e impacto esperable del proyecto dentro de la región o país. Además se debe conocer los temas relacionados con la práctica ingenieril, para incurrir estrictamente en los gastos necesarios de cada etapa.

La información que se vaya produciendo de los estudios técnicos debe ser fidedigna y realista con el objetivo que las conclusiones de estos lleven a ampliar el conocimiento del lugar,

su entorno y los riesgos asociados. Al mismo tiempo se busca avanzar en la cuantificación de el volumen global de los recursos que demandará el emprendimiento, junto con un balance de sus impactos positivos y negativos. Es necesario evaluar si se logra satisfacer exitosamente la necesidad detectada y a qué costo, no solamente económico sino que también social y ambiental.

Por lo general, el principal impulsor de este tipo de infraestructuras es el Estado, ya que la vida útil de un embalse puede abarcar siglos. La decisión de llevar adelante proyectos de embalses ha surgido de políticas de obras públicas hidráulicas, derivada a su vez de la concepción del aprovechamiento y óptima distribución del recurso hidráulico en una región determinada. Por lo tanto la correcta planificación de un proyecto de embalse se traduce en una buena administración y uso de los recursos públicos. De todos modos, también existen proyectos de embalses impulsados por el sector privado, como es el caso de las centrales hidroeléctricas Ralco y Pangue en el sur de Chile, además de proyectos de riego concesionados donde el sector privado se encarga de la construcción, administración y mantención del embalse durante el tiempo de concesión.

### 2.2.1. Etapas proyecto de presa

En la siguiente sección se detallan en mayor profundidad las distintas etapas del proyecto de presa que se presentan en la figura 2.1.

**Idea y perfil:** La planificación de obras de infraestructura para una región está determinada por las prioridades de los dirigentes y ministerios responsables del desarrollo de infraestructura pública, de acuerdo con las necesidades de desarrollo del país. En esta etapa la información básica es suministrada principalmente por estudios topográficos, geológicos y referencias satelitales, para obtener una cuantificación estimada de la magnitud de las posibles obras. Esto genera la primera aproximación de la idea, con la formulación conceptual a grandes rasgos de esta. Surgen cuestionamientos como el tamaño de la obra, emplazamiento ideal, necesidades que se busca satisfacer y un presupuesto tentativo, que por lo general se aleja bastante del real ya que faltan una serie de estudios específicos para perfeccionar las estimaciones. Luego de estos estudios conceptuales, por lo general se pueden presentar tres opciones, archivar el proyecto para una futura reconsideración de su viabilidad, desecharlo por completo o proseguir con la etapa de prefactibilidad.

**Prefactibilidad:** En este nivel se espera llegar a conclusiones acerca de la conveniencia de continuar con el proyecto, para esto se inician los estudios hidrológicos, referidos al funcionamiento del embalse, con el objetivo de definir de forma adecuada parámetros como la altura de la presa y caudales de diseño para obras complementarias, como ataguías, túnel de desvío y vertedero. Por otra parte los estudios topográficos y geológicos permiten realizar un análisis de los tipos de obra con sus respectivos volúmenes, además de preseleccionar potenciales emplazamientos para la construcción; junto con una apreciación de los materiales disponibles y consideraciones de distinta índole como caminos, conducciones de agua, pobladores, comunicaciones, sitios arqueológicos y líneas eléctricas.

Durante esta etapa se comparan alternativas del proyecto, principalmente en función de la morfología del terreno y mapeo geológico. Por lo general los diseños que se proponen se basan en proyectos similares recientemente construidos. El entregable final de esta etapa es

un informe que suele ser sometido a una evaluación técnica, económica, financiera, legal y administrativa. Al finalizar estos estudios se pueden adoptar las siguientes decisiones:

- Reestudio.
- Rechazo definitivo.
- Archivo para su reconsideración en el futuro.
- Proseguir con los estudios de factibilidad.

**Factibilidad:** En esta etapa se busca la selección del emplazamiento para el proyecto y sus características geométricas, para esto es indispensable un amplio conocimiento de las características hidrológicas del río, condiciones de la fundación y las características geológicas de la zona respecto a su permeabilidad. Los estudios topográficos y geológicos son fundamentales, ya que se requiere tener claras las características mecánicas de los materiales que serán parte de las fundaciones de las obras futuras.

Los entregables de esta fase del proyecto son informes y planos que describan la solución seleccionada, de modo que se sustenten los estudios económicos y de impacto ambiental, considerando los costos y beneficios con mayor detalle. Esta precisión de la información muchas veces está ligada a las condiciones del mercado financiero, ya que una mayor prolijidad en los estudios implica una mayor inversión en investigaciones previas a la obra. A veces, una menor inversión en las etapas previas del proyecto se traduce en sobre costos considerables en las etapas sucesivas, especialmente durante la construcción, esto lleva a considerar que es mejor invertir en la etapa de estudios básicos ya que así se minimizan los problemas de diseño, materiales y plazos de construcción. Sin perder de vista el objetivo del proyecto de construcción y la magnitud de la inversión.

Se deben desarrollar estudios de impacto ambiental considerando la legislación vigente en la zona, hay que identificar riesgos y acciones administrativas que permitan mitigar y reparar los impactos negativos derivados de la construcción del proyecto, tales como, expropiaciones necesarias para la disponibilidad de los terrenos, la inundación del vaso, la reubicación de pobladores y el estudio del ecosistema con la regulación de uso sustentable del recurso hídrico.

**Proyecto definitivo:** Es indispensable contar con todos los planos generales y con el diseño definitivo de cada uno de los trabajos, como la presa, sus elementos de estanqueidad, pantalla impermeable, plinto e inyecciones, además de obras complementarias, junto a las especificaciones técnicas correspondientes para obtener una estimación lo más ajustada posible de los costos del proyecto.

En esta etapa se profundizan los estudios realizados en fases anteriores, principalmente los vinculados a los recursos hídricos, materiales de construcción disponibles en el terreno y condiciones de la cimentación con el fin de minimizar los riesgos geológicos que pueden surgir durante la construcción. La calidad del proyecto definitivo depende de la información básica disponible, de la competente elaboración de los informes y conclusiones de los estudios en su nivel técnico. Si bien el proyecto definitivo refleja la realidad del emplazamiento de la obra y características de las construcciones, por más completo que sea el estudio, nunca será capaz de prever todas las contingencias que pueden presentarse durante el transcurso de la obra.

Debido a esto, el precio y plazos de construcción que se obtengan durante los trabajos, serán más ajustados según la precisión y pertinencia de la información recopilada en fases previas.

**Proyecto de construcción:** Describe la obra en su totalidad, incluyendo la ingeniería de detalle como cálculos hidráulicos y estructurales de cada una de las partes de la obra completa. Una vez finalizada esta etapa se deben entregar los planos ‘As built’ (en inglés significa ‘Tal como está construido’ ) que definen la construcción de la presa y obras anexas en su totalidad, con sus procedimientos respectivos de como se ejecutaron. Además se debe contar con un plan detallado de trabajo, este documento es la principal fuente de información para los futuros trabajos, incluyendo la operación y mantenimiento, la modernización de las instalaciones al cabo de cierto tiempo y estudios de riesgos e incidentes que pueden suceder durante la vida útil del embalse.

**Operación, seguimiento y cierre:** Una presa modifica la red de flujo local de aguas subterráneas, irrumpe en el caudal de sedimentos que transporta el río, además de aplicar fuerzas de gran magnitud en los contactos entre la obra y el terreno de fundación que son absorbidas de forma natural y experimentan acomodamientos internos, que originan nuevas tensiones internas no identificadas en etapas previas. Debido a esto, es fundamental durante la operación del embalse realizar mediciones de las tensiones y deformaciones que experimenta la presa con su cimentación, como también las características de la nueva red de aguas subterráneas creada por el embalse. De igual manera se debe monitorear la pantalla impermeable para prever filtraciones en esta con anticipación para realizar las mantenciones pertinentes.

El tiempo de operación va desde su puesta en servicio hasta que la obra no cumpla con el funcionamiento para el cual fue construida, ya sea por su destrucción o agotamiento de su rentabilidad, durante este período se deben tomar todas las medidas para conservar el óptimo funcionamiento de las instalaciones como: reemplazar piezas obsoletas, incorporar nuevas tecnologías, satisfacer nuevas demandas no contempladas en etapas anteriores y garantizar la continuidad de los servicios esperados por el proyecto.

La vida útil de los embalses es variable, ya que su realización busca satisfacer necesidades en una época dada para una comunidad humana en particular. Si cambian los intereses de esta comunidad donde se emplaza el proyecto, ya sea por migración, cambios de actividad económica, fenómenos naturales extraordinarios, guerras etc, se puede llegar a que la operación de la presa no sea necesaria por lo que se detiene su trabajo. En estos casos se puede destruir la presa para que el río siga su cauce natural aguas abajo y evitar algún colapso repentino en el futuro o conservarla como monumento y atractivo turístico, en Irán hay presas que tienen más de 1000 años [8].

## 2.3. Diseño de presas pequeñas

### 2.3.1. Planificación

Al momento de planificar este tipo de proyectos, se deben identificar las necesidades y oportunidades vinculadas con la administración del recurso hídrico. En esta etapa se desarrollan alternativas que logren satisfacer las necesidades optimizando los recursos disponibles. Para identificar estas necesidades, es fundamental la participación del sector público, empresas privadas interesadas, población afectada por el proyecto ya sea de forma positiva o negativa además de considerar impactos medioambientales, consecuencias hidrológicas y aspectos legales.

El diseño de presas requiere de un proceso iterativo en el que se comparan continuamente las alternativas para satisfacer las necesidades identificadas con el objetivo de obtener el diseño más conveniente. El diagrama de flujo de la figura 2.2 muestra como se puede planificar el estudio de alternativas en estos proyectos.

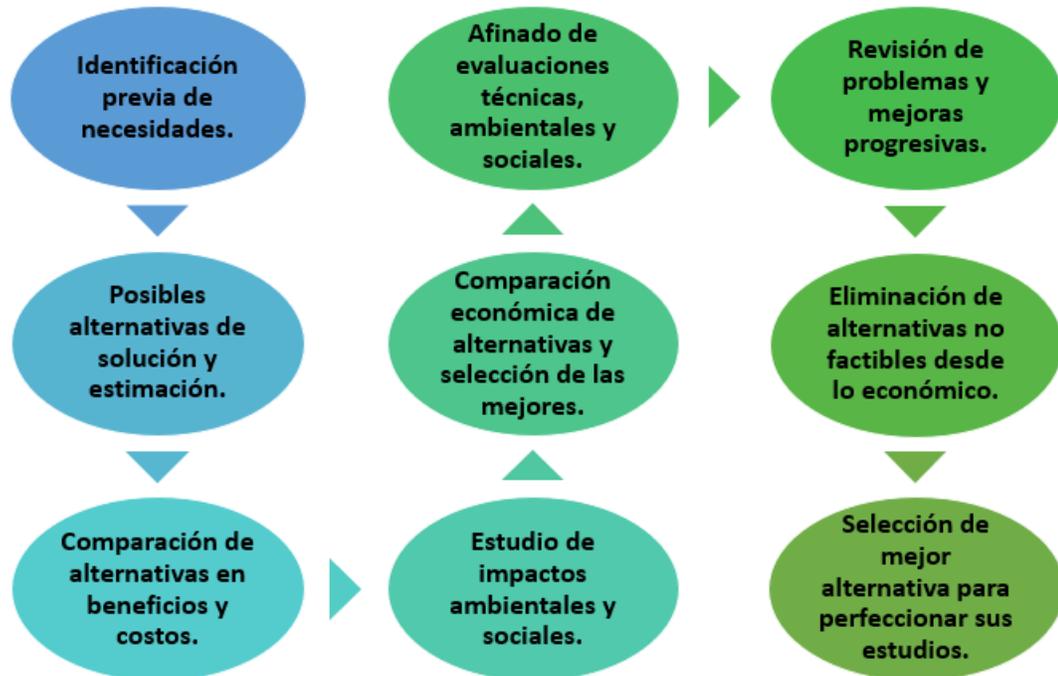


Figura 2.2: Diagrama Flujo Selección de alternativas de proyectos.  
Elaboración propia; Fuente: Ingeniería de presas de escollera.

### 2.3.2. Elección tipo de presa

Las presas se pueden clasificar según el tipo de material de construcción que utilizan para materializarlas, las más típicas son de tierra, de escollera, hormigón de gravedad o presa de arco. Estas pueden tener mejor o peor desempeño dependiendo de las características morfológicas de los emplazamientos, disponibilidad de materiales, costos asociados y necesidades que busca satisfacer. No es lo mismo una presa destinada a la agricultura que una obra para centrales hidroeléctricas o relaves en la minería. Por ejemplo para las centrales, se busca tener

una alta energía potencial por lo que se utilizan diseños con muros más altos, en el caso de la minería se pretende retener relaves con alto contenido de químicos por lo que los materiales y monitoreos de la presa son específicos de esta actividad, mientras que en la agricultura el objetivo principal es almacenar un volumen de agua suficiente para satisfacer las necesidades de la zona.

La elección del tipo de presa y lugar de construcción debe estudiarse detenidamente en las primeras etapas de planificación, ya que pueden haber varias soluciones que deben ser comparadas dentro del punto de vista económico y operativo. Al desarrollar estos análisis de forma adecuada, se puede determinar la factibilidad de las propuestas y escoger la mejor opción. Para esto se requiere el apoyo de expertos en diversas disciplinas como hidrología, geotécnica, geología, estructuras y construcción. Con el objetivo de obtener una valoración económica con un soporte técnico apropiado.

### 2.3.2.1. Estudios básicos

**Topografía:** Esta considera la configuración ideal de la presa en el emplazamiento, el área inundada, la accesibilidad a la zona de trabajos y al sector de yacimientos para maquinarias y personal. Respecto a la información que entrega la topografía, si se tiene un cauce estrecho que discurre entre muros rocosos sugeriría naturalmente una presa de escollera, tal como la definida para el Embalse La Tranca, mientras que laderas bajas y onduladas hacen recomendable uso de presas de tierras, el punto en cuestión es que la topografía es fundamental a la hora de escoger el tipo de presa y planificar la construcción.

**Geología y condición de los cimientos:** La geología del sector y calidad de los cimientos esta directamente relacionada con la capacidad de impermeabilizar de la presa, además de las consideraciones que se deben tomar para prever asentamientos y estudiar la disponibilidad de materias primas para construir. Estos estudios pueden optimizar considerablemente la calidad del embalse, reduciendo costos por traslado de materiales y recursos utilizados para garantizar una correcta impermeabilización del muro.

Respecto a los tipos de cimentaciones, el texto "Diseño de presas pequeñas" describe 5 tipos:

- Cimentación en roca: Cuando esta se encuentra en roca compacta, libre de defectos geológicos significativos, alta resistencia al corte y a la erosión, tiene pocas restricciones en cuanto al tipo de presa a implementar. El factor más relevante es la economía y disponibilidad de materiales. En estos casos es usual remover las rocas meteorizadas para descubrir la roca basal y realizar las impermeabilizaciones correspondientes.
- Cimientos en grava: Se pueden utilizar cuando las gravas están bien compactadas. Para fundar en gravas, las presas adecuadas son de escollera y de tierra, no obstante, este tipo de cimentaciones pueden presentar grandes pérdidas de agua, por lo que se deben tomar precauciones especiales para el control de filtraciones.
- Cimientos de limo o arenas finas: Pueden ser recomendables para implementar pequeñas presas de hormigón de gravedad y de tierra, pero no son buenas para las presas de escollera ya que el limo y arenas finas, suelen presentar asentamientos diferenciales

que afectan considerablemente a las pantallas impermeabilizantes de las presas CFRD de gravas compactadas. Otros defectos de estos cimientos son el potencial sifonamiento, empuje vertical, formación de canales de filtración y la necesidad de proteger los cimientos en el sector de aguas abajo de la presa para evitar la erosión.

- Cimientos en arcilla: Las únicas presas compatibles con este tipo de cimientos son las de tierra, pero estas requieren espaldones tendidos debido a la baja resistencia al corte de los suelos arcillosos, además de esto se deben realizar ensayos de consolidación ya que estos suelos tienen asentamientos considerables debido a este fenómeno.
- Cimientos no uniformes: Puede darse el caso que la cimentación se deba hacer sobre una mezcla heterogénea de rocas y tierra. Bajo estas condiciones, las consideraciones de diseño y tratamientos especiales deben ser estudiadas por ingenieros experimentados.

**Materiales disponibles:** Es fundamental para la economía del proyecto disponer de materiales en las cercanías, con el objetivo de disminuir los costos y tiempos de transporte. Para la construcción de presas se debe disponer de suelos para terraplén, rocas para escolleras y revestimientos, áridos para confeccionar hormigón (gravas, arena, piedra machacada). En las obras civiles de estas características, debe aprovecharse cualquier recurso cercano para optimizar los costos, sin sacrificar la eficiencia y calidad de la estructura final.

**Aliviadero:** Conceptualmente, esta estructura debe encargarse del transporte aguas abajo de la presa del agua que no puede ser retenida por el embalse por encima de su nivel de coronamiento, esta obra debe ser diseñada de tal manera que logre disipar la energía específica del agua producto de la presa y pueda seguir su curso natural sin generar daños indeseados, sobretodo en la cimentación de la parte trasera de la escollera. Este es parte vital de la presa, se consideran las restricciones naturales del emplazamiento como factor decisivo en la elección del tipo de presa. El aliviadero está condicionado por las características de la escorrentía y la magnitud de las avenidas que deberá soportar.

El coste de construcción de un aliviadero de grandes proporciones es frecuentemente una parte importante del coste total del proyecto, inclusive superando a la presa como tal. En estos casos se puede combinar el aliviadero con la presa como una sola estructura, alejándose de la elección de una presa con vertedero de hormigón. El material extraído para el aliviadero puede ser utilizado en el cuerpo de la presa, situación ventajosa para presas de tierra y escollera.

La práctica de construir vertederos de hormigón en presas de tierra o escollera ha resultado en lo general desalentadora, ya que se deben tomar consideraciones de diseño conservadoras que aumentan arbitrariamente los espesores de la estructura, cantidad de armaduras y recubrimientos necesarios. Los problemas que presentan este tipo de proyectos son los asentamientos desiguales debido a la diferencia de consolidación entre el terraplén y los cimientos de la presa. El aliviadero necesita de cuidados especiales para prevenir el agrietamiento del hormigón o abertura de juntas que pueden generar fugas y por consecuencia sifonamiento. Otra solución puede ser ubicar el aliviadero en terreno natural o por debajo de la presa por medio de una conducción.

Existen otras consideraciones técnicas que serán abordadas dentro de la memoria como temas hidrológicos, ambientales y asentamientos, este último es de suma importancia para

las consideraciones de diseño, teniendo en cuenta que el embalse estudiado está en Chile, uno de los países con mayor actividad sísmica a nivel mundial, fenómeno que afecta en los asentamientos de la estructura. A modo de resumen en la figura 2.3 se presenta un diagrama de procesos donde se detalla a grandes rasgos lo presentado en el presente sub-capítulo.



Figura 2.3: Diagrama Flujo elección de alternativas de presas. Elaboración propia.

### 2.3.3. Presas de escollera

Las presas de escollera o CFRD con gravas compactadas, son estructuras que se construyen a partir de gravas de distinta granulometría y una pared impermeable en la cara aguas arriba. Por lo general se diferencian 3 zonas principales en el cuerpo de la presa como se presenta en la figura 2.5, la primera más cercana a la pared impermeable con material pequeño y bien graduado que cumple la función de filtro, luego gravas de mayor tamaño en el centro de la presa que tienen como objetivo principal cubrir un gran volumen de la presa para economizar el proyecto y finalmente en la cara de aguas abajo se utilizan gravas de gran tamaño que se encargan de ser el principal soporte estructural de la presa frente a las cargas horizontales y la presión hidrostática generada por el agua embalsada. Todas estas zonas deben ser compactadas en capas de distintos espesores, dependiendo de las características de los materiales y clasificación sísmica del emplazamiento.

Por otra parte, las presas suelen ubicarse en lugares remotos y de difícil acceso, por lo que el transporte de materiales es una partida importante al momento de estudiar los recursos destinados al proyecto de construcción. Esta es una de las principales ventajas de las presas de escollera ya que en los lechos de río se espera la presencia de material fluvial en volúmenes importantes que pueden ser potencialmente utilizados como materia prima para la confección de la presa. Las presas CFRD suelen presentar ventajas bajo las siguientes condiciones y requerimientos:

- Se dispone de gran cantidad de rocas y se excavarán de acuerdo con el proyecto, como las procedentes del aliviadero y túnel de desvío.

- La excesiva humedad debido a condiciones climáticas, limita el uso de presas de tierra, esta limitante no existe con las de gravas compactadas.
- El dique puede aumentar su tamaño en el futuro dependiendo de las necesidades de la zona.
- Cuando se requiere un proceso constructivo constante, ya que las presas CFRD permiten trabajar en la escollera en todas las estaciones del año, además se puede inyectar la cimentación mientras simultáneamente se coloca el terraplén lo que optimiza la programación de la construcción.

### 2.3.3.1. Tipo de pantalla

La pantalla impermeable es parte fundamental de la estructuración de una presa de escollera, ya que sin esta no se puede garantizar la impermeabilidad de la presa y en consecuencia el funcionamiento del proyecto de embalse. La correcta construcción de la pantalla impacta considerablemente en la calidad de la presa, ya que una mala ejecución implica grandes pérdidas del recurso hídrico además del sifonamiento del cuerpo de la presa, lo que con el tiempo genera desde la pérdida parcial de la presa hasta su colapso total.

Las presas se pueden clasificar en tres grupos, dependiendo de la ubicación de su pantalla, (1) en el centro de la presa, (2) en el centro inclinada, (3) pantalla aguas arriba. Para el presente estudio la de mayor interés es la de pantalla ubicada aguas arriba ya que presenta varias ventajas desde del punto de vista constructivo, como mayor facilidad para inspección y reparación, se puede construir después de la realización de la escollera, en climas húmedos acelera los trabajos en comparación con otras soluciones y la membrana impermeable sirve de protección al talud aguas arriba.

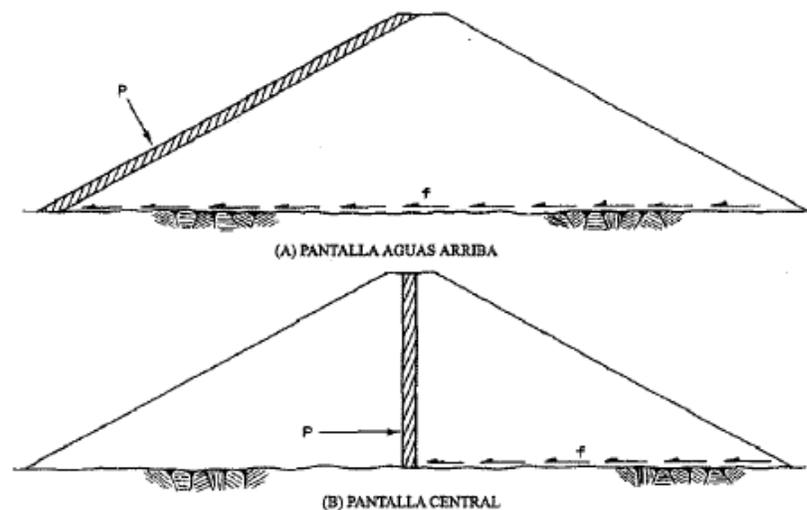


Figura 2.4: Pantalla aguas arriba (a) y Pantalla central (b).

Actualmente las presas utilizan terraplenes con pendientes de 1.3:1 a 1.7:1, relación H:V para la cara de aguas arriba, según se detalla en el texto “Diseño de presas pequeñas. ”, la cual varía dependiendo de el tipo de material seleccionado para la pantalla impermeabilizante. En el texto se mencionan 3, hormigón asfáltico, planchas de acero y muro de hormigón

armado. En el caso del terraplén aguas abajo, antiguamente se implementaban pantallas con pendientes fuertes tales como 0.75:1, esto con el objetivo de utilizar un menor volumen de materiales para ejecutar la presa, no obstante, esta disposición requería el uso de grúas que a la larga hacen que el proyecto aumente sus costos considerablemente. Debido a esto, la experiencia ha llevado a los especialistas a utilizar pendientes cercanas al coeficiente de fricción interno de la escollera, es decir de 1.3:1 a 1.4:1 para estos terraplenes.

El muro de hormigón es la solución más utilizada a nivel mundial y suelen presentar un talud aguas arriba de 1,3:1 a 1,4. Por lo general este muro cuenta con un espesor variable, el cual aumenta en la base del muro, esto tiene el objetivo de evitar filtraciones a medida que la presión hidrostática es mayor. Al momento de implementar esta solución constructiva se debe tener en cuenta que el hormigón armado es un material bastante rígido, por lo cual se debe tratar con especial cuidado el tema de los asentamientos y comportamiento sísmico de la presa ya que estas deformaciones pueden generar fisuras en la pantalla y en consecuencia pérdida de impermeabilización. Una forma de mitigar estos efectos adversos producidos por los asentamientos, es la correcta compactación de los materiales del cuerpo de la presa en conjunto con un monitorio adecuado de la densidad en cada una de las capas.

El segundo paramento más común en los diques de escollera es el hormigón asfáltico que consiste en agregado de asfalto mezclado con áridas y finos, el cual debe ser compactado. Se presenta como una alternativa barata y proporciona mayor flexibilidad a la pantalla, por lo tanto tiene un mejor desempeño frente a los asentamientos. No obstante, estas pantallas requieren de una pendiente con menor inclinación, de 1,7:1 como máximo para una colocación adecuada, lo que se traduce en un mayor volumen de materiales para la construcción del dique. En este tipo de pantallas, resulta crucial que el material de escollera que está en contacto con el hormigón asfáltico, esté bien graduado y compactado para eliminar el fenómeno de sub-presión que puede producirse por el vaciado rápido del embalse.

Las pantallas de acero suelen presentar un talud aguas arriba de 1,4:1 y son las menos utilizadas a nivel mundial, no obstante, en los pocos proyectos que se han utilizado, han tenido comportamientos bastantes satisfactorios. Por ejemplo, en el "Bureau of reclamation" se presenta la presa de El Vado en Nuevo México, su pantalla de acero estaba en excelentes condiciones luego de 45 años de uso. Este material ofrece rapidez desde el punto de vista constructivo además de una mayor flexibilidad y por lo tanto mejor comportamiento frente a sismos y asentamientos que las pantallas de hormigón armado y asfáltico. Respecto a su mantención, el principal problema que presentan es la corrosión la cual se suele tratar mediante un sistema de protección catódica a ambos lados de la pantalla. El espesor de este tipo de pantallas varía entre las 1/4" a 3/8" (6.4 mm y 9.5 mm) dependiendo del tamaño de la presa a construir.

### **2.3.3.2. Requisitos y tratamiento de cimentación**

Las cimentaciones en lecho de roca dura y resistentes a la erosión son ideales para la construcción de presas de escollera, estas son las condiciones que presenta el emplazamiento para construir el Embalse La Tranca. Por otra parte, las cimentaciones de arenas gruesas de río o fragmentos de piedra son aceptables pero deben ser inspeccionadas por profesionales competentes además de presentar la necesidad de utilizar una pantalla drenante o pared moldeada hasta el lecho de la roca. La elección de la cimentación para la presa debe considerar

todos los materiales con su resistencia al corte, fallas geológicas de rocas, hoyos profundos que pueden erosionar en el futuro los materiales de escollera o fundaciones de los estribos de la presa.

Cuando la cimentación presenta fallas o sectores en los cuales se puede perder impermeabilidad de la presa, el método usual para prevenir las filtraciones es rellenar las grietas con inyecciones de lechada de cemento en las zonas de la pantalla. Además, dependiendo de las características del emplazamiento se pueden cubrir los sectores potencialmente permeables en el vaso de inundación con material impermeable. El tratamiento de las cimentaciones debe proporcionar una solución que optimice los recursos del proyecto y satisfacer los siguientes criterios:

- Mínima filtración.
- Prevención del sifonamiento.
- Limitar coste.
- Rozamiento suficiente desarrollado entre los estribos y cimentación para asegurar estabilidad a deslizamiento.

### 2.3.3.3. Colocación material de escollera

Tal como se ha mencionado en la sección de presas de escollera, el cuerpo de la presa se divide en 3 zonas principales como se muestra en la figura 2.5.

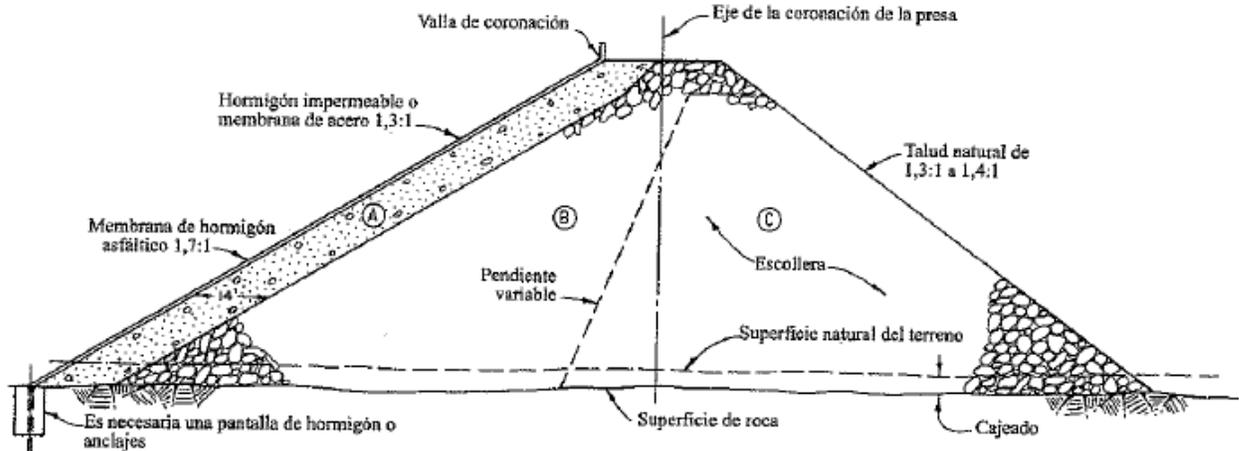


Figura 2.5: Zonas materiales de presas de escollera; Fuente: Diseño de presas pequeñas.

- **Zona A:** Piedra más pequeña y grava; bien graduada, utilizada para dar apoyo a la pantalla impermeable y retardar grandes pérdidas de agua debido a la fisuración de la pantalla, además de filtrar el paso de material fino desde el embalse al cuerpo de la presa.

El diámetro máximo de este material debe ser aproximadamente de 3" y que pase entre el 5 y 15 % por el tamiz N°100 (es decir un diámetro de 0.15 mm). Por otra parte, esta zona debe mantener la presión uniforme sobre la pantalla impermeable, además su

buena graduación es fundamental para retardar filtraciones en la presa debido a posibles fallas en la pantalla. También se debe considerar que la zona está inmediatamente aguas abajo de la pantalla y se requiere una mayor cantidad de finos en conjunto con gravas de menor tamaño, con un diámetro máximo de 1 1/2", que su 15 % pase por el tamiz N°100 y el 5 % pase el tamiz N°200. Esta zona de la presa debe ser compactada en capas de 0.3 m.

- **Zona B:** Roca de menor calidad que la zona C, que puede ser obtenida desde la excavación del túnel de desvío y vertedero. Compactada para reducir los asentamientos. Se utiliza para minimizar los costes totales de la presa. En óptimas condiciones este material debe tener un volumen máximo de 10 ft<sup>3</sup> (0.28 m<sup>3</sup>) con alta permeabilidad posterior a la compactación, al igual que en la zona C, es recomendable ubicar las rocas de mayor tamaño en las partes bajas de la escollera. Esta zona debe ser compactada en capas de 0.3 a 0.9 m de espesor.
- **Zona C:** La zona más grande aguas abajo del dique, compuesta por roca de mejor calidad, la piedra de mayor tamaño, en algunos casos con diámetros de hasta 40", compactada y bien graduada, esta zona proporciona estabilidad y soporte estructural a la presa. Se debe evitar usar piedras grandes lajosas ya que tienden a hacer un efecto de arco, dejando grandes huecos en la escollera lo cual puede provocar asentamientos bruscos en caso que la roca falle. Para esta zona de la escollera, es recomendable ubicar los bolones de mayor tamaño y resistencia en el sector de aguas abajo y zonas bajas de la presa, se usan rocas de 1 a 27 ft<sup>3</sup> (0.76 m<sup>3</sup> a 0.028 m<sup>3</sup>) de volumen. Este material debe ser colocado en capas de 0.3 a 1.2 m.

Cabe destacar que las granulometrías especificadas en [9] son más bien referenciales ya que esta característica del material depende del tipo de roca disponible en el emplazamiento y los métodos de explotación de los yacimientos disponibles.

Históricamente uno de los fenómenos que más han afectado a las presas de escollera son los asentamientos que producen fallas en las pantallas impermeables, debido a lo anterior, en la colocación del terraplén se busca disminuir los efectos adversos que pueden generar estos sobre la presa. En sus inicios, las presas de escollera se construían descargando las piedras desde grandes alturas mediante grúas, bajo el supuesto que con esta metodología se lograba impartir suficiente energía de consolidación al terreno, disminuyendo los huecos y así evitando el asiento del terraplén. No obstante, estas presas han sufrido grandes deformaciones y en consecuencia problemas de filtración.

La experiencia ha demostrado que cuando los materiales del cuerpo de las presas son colocados en capas delgadas y compactadas mediante rodillos vibratorios, se forma una masa más estable donde los asentamientos son mínimos. En este tipo de presas es recomendable completar todas las capas de la escollera para posteriormente empezar con la construcción de la pared impermeable, ya que así se protege la pantalla del asentamiento inicial del cuerpo de presa, producto de su peso propio y trabajos de construcción.

Otro factor que puede generar el asentamiento del material de escollera es el agua como se muestra en “Compressibility of Broken Rock and the Settlement of Rockfills”[8], donde se ha demostrado que cuando el material es mojado posterior a su colocación y compactación,

puede presentar un asentamiento considerable. Sin embargo, durante la compactación de las capas, es necesario el uso de agua ya que esta mejora el contacto entre las rocas de mayor tamaño y permite el lavado del material fino hacia los huecos intergranulares. La cantidad de agua usada para regar ha variado mucho, pero por lo general el rango es de dos a cuatro veces el volumen de roca.

En los casos de rocas excepcionalmente sucias, las segregaciones pueden formar una capa de finos relativamente impermeable en la parte baja de las rocas, lo que puede impedir el riego de toda la superficie de la capa. Esto puede corregirse con capas más gruesas que aumenten el tiempo de regado del material de escollera previo a la colocación de la capa adyacente. También es importante tener cuidado con los lodos que se pueden formar en las capas luego del regado; si esto ocurre, es obligatorio retirarlos periódicamente.

Respecto a las presas expuestas a gran actividad sísmica como la del Embalse La Tranca, los proyectistas recomiendan utilizar grandes piedras en la zona C y compactarlas en capas de pequeño espesor, de 0.9 m, sobre todo en el sector de aguas abajo de la presa. Esto proporciona una estabilidad máxima contra temblores y gran resistencia al flujo de grandes cantidades de agua a través de la sección si existen filtraciones. Otras medidas que se pueden tomar para mitigar los efectos adversos producto de los sismos son suavizar la pendiente del talud aguas abajo hasta una relación 1.7:1 (H:V), además de utilizar una pantalla de mayor espesor y colocar armaduras a ambos lados de la pantalla. Todas estas consideraciones deben ser consultadas con un proyectista experimentado.

## **2.4. Manual para Obras de Aprovechamiento Hidráulico**

El manual describe los procedimientos legales y administrativos para una gestión sostenible del recurso hídrico de las cuencas mediante un enfoque multiuso, el cual obliga que la planificación de la inversión de infraestructura tenga como objetivo principal maximizar el beneficio social mediante el uso múltiple del proyecto, como puede ser agricultura, abastecimiento de agua potable, generación de energía, turismo y regulación de cauces. Este recurso es un factor crítico en el desarrollo económico del país ya que prácticamente todas las actividades ligadas a recursos naturales utilizan el agua como insumo principal en sus procesos ya sea minería, agricultura o generación de energía. Por lo tanto su buena gestión es algo estratégico a nivel país y debe realizarse desde la perspectiva de un bien escaso.

Para efectos prácticos del estudio de soluciones hídricas en cuencas, la Comisión Nacional de Riego (CNR), organismo público conformado por Ministerios, integrado por los titulares de Agricultura –quien lo preside–; Economía, Fomento y Turismo; Hacienda; Obras Públicas, y Desarrollo Social y Familia [12], se encarga desde el manejo de cuencas hasta la recomendación del proyecto para sus estudios de prefactibilidad, mediante una Resolución Satisfactoria y estudios iterativos de la solución. Posterior a esto el MOP se hace responsable de los estudios de prefactibilidad, factibilidad, diseño, administración de las obras y traspaso final de obras de riego por medio de una de sus direcciones generales, la Dirección de Obras Hidráulicas. Tal como se detalla en la figura 2.6.

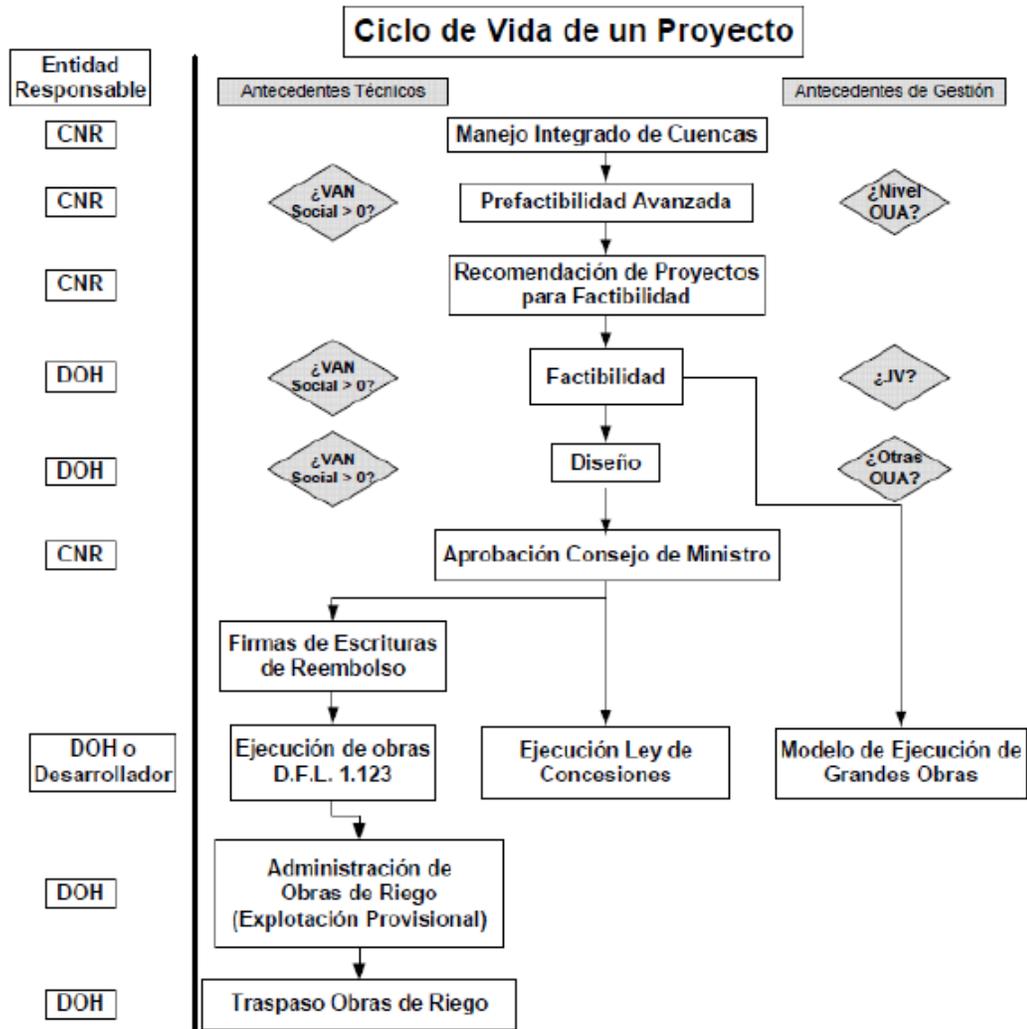


Figura 2.6: Ciclo de vida proyecto de riego. Fuente: Manual para obras de Aprovechamiento Hidráulico.

### 2.4.1. Factibilidad

A la fecha, el estudio del Embalse la Tranca llegó a fases de diseño que fueron suspendidas tempranamente debido a la oposición de parceleros de la comunidad de Durazno que han impedido el acceso a áreas de interés del proyecto según se indica en el ORD. N° 2200 del Director Nacional de Obras Hidráulicas en abril del 2017 [13]. Es por esto que resulta de gran interés conocer las condiciones de avance para retomar estudios, con el objetivo que la obra civil siga adelante, continuando con la etapa de diseño, a partir de lo que se detalla en el Manual para Obras de Aprovechamiento Hidráulico.

Respecto a la factibilidad, se requieren antecedentes técnicos y económicos como: recursos hídricos, topografía, características del diseño preliminar, valorizaciones socioeconómicas y estudios de impacto ambiental. Además de antecedentes de gestión como estudios de participación ciudadana (PAC) para identificar los factores relevantes tanto comunitarios como institucionales, contar con una junta de vigilancia local conformada y perfeccionamiento de derechos de agua individuales. Las condiciones para el avance del proyecto, recomendaciones

para reajuste y rechazo definitivo de acuerdo con el manual, son la siguientes:

**CONDICIONES DE AVANCE:**

- Rentabilidad positiva.
- Aprobación Estudio factibilidad técnica por la Dirección Nacional de Obras Hidráulicas.
- Recomendación de MIDEPLAN a la etapa de diseño.
- Aprobación de la PAC, al menos, el acuerdo de resolver temas de interés en la siguiente etapa.
- Interés de los regantes, formalizado por al menos un 33 % de las acciones.
- Levantamiento de información respecto a derechos individuales de agua.

**POSIBLES REAJUSTES PARA EL PROYECTO Y RECONSIDERACIÓN FUTURA:**

- Priorizar los proyectos y definir un cronograma factible de ejecutar con base en los marcos presupuestarios históricos, de tal manera que los estudios de factibilidad no pierdan vigencia, de acuerdo a la restricción dada por 5 años.
- Analizar el tamaño del proyecto con el fin de incorporar optimizaciones que consideren menores costos de inversión y cultivos de mayor rentabilidad.
- Generar medios efectivos de verificación de la disposición de regantes a participar positivamente en la materialización del proyecto.

**CONDICIONES DE RECHAZO DEFINITIVO:**

- Falta de interés por parte de los regantes, menor al 33 % de la acciones.
- Proyecto no factible técnica y/o económicamente ( $VAN < 0$ ).
- Desactualización de los estudios en caso que tengan más de 5 años de vigencia y falta de interés en actualizarlos.

### **2.4.2. Ejecución de Obras**

Previo a esta etapa, se propone que la DOH junto con el CNR presenten a la cartera de ministros los proyectos que cumplan con los criterios establecidos anteriormente para continuar con las etapas de diseño y ejecución, por lo general mediante el DFL 1.123 o la Ley de concesiones. Esta decisión es fundamental, ya que define como será financiado el proyecto y la participación de privados en caso de ser requerido.

**Embalse concesionado:**

Los embalses concesionados son una solución en el corto plazo para proyectos en los cuales el Estado no cuenta con los recursos económicos y el proceso de inversión podría tomar varios años. Este sistema lo implementa la DOH y consiste en que el Estado asume el costo

del proyecto hasta la fase de estudios de anteproyecto e ingeniería, contratando consultoras, realizando las expropiaciones para la construcción, zona de inundación y obras anexas además de adelantar los estudios de impacto ambiental para que tengan una resolución favorable.

Posteriormente, la DOH traspasa el proyecto a la Dirección General de Concesiones para su evaluación y licitación pública con empresas privadas. La empresa concesionaria que se hace responsable del proyecto de construcción, revisa los detalles de la ingeniería de diseño y propone mejoras técnicas en caso de ser requeridas para mejorar la rentabilidad y calidad del producto final. Luego de la construcción la empresa tiene la responsabilidad de administrar y mantener las obras durante los años estipulados en el contrato, lo cual le genera retornos económicos. Una vez finalizados los años de concesión, se puede renovar el contrato o pasar las obras a manos del Estado.

### **Embalse por DFL 1.123**

Este método establece las normas y procedimientos para ejecutar obras de riego por el Estado, donde los trabajos son realizados con fondos fiscales, a diferencia del caso de la concesión, el Estado asume los costos de la construcción además de los estudios previos.

Cuando se realiza la obra por el DFL 1.123 se exige desde un inicio, el real compromiso de los regantes interesados en el proyecto, siendo necesario para avanzar con los estudios definitivos que al menos el 50% de los accionistas que utilizarán las aguas provenientes del embalse acepten la ejecución de las obras y se comprometan a reembolsar el costo de estas. Se incluyen subsidios para los pequeños agricultores. En estos casos una vez construida la obra se traspasa la administración y explotación del embalse a la Junta de Vigilancia.

Gracias a este sistema se han construido la gran mayoría de proyectos de embalse destinados al riego a nivel nacional, con el enfoque de aumentar las superficies de uso agrícola y mejorar la capacidad productiva de los pequeños y grandes agricultores. Sin ir más lejos, solo en la cuenca de Limarí se han desarrollado los embalses Cogotí, Recoleta y la Paloma mediante esta vía.

# Capítulo 3

## Proyecto Embalse La Tranca

El presente capítulo, tiene como objetivo presentar las características del proyecto Embalse La Tranca, considerando aspectos técnicos para la construcción, estudios hidrológicos del río donde se pretende implementar la solución, además de las características sociales, demográficas y la percepción de los posibles beneficiarios en conjunto con los pobladores de la zona en general. Tomando como referencia principal los 5 tomos que componen los estudios de Factibilidad del proyecto Embalse la Tranca, elaborados por la consultora MN Ingenieros Ltda. en el año 2011.

### 3.1. Ubicación del proyecto

El proyecto Embalse La Tranca tiene como objetivo regular y optimizar los recursos hídricos del río Cogotí, con un enfoque multipropósito ya que busca mejorar las condiciones de riego para la agricultura y el abastecimiento de los sistemas de agua potable rural. Ubicado en la IV Región de Coquimbo, provincia de Limarí, comuna de Combarbalá.

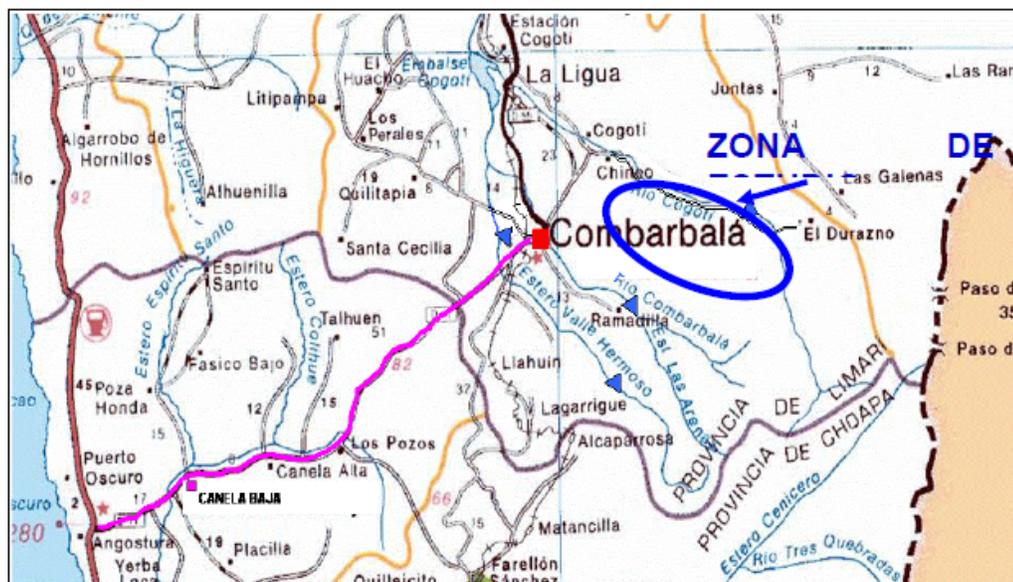


Figura 3.1: Ubicación zona de estudio; Fuente: Estudio de factibilidad.

Actualmente esta región se encuentra con decreto de escasez hídrica, además de la baja probabilidad de tener años con altas precipitaciones. Según los datos recopilados en la estación pluviométrica COGOTÍ 18, entre los años 1962 y 2020, se han registrado por lo menos 14 años con escasas precipitaciones, en particular, cuatro de estos años fueron en la última década, según la información publicada por el MOP en [5]. Por esto el embalse puede ser una buena solución a esta problemática almacenando agua en temporadas de abundancia y utilizándola cuando sea requerido en tiempos de sequía.

### 3.1.1. Sitio para la presa

En la construcción de una presa, es primordial escoger el sitio correcto, ya que una buena elección de este tiene altos impactos en los plazos, planificación, uso de los recursos y costos asociados. Con el fin de tomar una buena decisión al respecto, se realizan estudios geológicos, topográficos y geotécnicos, determinando la accesibilidad a la zona de trabajo. Estos estudios se usan como antecedente para una valorización económica de las alternativas, que permite definir el sitio ideal para el proyecto.

En el estudio de factibilidad del Embalse La Tranca, se comparan 5 alternativas de emplazamiento para la presa, a 14 km aguas arriba del poblado de Cogotí se encuentra La Tranca I y Tranca II que están a 80 m de distancia entre ellas, a unos 3,8 km aguas abajo del sitio La Tranca, en el sector denominado La Fragüita, y dos sitios en la primera sección del río Cogotí que se denominaron El Pedregal y La Crucita a unos 18 km aguas arriba del sitio La Tranca.

Se comparan las alternativas, evaluando la estabilidad de la roca y posibles fallas geológicas en ambos apoyos de la presa, permeabilidad del basamento rocoso, calidad geotécnica y características morfológicas para realizar obras de desvío y evacuador de crecidas, la relación entre volumen embalsado vs volumen de presa, además de los costos asociados de cada uno de los emplazamientos.

La recomendación por parte de la consultora MN Ingenieros, es emplazar el embalse en sitio La Tranca II (coordenadas  $31^{\circ}07'00.35\text{S}$  /  $70^{\circ}51'46.44\text{O}$ ) ya que resulta menos costosa y tiene un mejor rendimiento respecto al indicador de volumen embalsado vs volumen de presa.



Figura 3.2: Sitio La Tranca II; Fuente: Google Earth.

En la tabla 3.1 se presenta un análisis comparativo de las ventajas y desventajas del emplazamiento seleccionado para llevar a cabo el embalse La Tranca.

Tabla 3.1: Ventajas y desventajas de Sitio La Tranca II; Elaboración propia; Fuente Estudios factibilidad MN Ingenieros.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este sitio presenta aceptables características geológicas y geotécnicas para el emplazamiento de obras de desvío y evacuador de crecidas sin requerir diseños especiales ni refuerzos fuera de lo común en este tipo de obras.</li> <li>• La fundación en el fondo del valle podrá hacerse directamente en roca basal sin requerir remover volúmenes importantes de materiales.</li> <li>• No requiere de pared moldeada ni impermeabilización de suelos bajo la fundación.</li> <li>• Las condiciones de las rocas presentes permiten esperar trabajos de impermeabilización de alcances razonables y dentro de lo normal para este tipo de obras.</li> <li>• La fundación de los rellenos en el apoyo derecho no requiere de remoción de sobrecargas ni espesores de roca meteorizada, requiriéndose solamente la regularización de la roca para la fundación de un plinto vertical.</li> <li>• La morfología del sector hace que se tenga un muro de muy poca longitud lo que mejora su relación de volumen embalsado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La morfología del sector no permite alternativas para la programación de las obras, limitando la flexibilidad de los programas, lo que perjudica los plazos de construcción y aumenta los costos.</li> <li>• El emplazamiento de las obras de toma de agua, como el portal de entrada del túnel de desvío deberá estudiarse detalladamente para evitar el compromiso con eventuales flujos aluvionales desde la ladera derecha (norte).</li> <li>• La fundación de los rellenos en el apoyo izquierdo requerirá la remoción de materiales no rocosos en volúmenes importantes.</li> <li>• Se deberá estudiar en profundidad las condiciones y ubicación de las fallas presentes en el apoyo derecho con la finalidad de evaluar las obras de impermeabilización y disminuir las interferencias con el túnel de desvío, si este se emplaza en dicho lado (norte).</li> </ul>

## 3.2. Tipo de presa y zonificación cuerpo de presa

La presa ideal seleccionada para el proyecto corresponde a una tipo CFRD de gravas compactadas, que consta de un soporte estructural compuesto principalmente por gravas y un muro impermeable de hormigón armado en el sector aguas arriba de la presa con el objetivo de impermeabilizar con un gradiente hidráulico menor a  $1/300$ . Este tipo de presas es ideal para la zona, ya que en el lecho del río es de esperar la presencia de material fluvial el cual puede ser utilizado para la confección de esta misma, por lo que resulta una solución más económica.

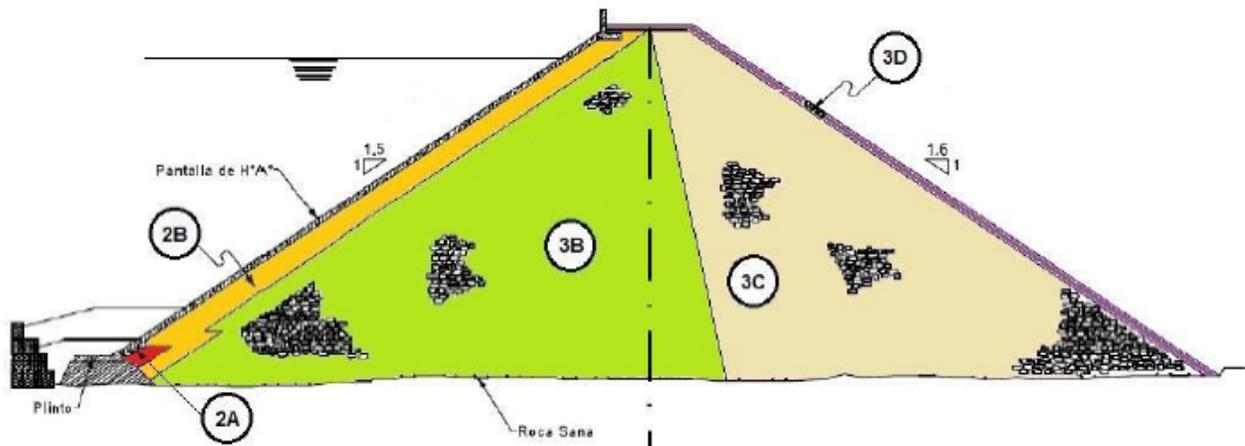


Figura 3.3: Presa CFRD tipo; Fuente: EETT Embalse Chironta.

- **Pantalla de hormigón:** Ubicada en la zona de aguas arriba de la presa, su objetivo es impermeabilizar la presa, cuenta con un espesor variable para contener la presión hidrostática del embalse.
- **Zona 2-A:** Material fino y bien graduado, utilizado como filtro, es parte del apoyo que tendrá la pantalla, con granulometría menor a  $1\ 1/2"$ . Formados por gravas arenosas, que se obtienen del sector de empréstito y seleccionado para lograr la granulometría especificada. Esta zona se ubica debajo de la junta perimetral entre el plinto y el muro de hormigón.
- **Zona 2-B:** Zona de transición con materiales bien graduados, su principal función es dar un apoyo homogéneo a la pared de hormigón con el objetivo que esté bien acoplada con el talud y no sufra grandes deformaciones. La selección de este material se hará mediante tamizado, con tamaño máximo  $3"$ . Se colocan en capas de  $0,3\ m$ .
- **Zona 3-A:** Gravas arenosas cercanas a la zona 2B de  $3"$  a  $9"$ . Si bien en la figura 3.3 no se muestra esta capa, se dispone en el mismo sentido de la capa 2B con un espesor similar en sentido perpendicular al eje de la presa, es la transición de materiales más finos de la escollera a las rocas y gravas de mayor tamaño.
- **Zona 3-B:** bien graduados con diámetros de  $12"$  a  $24"$ . Se colocan en capas de  $0,6\ m$  y utilizan gran parte del volumen del cuerpo de la presa.
- **Zona 3-C:** Conformada por rocas y gravas de mayor tamaño y mejor calidad. Se deben utilizar rocas que no generen grandes vacíos entre ellas, preferentemente bien graduadas

de 24" a 40". Se colocan en capas de 0.9 m a 1.2m. Serán obtenidos de la zona de empréstito y del material proveniente de las excavaciones que se hagan en roca sana o en materiales fluviales limpios, para fundar las obras del proyecto.

- **Zona 3-D:** Estos rellenos cubren el talud aguas abajo, formados por bolones provenientes del rechazo en plantas seleccionadoras y excavaciones. El diámetro de estos materiales puede ser variable pero idealmente de 3" a 12 " con un ancho superior a 1m.
- **Plinto:** Estructura de hormigón en la zona inferior de la presa que va anclada en la roca incompresible, corresponde a la fundación de membrana impermeable de hormigón y evita las filtraciones en la parte inferior de la presa.

Tabla 3.2: Resumen zonas y características; Fuente: Estudios de factibilidad MN Ingenieros.

ZONA	MATERIALES
2A	Gravas arenosas < 1 $\frac{1}{2}$ " y 5% <# 200. Capas de 0,30 m.
2B	Gravas < 3" con 4 a 12% < #200. Capas de 0,30 m.
3A	Gravas < 9" con 4 a 12% < #200. Capas de 0,30 m.
3B	Gravas < 24" (sin procesamiento). Capas de 0,60 m.
3C	Gravas y rocas < 40". Capas de 0,9 m.
3D	Gravas y bolones de 3" < 3D < 12". Capas de 0,90 m.

Para la comodidad del lector, las funciones específicas de cada relleno se detallan en la sección 4.5.5 de colocación de rellenos del presente trabajo.

### 3.2.1. Yacimientos

Para el estudio de yacimientos se realizaron 8 calicatas de hasta 6 metros de profundidad distribuidas a lo largo del lecho del río y zona de inundación, en conjunto con 4 calicatas más en la zona de inundación, realizadas en el estudio denominado “Optimización Uso del Recurso Hídrico Río Cogotí” (diseño), desarrollado para la DOH por Ayala, Cabrera y Asociados Ltda en Octubre de 2000. Las calicatas del estudio de Ayala y Cabrera, definieron un volumen aproximado de 800.000 m<sup>3</sup>, en estas calicatas se observa la presencia de gravas limpias, escasa cantidad de arenas y ninguna de estas presentaron una capa vegetal bajo la superficie del terreno removido.



Figura 3.4: Sectores de yacimientos y calicatas; Elaboración propia.

De las calicatas realizadas en el estudio de factibilidad se ha definido que en la zona baja del sector de inundación, CLTMN-01 y CLTMN-02, cuentan con granulometrías aceptables para la explotación de yacimientos destinados a una presa CFRD. Mientras que en la zona alta con las calicatas CLTMN-05 y CLTMN-07 muestran un 56 y 42 % bajo las 24” respectivamente, que es el máximo aceptado en el material 3B, en el caso de CLTMN-05 su banda está totalmente incluida bajo las 40” por lo que estaría íntegramente dentro de la granulometría para el material 3C, no obstante, la calicata CLTMN-07 cuenta con un 34 % de sobre tamaño.

Por lo general en estos proyectos se asigna un tamaño máximo al material 3C de 24”, lo que significa una pérdida por sobre tamaño del 29 % de acuerdo con las prospecciones realizadas, no obstante, en Chile se han empleado tamaños de hasta 40”, como es el caso de los proyectos de Santa Juana, Puclaro y en el Bato [2]. Con esta consideración el volumen de pérdida por sobre tamaño es aproximadamente del 15 % del yacimiento de acuerdo con las calicatas.

De estos estudios se consiguió determinar 2 sectores disponibles para su explotación, sector 1 ubicado en la zona de inundación con un espesor aprovechable de 3 metros y una superficie de 240.000 m<sup>2</sup> y sector 2 en la cola del embalse con una superficie de 110.000 m<sup>2</sup> y espesor

de 2 m. En conjunto, ambas zonas suman un total de 900.000 m<sup>3</sup>, lo que es claramente insuficiente para ejecutar el proyecto. Dependiendo del volumen a embalsar y altura de muro, los rellenos necesarios para la presa pueden alcanzar los 3.000.000 m<sup>3</sup>. A modo de referencia en la tabla 3.3 se muestran los volúmenes requeridos de relleno para el cuerpo de la presa, es decir, sin considerar las pérdidas por sobre tamaños. Las distintas configuraciones se presentan a continuación:

Tabla 3.3: Volúmenes requeridos; Fuente: Estudios factibilidad.

Volumen embalse [hm <sup>3</sup> ]	Altura muro[m]	Volumen de Relleno [m <sup>3</sup> ]
15	61	963.837
20	76	1.229.502
25	81	1.441.533
30	94	1.926.373

Respecto a los yacimientos, se pueden realizar la siguientes observaciones a partir de las calicatas y conclusiones realizadas por la consultora MN Ingenieros:

- De las zonas de explotación, según los sondajes y curvas granulométricas obtenidas de las calicatas realizadas en terreno, se estima que el 15 % del volumen corresponde a sobre tamaño, por lo cual debe ser desechado. De todos modos, este puede ser utilizado en la zona de escollera en el talud aguas abajo como material 3D.
- Para que el proyecto sea viable es necesario encontrar más sectores de explotación de yacimientos. Se proponen potenciales yacimientos para estudiar a 5 km aguas arriba del eje de la presa en la confluencia de la quebrada de Chépica y el Durazno con una superficie de 300.000 m<sup>2</sup> y se estima que este podría aportar con 900.000 m<sup>3</sup> de rellenos.
- Los 900.000 m<sup>3</sup> estimados del sector 1 y 2 pueden ser menores debido a falta de homogeneidad en la zona.
- La superficie aprovechable entre ambos sectores de explotación es de 35 ha aproximadamente.

### 3.3. Prospecciones en fondo de presa

Durante los estudios se realizaron 4 sondajes en el emplazamiento de la presa. El objetivo de estas exploraciones es definir las características del subsuelo, posibles yacimientos, además de las características de la roca respecto a su profundidad, calidad y capacidad de impermeabilizar en la zona del plinto.

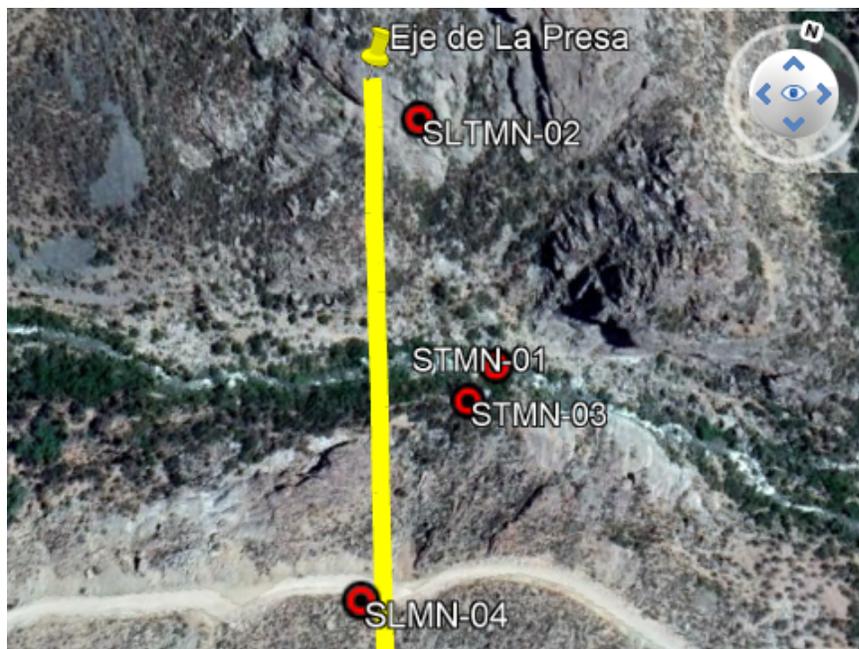


Figura 3.5: Ubicación sondajes respecto al eje de presa; Elaboración propia.

- **STMN-01:** Ubicado a nivel de lecho, por la ribera norte, profundidad 40 m. Su objetivo fue detectar el plano del posible deslizamiento del macizo rocoso. No cortó zonas de roca mala. Resultando altos índices RQD<sup>1</sup> y buena impermeabilidad. La sobrecarga de sedimentos aluviales es de 7,5 m.
- **SLTMN-02:** Ubicado en la parte alta del apoyo norte, profundidad 95 m. Su objetivo fue detectar el plano de posible deslizamiento. Cortó solo un sector de roca fracturada entre los 80 y los 82 m de profundidad pero con RQD de casi 100 % tanto en este tramo como en todo el sondaje. Las permeabilidades son en general bajas, en torno a 1 Lugeon hasta los 40 m de profundidad, disminuyendo casi a impermeable bajo esa profundidad, con excepción del tramo bajo los 80 m.
- **STMN-03:** A nivel de lecho, su profundidad es de 40 m. Roca sana en todo el sondaje con RQD cercano al 100 % e impermeable.
- **SLMN-04:** Con 50 m de profundidad, se ubica en la zona alta del apoyo izquierdo. Su objetivo es determinar la calidad de la roca y su permeabilidad. Se inicia con 5.6 m de roca escombros de falda con maicillo y bolones, para luego pasar a roca sana e impermeable. En general el RQD es cercano a 100 %.

<sup>1</sup> RQD: Designación de calidad de la roca, entre 100 % y 90 % es de calidad excelente.

### 3.4. Condiciones hidrológicas

Para caracterizar los caudales de la zona se recopila información desde los años 1961 a 2008, datos de las estaciones Embalse Cogotí, Cogotí 18 y La Fragüita, ubicadas en la cuenca de Cogotí, además del análisis de “Optimización uso del recurso hídrico Río Cogotí” por Ayala.

Las precipitaciones medias anuales para las estaciones utilizadas en el estudio, están entre 174 mm y 215 mm dependiendo de la estación, resultados obtenidos en un período de 47 años. Por otra parte el río Cogotí se alimenta principalmente por crecidas nivales y precipitaciones, alcanzando su caudal máximo en noviembre y mínimo en marzo. En la tabla 3.4 se presentan los caudales medios para el río estudiado.

Tabla 3.4: Caudales promedio río Cogotí; Fuente: DGA.

Caudal	Q [m <sup>3</sup> /s]
Caudal medio anual	2,4
Caudal mínimo mensual (marzo)	0,7
Caudal máximo mensual (noviembre)	5,8

Para el correcto diseño y seguridad en la construcción, es fundamental considerar las posibles crecidas con su período de retorno. Principalmente en obras anexas como ataguías, aliviadero y túnel de desvío. En el estudio se consideran dos tipos de crecidas, de origen pluvial (marzo-abril) y origen nival (octubre-marzo). Los caudales máximos de diseño con sus respectivos períodos de retorno se presentan en la tabla 3.5

Tabla 3.5: Crecidas de diseño La Tranca; Fuente: Estudios factibilidad MN Ingenieros.

T [años]	Crecida de diseño [m <sup>3</sup> /s]
2	65
5	170
10	270
20	400
25	450
50	620
100	820
200	1050
250	1135
500	1410

### 3.5. Situación demográfica

Los sectores potencialmente beneficiados por el proyecto de embalse y regadío se ubican a ambos costados del río Cogotí y se extienden aproximadamente 20 km aguas abajo de La Tranca.

De acuerdo con los antecedentes censales, en el año 1992 la comuna de Combarbalá tenía una población de 14.030 habitantes, con un 66 % de esta en sectores rurales, para el año 2008 la población estimada era de 12.583 habitantes. Las características demográficas para la comuna se presentan en la figura 3.6.

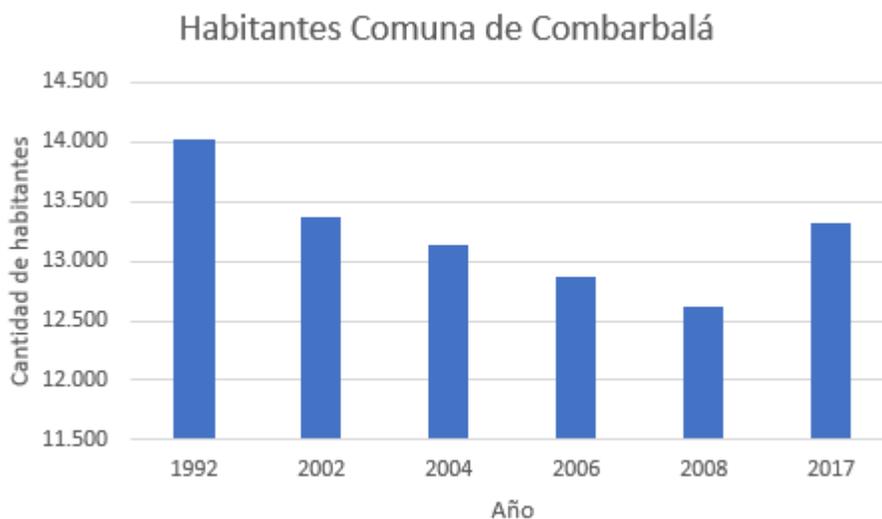


Figura 3.6: Población Combarbalá; Fuente: INE 2022.

Claramente hubo una migración desde la comuna hacia otros sectores entre 1992 y 2008, esto puede ser debido a lo llamativas que son las ciudades para la población más joven y el bajo crecimiento de la actividad económica local, que cuenta con 2 rubros principales, turismo y agricultura. Esta última se ve afectada por la baja seguridad de riego en las zonas de cultivo y la escasez hídrica que afecta a la provincia. Otro factor importante a considerar para explicar este fenómeno es el deficiente acceso a agua potable para los habitantes en zonas rurales. No obstante en el Censo del año 2017 se observa un aumento de la población en la comuna, esto se puede deber a un fenómeno de inmigración de las zonas rurales al poblado de Cogotí, que cuenta con un sistema sanitario más tecnificado y en consecuencia mayor acceso al agua potable.

## 3.6. Apoyo a sistemas de APR

En la comuna de Combarbalá actualmente existen 15 sistemas APR en operación [2], sin embargo durante los últimos 12 años se han producido importantes períodos de escasez de agua a tal extremo que algunos sistemas de APR han dejado de funcionar por la falta de abastecimiento. Debido a esto se ha tenido que recurrir a suministro por camiones aljibes, que se abastecen desde pozos profundos de otras zonas de la comuna. Estos distribuyen agua potable en la zona cada 5 días y en algunos casos hasta 10 días. El sistema de camiones aljibes por lo general es insuficiente para satisfacer las necesidades de los habitantes, sin ir más lejos, en comunidades de Valle Hermoso se han registrado disponibilidades de agua de 4 a 30 l/hab/día, muy por debajo de la dotación establecida que se encuentra entre los 100 y 150 l/hab/día, dependiendo si se cuenta o no con red de alcantarillado.[2]

Con el fin de mejorar la condición actual de los habitantes con sistemas de APRs deficitarios, el proyecto Embalse La Tranca propone generar una red de abastecimiento para el funcionamiento de los APR beneficiando a las localidades de Cogotí 18, El Chineo, La Colorada, La Cuadra, La isla, La Ligua, Las Barrancas, Los Llanos de Cogotí, Tinajas y La Fragüita.

### 3.6.1. Criterios de exclusión

Para establecer los beneficiarios de la red de apoyo a APRs, se implementan los siguientes criterios de exclusión con el fin de seleccionar los poblados donde es viable el abastecimiento de sistemas de APR por parte del Embalse La Tranca. De acuerdo con el documento “Estudio de Viabilidad de Sistemas APR Abastecidos por Embalses de la Comuna de Combarbalá”

- Ubicación geográfica poco exacta.
- Ubicación aguas arriba de los embalses abastecedores.
- Cota altimétrica muy alta (imposibilita el suministro por gravedad).
- Casas aisladas o caseríos de baja densidad poblacional (menos de 40 habitantes, salvo que el caserío se encuentre aledaño a la matriz).
- Pertener a la zona urbana de Combarbalá (abastecimiento concesionado a través de Empresa Sanitaria Aguas del Valle).
- Aguas abajo del Embalse Cogotí.

En la tabla 3.6 se presentan las posibles localidades que podrían ser abastecidas y excluidas del sistema de apoyo de APR.

Tabla 3.6: Localidades posibles de ser abastecidas por embalse La Tranca y criterio de exclusión.

Localidad	Habitantes	Cota M.S.N.M	Criterio exclusión
Cogotí 18	487	853	OK
Cristo Pobre	12	-	No encontrado en plano
El Chineo	288	983	OK
El Duraznito	5	-	No encontrado en plano
El Durazno	317	1.289	Aguas arriba Embalse La Tranca
EL Higueral	38	1.015	Casas aisladas
Hacienda Cogotí	7	1.366	Casas aisladas
La Colorada	92	734	OK
La Cuadra	62	794	OK
La Isla	217	711	OK
Ligua	391	709	OK
La Saucera	20	839	Cota elevada
Las Barrancas	162	1.017	OK
Los LL. Cogotí	185	822	OK
Los Sapos	39	982	Casas aisladas
Mal Paso	42	550	Aguas abajo Embalse Cogotí
Rincon Chilcas	135	1.162	Cota elevada
San Lorenzo	87	1.010	Cota elevada
San Marcos	572	567	Aguas abajo Embalse Cogotí
Tinajas	275	1.654	OK
<b>TOTAL</b>	<b>3433</b>		

En total podrán acceder al beneficio 10 localidades, lo que se traduce en aproximadamente 2.249 habitantes, esta cifra se alcanza considerando las localidades que cumplen los criterios presentados anteriormente que corresponden a 9 localidades además de La Fragüita que cuenta con 90 habitantes adicionales. Esta localidad se encuentra alejada al trazado del sistema por lo tanto es incluida para ser beneficiada. El Beneficio consta en disponer de agua proveniente del embalse para el abastecimiento de los APRs seleccionados.

### 3.6.2. Sistemas APRs abastecidos por embalse La Tranca

A partir de los estudios de factibilidad y el cumplimiento de los criterios establecidos en la sección anterior 3.6.1, se define que el sistema parte desde el embalse y distribuye agua a las localidades de: La Fragüita, Las Barrancas, El Chineo, Cogotí 18, Los Llanos de Cogotí, La Cuadra, La Isla, La Ligua y La Colorada. Cubriendo un trazado total de 27.4 Km, que se materializa en tuberías de PVC de distintos diámetros y clases, el cual se desarrolla principalmente por la huella existente en la ladera sur del valle. Se estima que el consumo anual de agua requerido para los poblados seleccionados es de 184.700 m<sup>3</sup>, lo cual se traduce en 5,86 L/s. Cabe destacar que la dotación de agua para el servicio contempla pérdidas de agua y energía para que el recurso llegue con presión suficiente a las localidades que se desea abastecer.



Figura 3.7: Trazado sistema APR abastecido por Embalse la Tranca.

Fuente: Estudio MN Ingenieros 2011

### 3.7. Eje ambiental y mitigación

Sin lugar a dudas la construcción y puesta en marcha de un embalse como el que se está estudiando genera modificaciones en la morfología y características del sitio, de forma negativa o positiva. Para realizar este tipo de proyectos se deben estudiar una serie de ámbitos relacionados con el impacto ambiental, de acuerdo con la legislación vigente y constitución política. De los estudios de factibilidad, se destacan las siguientes componentes ambientales que deben ser consideradas y analizadas para su mitigación o compensación. Como edafología, calidad del aire, ruido, flora y vegetación, fauna terrestre y acuática, calidad del agua y arqueología.

#### **i)Edafología:**

Los suelos son un medio vital para la flora, fauna y ambiente en general, el cual se verá afectado debido a la implementación de nuevos caminos temporales para la construcción de la presa, instalaciones de faenas, zonas de botadero para el material excedente y eliminación de sobre tamaños. Para mitigar los daños de estas operaciones, se propone acopiar la capa vegetal de los roces y escarpes para reutilizarlos en la restitución futura del terreno. En la zona de instalaciones de faena y caminos temporales, se deben retirar todos los vestigios de ocupación como chatarras, escombros e instalaciones transitorias.

#### **ii)Calidad del Aire:**

Para construir una presa de gravas compactadas, se debe transportar una gran cantidad de materiales, lo cual implica un proceso de extracción, selección, transporte y compactación mediante una serie de máquinas de alto tonelaje, estas inevitablemente levantan material particulado el cual afecta la calidad del aire de la zona. Para limitar estas alteraciones, se propone humectar los caminos de tierra con camiones aljibe para evitar la suspensión del material particulado, humectar la zona de acopio de materiales además de utilizar maquinarias y vehículos con sus revisiones técnicas vigentes y todo documento requerido para certificar que están funcionando en correctas condiciones.

#### **iii) Ruido:**

Durante las faenas de construcción los niveles de ruido estimados superan los límites normativos en sectores habitacionales, lo cual afecta la calidad de vida de los pobladores en las cercanías del futuro embalse. En estos casos, se debe disponer de pantallas acústicas modulares de madera de OSB con un espesor de 18mm y altura mínima de 2.4 metros. Estas deberán ser dispuestas lo más cercano posible de las fuentes emisoras del ruido, de manera hermética, sin obstruir las operaciones.

#### **iv) Flora y vegetación:**

Esta obra civil contempla la construcción de caminos temporales para el tránsito de vehículos y maquinarias, roces y escarpes para el sector de la presa, instalaciones de faena y sector de yacimientos, lo cual se traduce en el corte de 41,2 ha de vegetación nativa, daño que debe ser compensado con la reforestación de la zona. Estas hectáreas incluyen las de la zona de

inundación que deben ser despejadas de vegetación para evitar la formación de zonas anóxicas (oxígeno disuelto en el agua agotado) que pueden afectar la calidad del agua embalsada.

Los cortes de vegetación nativa deberán ser compensados con la reforestación de las mismas especies en una superficie de 41,2 ha, equivalentes a las afectadas por la construcción de obras. Las especies nativas deben ser individuos pertenecientes a la zona o bien especies con mejores expectativas de prendimiento. La densidad adecuada para la reforestación es de un árbol por cada m<sup>2</sup> y la localización del sitio a reforestar debe ser definida en conjunto con CONAF.

#### **v) Fauna:**

La fauna terrestre que se verá afectada por el embalse es la que habita en la zona de inundación y en la zona de construcción de la presa, la cual debe ser relocalizada, posteriormente se supervisa mediante un plan de seguimiento. Esta fauna está compuesta por micro-mamíferos y pequeños reptiles (herpetozoos), los primeros se capturan mediante trampas y jaulas, mientras que los reptiles son colectados de forma directa en terreno y capturados en terrarios. El proceso de captura debe ser realizado antes que empiecen los trabajos en terreno. Los ejemplares serán liberados en hábitats similares de áreas aledañas. Este trabajo debe ser fiscalizado por CONAF, SAG y COREMA.

Respecto a la fauna acuática, con el objetivo de reducir la pérdida de estas especies, las actividades de desvío de cauces se deben realizar durante el período invernal o a fines del verano para evitar la interferencia con los períodos reproductivos de los peces que ocurren durante la primavera y mediados del verano. También se transportará parte de la fauna acuática, los peces serán capturados mediante pesca eléctrica y ubicados en hábitats similares, bajo los mismos parámetros que la fauna terrestre. Existe un caso particular de 2 especies en conservación, el Bagre chico y Pejerrey, los cuales deberán ser trasladados activamente durante todo el tiempo de presencia del embalse.

Además de estas medidas, para los cambios en el caudal del río, se ha considerado un caudal ecológico con el objetivo de conservar la Flora y Fauna actual, presente aguas abajo del embalse. Para la estimación de este caudal, se entenderá que corresponde al gasto mínimo a mantener abastecido bajo la presa.

#### **vi) Calidad del agua:**

Durante la construcción del embalse, se verán modificados los caudales y flujo natural de los sedimentos arrastrados por el Río Cogotí, además de la eliminación de la capa vegetal dentro de la zona de trabajo, lo cual modifica las condiciones naturales del agua. Se tienen que realizar monitoreos bimestrales en el sector de aguas abajo de la presa, durante la etapa de construcción y monitoreos anuales mientras el embalse esté en operación, registrando cambios en el nivel de los sedimentos y estudiando procesos de eutrofización por excesos de nutrientes que contaminan considerablemente el agua. Los monitoreos deben efectuarse según la normativa de riego NCH 1333.

## **vii) Patrimonio Arqueológico y cultural:**

En la zona de intervención directa del embalse (zona de inundación) se han encontrado una serie de sitios arqueológicos, por lo tanto se debe actuar de acuerdo a lo señalado en el Reglamento de Ley 17.288 sobre Monumentos Nacionales. Previo al inicio de las obras, en las zonas que se encuentren los hallazgos se deben ampliar las investigaciones mediante pozos de sondeo y realizar rescates arqueológicos si así lo determina el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN). Todas estas actividades deben estar supervisadas por un arqueólogo. Como resultado de estos sondeos se elabora un informe, detallando los sitios detectados y clasificándolos; proponiendo medidas de mitigación y la forma en que resulta impactado el proyecto.

Los sitios clasificados como rescatables, serán objeto de extracción de los hallazgos previo a la realización de faenas. El rescate debe ser realizado por un grupo de arqueólogos, los materiales extraídos deben ser analizados, fechados y notificados oportunamente al CMN mediante un informe. Posterior al rescate el CMN otorgará la autorización para empezar con los trabajos de construcción.

Las zonas de restricción corresponden a sitios arqueológicos, con presencia de hallazgos en la superficie los cuales deben ser definidos como lugares de restricción durante todo el proceso de construcción. Las zonas definidas deben ser cercadas en su perímetro, previo al inicio de las faenas y debe permanecer durante todo el período que duren las obras de construcción. El cercado solo deberá ser retirado cuando se finalice con la construcción de todas las obras en torno a los sitios. Este cerco estará compuesto por un estacado de polines de 2,40 m de largo y 4 x 4 pulgadas de diámetro, con carteles que prohíban el acceso, además el arqueólogo responsable debe instruir al personal en terreno para evitar la intervención y daño de los sitios.

También está la presencia de petroglifos de la época prehispánica [14] que forman parte del patrimonio cultural de la región. Para protegerlos se debe disponer de un profesional competente en terreno que supervise las actividades de movimientos de tierra, sobre todo en las faenas de excavación, donde existe posibilidad de encontrar nuevos sitios arqueológicos. Para evitar el daño accidental de petroglifos existentes, debido a la circulación de vehículos y maquinarias. Se requiere elaborar un protocolo de hallazgos que incluya un plan de contingencia frente al daño accidental de los vestigios, en el cual se debe notificar tanto al arqueólogo como al inspector fiscal, quienes deben dar la orden de paralizar los trabajos en el sector para proceder con la identificación y rescate de los elementos culturales encontrados.

### 3.8. Participación Ciudadana

La opinión y participación de los pobladores de comunidades aledañas al embalse es fundamental para la ejecución de la obra, además de conocer su punto de vista respecto a la situación hídrica, social e impactos que podría tener el embalse. En el estudio de factibilidad se han entrevistado una serie de actores, pertenecientes a las comunidades que son afectadas directa o indirectamente por el proyecto, dirigentes de juntas de vigilancia, miembros de la municipalidad de la comuna, INDAP y personal con conocimiento técnico (DOH), considerando su percepción del proyecto respecto a sus beneficios y las preocupaciones que les genera. Las opiniones de instituciones y pobladores más relevantes se presentan a continuación.

#### **BENEFICIOS:**

- Permite reforzar el suministro actual de agua potable y que se mantengan las napas subterráneas que alimentan pozos aguas arriba del tranque, especialmente en la época de verano cuando el nivel de estos baja y suele haber colapsos en la red (DOH).
- Incorporar a la economía de la comuna la agricultura familiar campesina y potenciarla. Principalmente en las comunidades agrícolas del secano duro (I. Municipalidad Combarbalá).
- Solución definitiva en sectores de secano, como Quilitapia y Manquehua, donde se ha invertido en pozos profundos que no han dado una solución al problema de fondo (concejal).
- Habrá un fomento productivo de los pequeños campesinos. Mejorando su capacidad de producción (INDAP).
- Mayor superficie de riego y cultivos más rentables, además de asegurar los derechos de agua ya existentes y el abastecimiento de los sistemas de APR (poblador de Cogotí 18).

#### **PREOCUPACIONES:**

- i) Los antiguos regantes no inscribieron sus derechos de agua; ii) Los pequeños regantes carecen de información respecto a sus derechos que recibieron por herencia; iii) Las comunidades agrícolas de secano aspiran a recibir los beneficios de riego, pero carecen de derechos y el embalse acumula los derechos de agua de los que hoy en día son propietarios (DOH).
- Sobre valoración de la propiedad privada de las aguas por sobre un bien de uso público fundamental que es el agua. Que se considere en los estudios a los no regantes del valle: comunidades agrícolas, pequeños productores, ganaderos del secano y campesinos (I. Municipalidad Combarbalá). Se ve complicada la entrega de agua a los APRs, puesto que las aguas son de privados. Siendo que el Estado va a hacer una inversión, este debería favorecer a los que no tienen derechos (consejal).
- En La Tranca y en la Fragüita habría que realizar expropiaciones. Con el embalse La Tranca se deja sin riego a un sector importante de El Durazno y Fragüita. Debido al alto costo para regularizar los derechos de agua de quienes no los inscribieron, es casi imposible que puedan regularizarlos por cuenta propia (miembro J.V.).

- Es necesario que los proyectos vayan acompañados de capacitación, asesoría y fiscalización, porque se hacen proyectos en los que no se fiscaliza ni el dinero ni los resultados, lo cual se presta para abusos (poblador el Chineo).
- Dependiendo del tamaño, el embalse La Tranca podría inundar terrenos agrícolas que constituyen parte fundamental de los ingresos de productores y trabajadores. En su mayoría, los pobladores de El Durazno son personas mayores, parientes entre sí, que viven de las plantaciones frutales y huertas. También reciben ingresos por sus animales, aunque no tienen grandes cantidades. (poblador el Durazno).
- Lo que más les preocupa es el avalúo de los predios a expropiar que puede ser bajo, se debe considerar que la zona de potencial inundación, tiene agricultura: huerta, maíz, porotos, frutales, nueces, etc (poblador el Durazno).

La percepción generalizada de los pobladores, regantes, dirigentes vecinales y de la junta de vigilancia es positiva dentro del punto de vista económico ya que debido a la escasa proyección de la zona y los altos niveles de cesantía, ocurre un fenómeno de migración a los centros urbanos en búsqueda de opciones laborales. En la comuna hay poco turismo, la minería es baja y la principal fuente de empleo está dada por la agricultura. Esto se acentúa con la existencia de grandes campos los cuales cuentan con buenas características para el cultivo pero que actualmente están abandonados por la falta de riego. Las consecuencias negativas también se han visto reflejadas en las últimas décadas, con grandes pérdidas en el rubro, especialmente de plantaciones de árboles frutales, ya que hay años con disponibilidad de agua y luego varios años consecutivos de sequía que hacen perder la producción.

Según declaran varios entrevistados, tienen la sensación que actualmente hay un uso ineficiente del recurso hídrico, además cuando llueve en el invierno se generan crecidas del caudal en el río Cogotí, las cuales se desaprovechan ya que no hay forma de almacenarla. Esta ineficiencia se observa principalmente en la época estival cuando las precipitaciones son nulas y hay tanto escasez de agua para riego como para consumo domiciliario. Bajo estas condiciones, los que se ven más afectados son los pequeños regantes, debido a que el limitado recurso, solo les permite desarrollar agricultura para la subsistencia. Lo anterior no es suficiente para considerarla como una actividad productiva rentable que les permita generar grandes ingresos, que logren satisfacer adecuadamente sus necesidades básicas, ni que les otorgue una calidad de vida que les permita salir del nivel de pobreza en el que se encuentran.

Los niveles de desigualdad entre los grandes y pequeños propietarios presentan una realidad compleja en la zona. Los primeros aumentarían considerablemente su productividad debido a su alta capacidad de inversión, oportunidad de tecnificar y mejorar sus canales de acceso, mientras que los segundos, producto de su inestable situación económica, baja inversión intrapredial y limitado manejo tecnológico, difícilmente podrán obtener los beneficios que estiman. Es por esto que los regantes consideran que el proyecto debe ir acompañado con capacitaciones por parte del gobierno y apoyo para implementar nuevas tecnologías que permitan automatizar y optimizar la producción de los pequeños campesinos.

Por otra parte, los beneficiarios inmediatos (regantes) de un eventual proyecto, han mostrado una visión crítica y cautelosa respecto a la construcción del embalse, pero al mismo tiempo una postura expectante y esperanzadora. La junta de vigilancia ha hecho estudios a

favor del proyecto, esto demuestra que hay real interés por parte de los regantes para que el embalse se construya. Lo anterior es fundamental si se desea llevar a cabo las obras por medio del D.F.L 1.123. También los pobladores y municipio de la comuna de Combarbalá, destacan el enfoque multipropósito del proyecto, sobre todo teniendo en cuenta el abastecimiento de agua potable para bebida y uso domiciliario como prioridad en la zona, ya que sería un aporte a la sustentabilidad en la región. El embalse es visto como una alternativa frente a la problemática que sienten los campesinos de la zona “No hay mejora en la calidad de vida por falta de recursos hídricos.”[6]

Respecto al emplazamiento seleccionado, que se detalla en la sección 3.1 del presente capítulo, una de las principales preocupaciones de la población es la zona de inundación, directamente relacionada con el tamaño del embalse que se decida implementar. El proyecto lleva consigo expropiaciones que se deberán hacer en el sector del Durazno, comunidad compuesta principalmente por gente mayor, la cual tendría dificultades para reubicarse y empezar de nuevo. Esto sumado a la preocupación por el bajo avalúo que podrían tener los terrenos frente a una eventual expropiación y como podría afectar la zona de inundación a las edificaciones de la comunidad. No obstante, según la opinión de los expertos, no se inundará ninguna edificación del área urbanizada de la localidad del Durazno, tales como iglesia, posta rural y escuela [13]. En una visita preliminar, se contempla que se podrían inundar 2 viviendas producto del embalse.

También en la zona de inundación del proyecto se han encontrado 26 sitios arqueológicos, 10 de la época prehispánica y el resto contemporáneos. En las investigaciones se han tomado las medidas necesarias para el cuidado pertinente con la supervisión de arqueólogos. El tema de la zona de inundación, precios de expropiación y los hallazgos arqueológicos, no es menor para el proyecto ya que en el año 2017 se tuvieron que detener los estudios en la fase de diseño e ingeniería del embalse, debido a que los pobladores, principalmente del Durazno, no permitieron el acceso a las áreas vinculadas al proyecto. Ese año se debió dar finalización temprana al contrato de estudios de ingeniería por esta situación.

Lo anterior merece ser comentado en este trabajo de título, para dar un aporte a la concreción del proyecto, bajo los siguientes conceptos:

- Buscar una mayor participación de las personas en el diseño.
- Generar beneficios para los afectados y atender sus inquietudes.
- Beneficios de parte del Estado para las personas que no tienen derechos de agua y que por tanto no usarán el embalse para almacenar aguas, buscando la equidad y que no sean solo los agricultores los beneficiados. Esos beneficios podrían ser en infraestructura, no solo vinculada a los APRs. Por ejemplo mejorar alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas servidas, escuelas, centros comunitarios, servicios comunitarios, etc.
- Mayor simetría y transparencia en la información

# Capítulo 4

## Metodología de construcción presa CFRD

Un embalse es un proyecto integral de almacenamiento, utilización y distribución de agua, de alta complejidad. Para materializarlo se deben tener en cuenta una serie de actividades e infraestructuras que forman parte del producto final o son necesarias para realizar las faenas con la mayor seguridad, comodidad y eficiencia posible. Para esto es necesario, analizar la morfología de la zona de trabajo y recursos disponibles.

Previo a la ejecución de las obras, es fundamental identificar cada una de las actividades para definir detalladamente cómo se van a llevar a cabo, determinando los recursos que se deben utilizar como personal en general y equipos necesarios para desarrollar los trabajos de forma adecuada. Junto con ello, es necesario establecer una cronología de estas actividades, en especial las que forman parte la ruta crítica del proyecto, analizando si se pueden realizar en paralelo con la finalidad de optimizar los procesos constructivos y plazos.

En particular, el presente capítulo desarrolla la metodología de construcción de una presa tipo CFRD para el Embalse La Tranca, teniendo en cuenta las actividades principales para materializar una presa con la capacidad de embalsar 25 hm<sup>3</sup>. La construcción del embalse es un proyecto integral que está compuesto por 8 partidas principales, las cuales se detallan a continuación:

- Instalaciones de Faena y construcciones provisionarias.
- Presa.
- Evacuador de crecidas, vertedero, rápido de descarga y salto de sky.
- Túnel de desvío y entrega de riego.
- Construcción de caminos, internos para trabajos y variante camino publico D-779.
- Obras eléctricas para operar válvulas, bombas e instrumentación para el embalse.
- Expropiaciones.
- Mitigación ambiental.

En la presente investigación se abordan en profundidad cuatro de las 8 partidas, estas son: Instalaciones de Faena y servicios necesarios para garantizar la continuidad y calidad de los trabajos; obras de desvío; variantes de camino público y construcción de la presa. Los servicios necesarios se pueden caracterizar a partir de los estudios de factibilidad, geología y topografía del sitio seleccionado para la presa además de las experiencias previas de construcciones similares a nivel nacional e internacional.

Para efectos de cubicaciones y consideraciones de la presente metodología, se propone un embalse con capacidad de 25 hm<sup>3</sup>, teniendo en cuenta variables geológicas, topográficas, geotécnicas, condiciones actuales del río, disponibilidad de yacimientos y morfología del emplazamiento. Para el presente trabajo de título y con miras puestas en el proyecto Embalse La Tranca, se propone una presa de gravas compactadas con las siguientes características:

Tabla 4.1: Propuesta Embalse 25 Hm<sup>3</sup> para metodología.

Propuesta Embalse la Tranca; presa CFRD de gravas compactadas		
Talud aguas abajo	1,6:1	H:V
Talud aguas arriba	1,5:1	H:V
Longitud de coronamiento	395	m
Volumen a embalsar	25.000.000	m <sup>3</sup>
Superficie inundación	95	ha
Cota coronamiento	1.183	M.S.N.M.
Altura muro	81	m
Volumen de rellenos	1.441.533	m <sup>3</sup>
Superficie pantalla hormigón	21.058	m <sup>2</sup>
Ancho coronamiento	8	m

## 4.1. Roce, escarpe y descepe

Estas actividades corresponden a la limpieza de la zona de trabajo, previo a la ejecución de las obras con el objetivo de despejar el terreno y eliminar las capas vegetales que pueden resultar perjudiciales para la construcción. El roce consiste en la deforestación de la capa vegetal superficial, eliminando los arbustos y árboles nativos presentes en el terreno. En cuanto al escarpe es el retiro de la capa vegetal además de suelos finos como: limos, arcilla y arena en la superficie. El descepe consiste en eliminar raíces y tocones residuales en el terreno del proceso inicial de roce.

Estos trabajos se pueden clasificar en 2 zonas:

1. **Zona boscosa:** Comprende tala de árboles, eliminación de tocones, raíces y limpieza de vegetación en general.
2. **Zona no boscosa:** Quitar raíces y limpieza de terrenos cubiertos de maleza, escombros,

cultivos y arbustos. Antes de esta actividad se debe proteger la flora y fauna del sector de acuerdo al Plan de manejo ambiental, siguiendo lo detallado en la sección 3.7, puntos *iv* y *v*.

Estas labores deben ejecutarse de forma ordenada en fajas paralelas a las curvas de nivel, con 3 m de ancho, partiendo desde la cota alta hacia la más baja, cortando troncos de un tamaño tal que puedan ser manipulados sin problemas por los operarios. Este material debe ser acumulado en la parte final de la faja, para posteriormente cargarlo en camiones tolva y transportarlo a la zona de botaderos. Esta metodología evita el escurrimiento veloz de las aguas lluvia, protegiendo el terreno de la erosión.

Para el procedimiento se trabaja con maquinarias como excavadoras, bulldozers y trituradoras de desechos. También es necesario considerar trabajos manuales, generalmente en zonas de difícil acceso con pendientes fuertes, cuando hay baja densidad de vegetación. El retiro manual de materia orgánica en el descepe tiene como objetivo, que la presencia de esta materia orgánica sea a lo más un 3% de la composición en la superficie de trabajo.



Figura 4.1: Limpieza de terreno con cargador frontal.

Los materiales provenientes del roce y descepe, deben ser removidos de la zona de trabajo y acopiados en botaderos previamente autorizados. Estos se pueden utilizar como suelos íntegramente vegetales, los cuales eventualmente podrán ser empleados para el proceso de reforestación contemplado en el plan de mitigación ambiental al final de las obras. Los materiales que provienen de las demoliciones, contaminados con desechos, deben llevarse a botaderos permanentes que se empleen para depositar los escarpes, los cuales bajo ninguna circunstancia se utilizarán como tierra vegetal.

La actividad de roce, escarpe y descepe se debe realizar dentro de varias partidas tales como:

- a) Preparación y nivelación de terrenos para instalaciones de faena.

- b) Para obras de desvío, en el caso de la ataguía, la capa vegetal debe ser eliminada como mínimo un metro bajo la superficie.
- c) Limpieza del fondo de valle para la presa. La zona de fundación de presa tiene un tratado especial detallado en la sección “Construcción cuerpo de presa”.
- d) Zona de yacimientos y acopios de rellenos para presa. En estos lugares se debe tener especial cuidado para no contaminar los materiales seleccionados.
- e) Preparación de caminos, tanto los internos destinados al transporte de insumos, materiales y personal, como la variante del camino público D-779 de 2.1 km.

## 4.2. Instalación de Faena

Corresponden a todas las instalaciones necesarias para la correcta ejecución y control de las obras, incluyendo servicios para la comodidad del personal, permitiendo el desarrollo adecuado de las actividades, además del almacenaje de materiales y maquinarias en óptimas condiciones. Las Instalaciones de Faena se deben adecuar a las condiciones ambientales y sanitarias aceptables según la disposición legal D.S. 594/of 99 “Aprueba Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en lugares de trabajo” con sus posteriores modificaciones.

Para las instalaciones se debe considerar como mínimo: oficinas, vestidores, baños, suministro de agua potable, red sanitaria para evacuar aguas servidas, comedores para almacenar y calentar las colaciones del personal, laboratorios de hormigones y mecánica de suelos con su respectiva red eléctrica, alumbrado, instalaciones provisionales para suministrar energía eléctrica en terreno, policlínicos, bodegas para material general además de bodegas especializadas para explosivos y combustible, elementos para contención de incendios, construir caminos para el desplazamiento de maquinarias y personal en la obra, talleres de mantención para maquinaria e instalaciones adicionales que sean requeridas a medida que avanzan los trabajos con el objetivo que estos se desarrollen de forma continua y segura.

Se estima que para la construcción del Embalse La Tranca, el personal de obra y administrativo podría tener residencia en Combarbalá y el poblado de Cogotí. Por lo cual no será necesario contemplar campamentos en las instalaciones. No obstante, es necesario disponer de una movilización adecuada para trasladar el personal desde su lugar de residencia a la zona de trabajo y viceversa.

### 4.2.1. Laboratorios de hormigones y mecánica de suelos

El proyecto se emplaza en la zona cordillerana, alejada de grandes centros urbanos. Por lo tanto no se puede disponer de laboratorios especializados para evaluar la calidad de los hormigones colocados y características de los suelos ya sea para excavación, rellenos, terraplenes o estudiar condiciones de permeabilidad y densidad en terreno. Debido a esto, es necesario construir un laboratorio próximo a la obra, ubicado a una distancia prudente, evitando que el tránsito de maquinarias pesadas alteren la calidad de los ensayos.

Para el control de los hormigones se deben tomar muestras de cada 100 m<sup>3</sup> fabricados o como mínimo una muestra diaria, 2 de estas muestras se ensayan a 7 días y 3 al cabo de 28 días. La evaluación de estos ensayos a la compresión se debe realizar de acuerdo con lo estipulado en la NCh1998 punto 5.2.1 de la norma y se considera satisfactoria la resistencia del lote de hormigón si se cumple una de estas condiciones:

1. La resistencia de las 3 muestras ensayadas a 28 días debe ser en promedio, mayor o igual a la especificada en el proyecto.
2. La resistencia de cada muestra ensayada a 28 días no puede ser menor a 3.5 MPa a la especificada en el proyecto.

Para el laboratorio de hormigones, se debe disponer de canchas de secado de muestras las cuales deben estar debidamente protegidas para no alterar la calidad de los testigos, además de incluir un radier de a lo menos 10 cm, evitando así el contacto directo de las muestras con el suelo. Otra consideración adicional que se debe tener en cuenta para los laboratorios es contar con prensas de gran capacidad para ensayar hormigones de alta resistencia y prensas de menor capacidad, pero con bastante sensibilidad para estudiar las probetas de shotcrete. Además de equipo especializado para medir las densidades relativas de materiales gruesos como lo son los materiales 3C y 3D en la escollera, este último es fundamental para el control de calidad del relleno en el cuerpo de presa y estabilidad de la misma.

El control de calidad y ensayos de materiales, es primordial para el correcto funcionamiento de la presa. Conocer las características de suelos, permite tomar decisiones con mayor holgura respecto a la compactación de los materiales, granulometría a implementar en las distintas zonas de la presa, estabilidad de los taludes, resistencias esperadas mediante terraplenes de prueba y prever eventuales asentamientos. En el caso de los hormigones, permite verificar las resistencias esperadas además de evitar fallas y fisuras inesperadas que resultarían catastróficas para la construcción si no se detectan tempranamente. Debido a esto, es fundamental tener los laboratorios operativos antes de iniciar con los trabajos de desvío y construcción de presa.

#### **4.2.2. Desmovilización y cierre**

Una vez terminada la ejecución de obras se procederá a remover las instalaciones de faena, dejando completamente despejado, limpio y sin vestigios de construcción en el terreno utilizado. Para esto se debe implementar un plan de desmovilización con etapas sucesivas, para lograr el retiro total de la infraestructura provisoria y limpieza del área intervenida. Entre estas actividades se deben considerar:

- Suspensión de servicios de agua potable, alcantarillado y energía eléctrica.
- Retiro de edificaciones como: oficinas, comedores, bodegas e instalaciones en general.
- Demolición de losas, fundaciones y radieses con su posterior retiro del terreno.
- Retiro de baños químicos, sustancias, desechos peligrosos, restos de lechada y armaduras.
- Retiro de maquinarias y herramientas de trabajo.
- Limpieza general de área intervenida, eliminando en su totalidad los escombros, residuos y basuras producto del retiro de la infraestructura.

### 4.3. Desvío de camino público D-779

Actualmente, el camino público que llega al emplazamiento de la presa es el D-779 el cual se desarrolla por la ladera sur del Río Cogotí. Este camino, permite la conectividad entre los habitantes de la localidad El Durazno con comunidades ubicadas aguas abajo y el resto de la provincia de Limarí. El Durazno está ubicado aproximadamente a 6 km aguas arriba del eje de la presa. La ruta a la altura del eje de la presa y en el sector aguas arriba de este mismo, presenta tramos bajo la zona de inundación de 1.183 m.s.n.m, por lo que es necesario implementar una variante de este camino para garantizar la conectividad de los pobladores de El Durazno y evitar conflictos con las comunidades.



Figura 4.2: Tramo de ruta D-779 inundada. Elaboración Propia.

A partir de la cota de coronación y las curvas de nivel del terreno, se establece la zona de inundación en el sector aguas arriba. En la figura 4.2 se observa que parte de la ruta quedará sumergida bajo el agua, una vez el embalse esté a su máxima capacidad. Por lo tanto se propone cerrar este tramo para el público general y utilizarlo exclusivamente en el tránsito de camiones destinados a la ejecución de obras y habilitar un nuevo camino de uso público, paralelo al actual, ubicado en una cota superior para ser utilizado durante los trabajos y la futura operación del embalse.

La zona estudiada presenta pendientes fuertes por lo que la variante del camino actual debe desarrollarse en un tramo más largo que la zona inundada, con el objetivo de presentar pendientes adecuadas para el tránsito de vehículos particulares livianos. Para efectos prácticos, la modificación de la ruta D-779 inicia a 1.1 km aguas abajo de la presa y termina a 0.9 km aguas arriba, uniéndose con el camino actual. La materialización de este considera 97.416 m<sup>3</sup> de excavación en corte y 3.294 m<sup>3</sup> de terraplén. Las características del camino alternativo se presentan en la tabla 4.2

Tabla 4.2: Características variante Ruta D-779.

Características de camino	Total	Ud
Largo	2.15	Km
Ancho	10	m
Cota inicio	1.126	m.s.n.m
Cota término	1.214	m.s.n.m

Antes de plantear la metodología para la variante del camino, es importante tener en cuenta la información disponible de los estudios de factibilidad realizados por la consultora MN Ingenieros. En la zona del camino se realizó un sondaje (SLTMN-04) en las cercanías de la ruta para estudiar la estratigrafía en estribo izquierdo de la presa, en la ladera sur. El sondaje tuvo una profundidad de 50 m y de este se concluye que en el trazado de la excavación para el nuevo camino hay presencia principalmente de roca escombros de falda con maicillo y bolones, por lo que preliminarmente no es necesario realizar tronaduras en la zona para retirar el material. Para el camino se propone implementar una capa granular con rodadura, de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Manual de Carreteras, volumen N° 5 de especificaciones técnicas.

### 4.3.1. Preparación subrasante

Con el objetivo de preparar la subrasante del camino, se consideran las actividades de excavación en corte para remover el terreno natural presente en la ladera, eliminando la capa vegetal y formando una especie de terraza en la ladera del cerro que se aproxima al trazado final de la vía. Luego se realizan los trabajos de terraplén o relleno para nivelar la superficie excavada en corte, de esta forma se logra la rasante definida por el proyecto.

#### Excavación en corte

A continuación se enumeran las actividades para realizar las excavaciones en corte:

1. Con ayuda topográfica se procede al estacado del camino, las estacas deben estar distanciadas como máximo a 20 m entre ellas. Estas delimitan los bordes de la subrasante, marcan el eje central, cotas para la formación de terraplenes, peraltes y quiebres previstos para el trazado de la ruta.
2. Mediante bulldozers se remueve el material suelto, la capa vegetal, eliminando el material meteorizado de escombros de falda y bolones. Se prepara la plataforma de acuerdo a las cotas establecidas durante el trazado del camino. Esta actividad se debe realizar en fajas paralelas al eje longitudinal del camino. El material suelto y excavado queda en el camino para ser retirado posteriormente. También se deben utilizar retro excavadoras para perfilar el talud de corte en la parte superior de la ladera con un talud 1:5 (H:V).
3. En el retiro de material suelto se utilizan cargadores frontales que permiten la limpieza del trazado y carga del material en camiones tolva. Se prefiere el uso de cargadores frontales sobre excavadoras ya que el primero se puede desplazar con mayor velocidad y eficiencia en el eje longitudinal del camino, además de trabajar en conjunto con el

bulldozer. En esta etapa se puede analizar si parte del material excavado cumple con características adecuadas para la construcción de terraplenes del mismo camino según lo estipulado en la sección 5.205.2 del Manual de Carreteras. Este material puede ser acopiado en la parte superior del camino siempre y cuando no dificulte las excavaciones y tránsito de maquinarias, optimizando el movimiento de tierras para los terraplenes.

4. Finalmente se transporta el material sobrante a zonas de acopio, es recomendable separar los bolones y rellenos fluviales que potencialmente podrían ser utilizados como relleno para la presa.

## **Construcción de Terraplenes**

Para la construcción de terraplenes y alcanzar la subrasante del camino se procede con las siguientes actividades:

1. Se prepara la fundación del terraplén, el terreno ya excavado se debe compactar, primero se humecta la superficie con camiones aljibes y luego se compacta mediante rodillos vibratorios hasta alcanzar un 80 % de la densidad relativa.
2. Con camiones tolva se procede al vaciado de material clasificado sobre la superficie de fundación ya compactada, este material puede ser combinado previamente con el sobrante de las excavaciones de corte que cumple con las características mencionadas en el punto (3) de “Excavación en corte”.
3. Se procede al esparcido del material, extendiéndolo en toda el área requerida para tener una base sólida, homogénea, de espesor uniforme y paralelas al eje de la rasante. Esta actividad se realiza con motoniveladoras. En este proceso se debe dejar una pequeña inclinación en el eje transversal que permita el escurrimiento del agua.
4. Se continúa con la compactación del terreno en capas de 30 cm como máximo. El terreno debe estar homogéneamente húmedo en función de la humedad natural del material medida con el método 8.102.7 del Manual de Carreteras. Este proceso se realiza con camiones aljibes. Luego se procede a compactar las capas en fajas paralelas desde los bordes del terraplén, avanzando al centro del eje, las pasadas del rodillo vibratorio deben ser traslapadas en por lo menos la mitad de la unidad compactadora, en los tramos peraltados se parte desde la zona inferior a la superior.

En la figura 4.3 se muestra un trazado referencial de la variante del camino D779, representada en color rojo. Se desarrollan las actividades en 2 frentes de trabajo, en el tramo superior e inferior del nuevo camino



Figura 4.3: Trazado referencial variante D779. Elaboración propia.

### 4.3.2. Base granular con rodadura

Con las excavaciones y terraplenes terminados, se coloca la capa granular que corresponde a la superficie del nuevo camino, se debe utilizar material procesado de granulometría uniforme y que cumpla con las características necesarias para ejecutar la base. Este deberá ser acopiado en las cercanías del camino en canchas habilitadas especialmente para la actividad, libre de material contaminante y evitando la segregación de los materiales.

1. Colocación; el material seleccionado es transportado y vertido sobre la plataforma del camino con camiones tolva, para su posterior esparcido con motoniveladoras, dejando una superficie homogénea y de espesor uniforme en toda el área de la vía. Se considera un ancho total de 10 metros, distribuido en 8 metros de ancho para tránsito de vehículos y 2 bermas de un metro cada una en los extremos del camino.
2. Se debe esparcir el material, de tal manera que una vez compactado la capa granular tenga un espesor de 15 cm, considerando un esponjamiento del material de un 30 %.
3. Compactación; similar a los terraplenes, humectando la superficie y compactando con rodillos vibratorios en fajas traslapadas, como se detalla en el Manual de Carreteras, hasta lograr una densidad relativa del 80 %.

## 4.4. Obras de desvío

La presa se construye en seco, por lo tanto es necesario efectuar obras de desvío provisionarias que permitan trabajar en un área libre de agua, segura para los trabajadores, maquinarias y los avances del proyecto. Por lo general estos trabajos de desvío están compuestos por ataguías que impiden el paso del agua al sector de la presa y un túnel que encausa el río fuera de su régimen natural, para luego devolverlo aguas abajo del proyecto, como se muestra en el esquema de la figura 4.4.

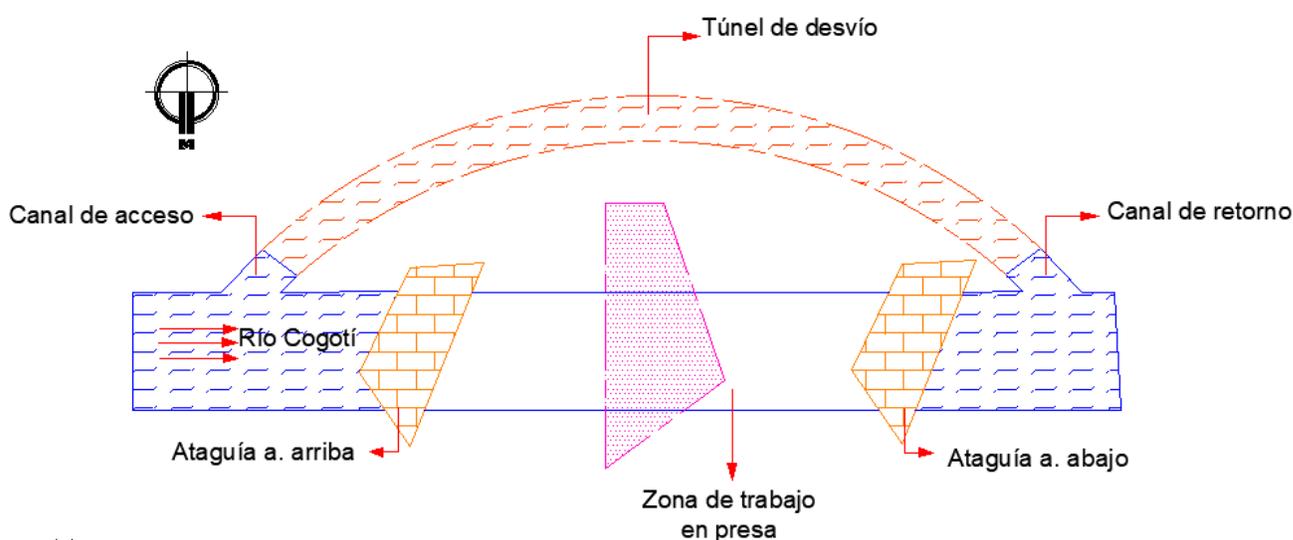


Figura 4.4: Esquema obras de desvío; Elaboración propia.

En La Tranca, la primera decisión es definir el sector ideal para ejecutar el túnel, visualmente el estribo norte de la presa parece ser la mejor opción ya que presenta roca expuesta de gran calidad lo que se traduce en mejores condiciones de estabilidad en las excavaciones y el largo del desvío sería menor, mientras que en la ladera sur se observa una gran cantidad de maicillo y escombros de falda que complican los trabajos de excavación. No obstante en la zona norte donde eventualmente se podría ubicar el canal de acceso, se observan evidencias de aluviones desde la zona denominada la quebrada de los Quillayes a 200 m aguas arriba de la presa. En caso de presentarse un evento similar durante la construcción de las obras de desvío o la operación de estas, puede ser catastrófico para el proyecto en términos de plazos, avances y seguridad del personal.

Por otra parte el estudio de los sondajes en el cuerpo de presa, expuestos en la sección 3.3 del presente trabajo, en particular el SLMN-04 indica que los materiales como maicillo y escombros de falda están presentes solo en la parte superficial del terreno del estribo sur y a mayor profundidad se encuentra roca de excelente calidad y pocas fracturas, ideal para excavar en una superficie estable de buen comportamiento estructural. Lo anterior permite proyectar amplios avances de excavación sin mayores riesgos de derrumbe. Por lo tanto la ladera sur es la indicada para realizar las obras de desvío.

#### 4.4.1. Túnel de desvío

Esta estructura se diseña para un caudal de 400 m<sup>3</sup>/s, que corresponde al caudal de crecida con un período de retorno de 20 años. La obra corresponde a un desvío provisorio y debe contemplar una tubería para la entrega del caudal en el retorno al río, cuando la presa esté completa. El túnel será bloqueado para llenar el embalse una vez terminados los trabajos. El desvío propuesto a nivel de factibilidad se divide en 5 secciones, que en su totalidad corresponden a 615 m de longitud y un túnel de 237 m. Estas secciones y tramos se describen en la tabla 4.3

Tabla 4.3: Secciones desvío del río.

N°	Tramo	Geometría	Longitud [m]	Largo acumulado [m]
1	Canal de Aproximación	Trapezoidal	95	95
2	Zona de cierre	Rectangular	6	101
3	Entrada Túnel	Túnel medio punto	182	283
4	Salida Túnel	Túnel medio punto	237	520
5	Canal de Salida	Trapezoidal	95	615

- (1) El canal de aproximación corresponde a una zanja con geometría trapezoidal la cual busca encausar al Río Cogotí hacia el túnel de desvío. Con una inclinación del 0.25 %, este canal debe ser recubierto con enrocados consolidados o misceláneos para prevenir los efectos de la erosión producto del flujo, el canal de salida (5) tiene las mismas características geométricas y su función es devolver de forma controlada el caudal desviado al cauce natural del río.
- (2) Zona de Cierre o túnel falso cuenta con un machón en su parte central y controla el flujo previo al acceso al túnel. También en esta zona se ubicará la torre de toma para captar las aguas del embalse, evitando el volumen muerto con sedimentos.
- (3) Entrada del túnel, cuenta con una pendiente del 3.77 %, sus paredes serán revestidas con shotcrete y una losa de hormigón, en esta zona se proyecta la excavación mediante tronaduras.
- (4) Salida del túnel, previo a esta sección se pasa por una transición del túnel donde se genera un dado de hormigón de 2x2 m el cual contiene la tubería de entrega, adicionalmente se construirá una pared que nace en el borde del dado y se extiende hasta el techo del túnel. La finalidad de esta separación, es la de permitir el tránsito hasta la caverna de válvulas. Por seguridad (altas velocidades iniciales en el, su inclinación también es de 3.77 %).

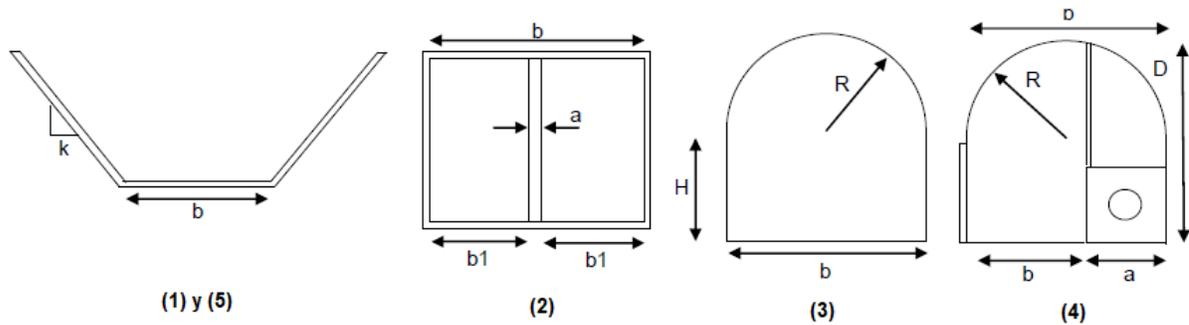


Figura 4.5: Geometría secciones del desvío; Fuente: Estudios MN Ingenieros.

Para desarrollar estas obras se contemplan las siguientes actividades:

### Canal de acceso y entrega:

1. En todo el largo del trazado de los canales y un metro fuera de su perímetro, se debe eliminar la materia vegetal mediante procesos de roce escarpe y descepe descritos en la sección 4.1.
2. Excavaciones, en este caso se realizan sobre material común de escombros de falda, por lo tanto se espera un buen rendimiento con excavadoras, para estos trabajos se dispondrá de excavadoras de 450 HP que son las mismas a utilizar en la explotación de yacimientos. Los materiales excavados no tienen ninguna utilidad, por lo tanto se deben llevar a botaderos.

Se debe generar un talud en las caras laterales del trapecio, en este caso con una relación 1.5:1 (H:V), lo que implica que no se requieren sostenimientos especiales para estos taludes de acuerdo a la tabla 4.5. Por lo tanto los trabajos se realizan únicamente con las excavadoras. Como apoyo para los operadores se disponen taluceras cada 15 m en la parte superior del talud que indiquen la inclinación de la excavación.

3. Para la protección del canal se utilizan enrocados consolidados con hormigón o misceláneos con el objetivo de evitar la erosión en la superficie.
  - a) Se prepara la zona excavada, vertiendo hormigón pobre para generar una superficie uniforme donde se apoyarán los enrocados.
  - b) Luego sobre el hormigón pobre, se coloca hormigón de mayor calidad, G-15 en toda la superficie, creando una cama de apoyo que estabiliza el enrocado que se colocará.
  - c) Las rocas deben ser sanas sin fracturas visibles, con un diámetro máximo de 20" y un mínimo de 8".

La estructura del enrocado se construye desde la zona más baja del canal hacia arriba, subiendo por el talud. Las rocas son acopiadas en los bordes del canal y no se permiten acopios dentro de este. Las rocas se colocan en el canal mediante métodos mecánicos, acomodados con el brazo hidráulico de excavadoras, también se debe disponer en terreno de personal que pueda acomodar con herramientas manuales, de tal manera que las rocas queden trabadas entre sí con la mínima cantidad de huecos posibles, el trabajo de colocación se realiza con el hormigón de consolidación fresco.

## Túnel de desvío:

1. Excavaciones, esta actividad se desarrolla principalmente en roca, excavando un túnel de una longitud total de 237 m.

Primero se realiza un trazado de la superficie que se desea remover, esta actividad se desarrolla mediante tronaduras, las cargas de explosivos deben ser colocadas en la roca por medio de perforaciones preferentemente distribuidas en el perímetro de la sección del túnel y en caso de no obtener los resultados esperados, se pueden agregar cargas en el centro de la sección como se muestra en la figura 4.6. Los espaciamientos, diámetros de perforación, carga lineal de explosivos e indicaciones adicionales se especifican en la sección 4.5 de excavaciones que se abordará más adelante en el presente informe.

Con la roca ya fracturada, se procede a retirar el material con excavadoras o cargadores LDH (SCOOP) de bajo perfil, que tienen mayor facilidad de desplazamiento dentro del túnel. En esta etapa resulta interesante evaluar las características de los materiales excavados ya que estos podrían presentar condiciones favorables para ser utilizados como relleno en las zonas 3B y 3C. Estas zonas representan la mayor parte del volumen de la presa y puede ser bastante favorable ya que desde una etapa temprana del proyecto se avanza con acopios de material, reduciendo los tiempos de trabajo entre inicio de explotación de yacimientos e inicio de colocación de rellenos. El resto de materiales debe ser transportado a zonas de botadero.

Respecto al sostenimiento, se han evaluado dos zonas del túnel, la primera con un recubrimiento de roca<sup>2</sup> de 20 m o menos y la segunda con un recubrimiento de 20 a 50 m. En los estudios de factibilidad se analizaron ambas zonas mediante métodos de “sistema Barton” y sondajes, donde se concluye que la calidad de la roca es excelente y no requerirá sostenimientos en la sección excavada, considerando que el diámetro del túnel no supera los 5 m para un caudal máximo de 400 m<sup>3</sup>/s. El sostenimiento debe evaluarse en fase de diseño.

No obstante si el profesional en terreno define que se requiere sostenimiento debido a fracturas o inestabilidades no detectadas en los estudios, este estará compuesto por mallas de acero, pernos de anclaje para roca de 2.4 m de largo, placas metálicas para los pernos y una capa de hormigón proyectado.

---

<sup>2</sup> Recubrimiento de roca: corresponde al espesor de roca sobre el trazado del túnel.

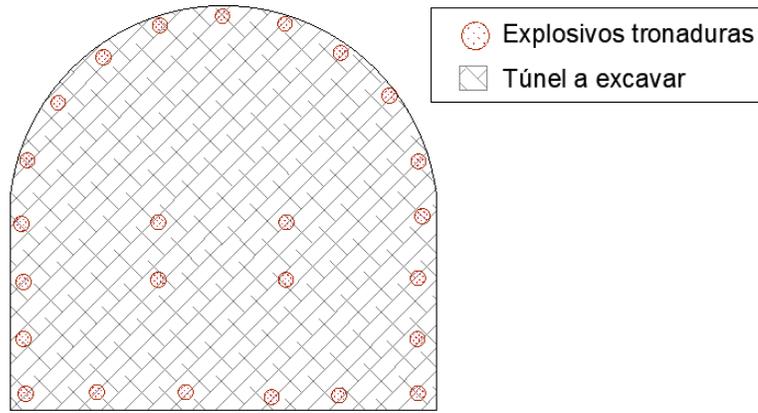


Figura 4.6: Esquema perforaciones para tronadura en túnel;  
Elaboración propia.

2. Con la excavación completa de extremo a extremo se debe acondicionar el túnel para que los trabajadores desarrollen sus funciones de forma adecuada.
  - Se debe contar con sistemas de bombeo para agotar las napas o acumulaciones de agua producto de lluvias, desbordes o cualquier eventualidad en las obras. Los trabajos de revestimiento deben realizarse en seco.
  - Es necesario contar con un sistema de iluminación y ventilación dentro del ducto, que permita el tránsito con buena visibilidad para los operadores de maquinarias y trabajadores encargados de realizar las concretaduras. También es fundamental mantener un ambiente libre de gases tóxicos y material fino suspendido en la excavación, de acuerdo a las Normas Chilenas y Reglamento de Seguridad Minera.
3. El revestimiento del túnel está compuesto por 2 zonas, las paredes son cubiertas con shotcrete y en la base se construye una losa de hormigón.
  - Se limpia la superficie de las paredes, para que quede libre de materiales sueltos producto de la excavación y en caso de haberlos, deben ser retirados antes del revestimiento con shotcrete. El hormigón proyectado debe ser colocado mediante equipos de shotcrete robot, este equipo es ideal para trabajar en túneles ya que tiene baja altura y un brazo telescópico que le permite cubrir toda la superficie del túnel.
  - Para la losa de hormigón se realiza un emplantillado de hormigón pobre para separar la estructura del suelo, se dispone la enfierradura sobre el emplantillado con sus debidos recubrimientos. Con la armadura colocada se procede al hormigonado, este se hace con camiones mixer de bajo perfil o mediante bombas de hormigonado. Se realiza un vibrado por inmersión para garantizar que la mezcla llegue a todas las zonas y tenga un buen contacto con la armadura.
  - Aproximadamente en el punto medio del túnel, su trazado pasa por el mismo plano que el plinto, en esta zona se deben llevar a cabo aureolas de inyección en todo el perímetro de esa sección del túnel, para impermeabilizar la cortina de la presa y rellenar posibles fallas de la roca con lechada de hormigón. El procedimiento de esta actividad respecto a las presiones, volúmenes de lechada y perforaciones se detallan en la sección 4.5.3 donde se especifican las inyecciones en plinto.

## 4.4.2. Ataguía

Esta estructura corresponde a un dique o presa provisoria, compuesta por materiales finos, impermeables que permiten encauzar el flujo del río hacia el túnel de desvío, el cual debe estar construido previo a los trabajos de ataguía. Esta estructura protege la zona de trabajos en la presa del cauce natural, sus dimensiones están limitadas por el caudal de diseño y se ubica inmediatamente aguas arriba de la zona de trabajo en la presa.

En La Tranca, resulta adecuado ubicar la ataguía a unos 150 m aguas arriba del eje de la presa de acuerdo a los tramos descritos anteriormente para el túnel. En un nivel de factibilidad se estima que su altura no supera los 12 m, considerando una revancha de un metro de alto, con un talud 1.5:1 (H:V) en sentido aguas abajo y aguas arriba. Por otra parte no se observa necesidad de implementar la contra ataguía (ataguía aguas abajo) ya que el canal de retorno entrega las aguas al cauce natural en una cota bastante baja respecto a la zona de trabajos de presa, más 20 m de diferencia de cotas y los caudales de diseño son bajos como para considerar un retroceso de las aguas desviadas. Alternativamente se pueden implementar pequeños terraplenes.

En la tabla 4.4 se presenta la granulometría recomendada del material de la ataguía, con el objetivo que cumpla con las características de impermeabilidad.

Tabla 4.4: Granulometría material de ataguía.

Tamiz Pulg; N° ASTM	% QUE PASA
3"	100
3/4"	50-90
N°4	42-75
N°16	32-60
N°50	24-45
N°200	15-20

Para realizar estas actividades de cierre del río, se recomienda llevarlas a cabo entre los meses de noviembre y marzo, cuando los caudales son mínimos y se pueden desarrollar las labores con mayor seguridad y rapidez. Esto implica una planificación previa respecto a la disposición de maquinarias y contar con los acopios de material previo a la ejecución de la ataguía. Los procedimientos se describen a continuación.

1. Se realiza el roce, escarpe y descepe de la superficie donde se colocará la ataguía. El terreno debe ser excavado por lo menos un metro de profundidad y revisar si existe presencia de material orgánico, en caso de haberlo, es necesario profundizar más. Se debe presentar una superficie pareja después de estas actividades.
2. El material de ataguía es transportado mediante camiones tolva y su tendido se lleva a cabo con cargadores frontales. Se compacta cada capa con al menos 4 pasadas de rodillos vibratorios lisos de al menos 10 toneladas de peso estático(>5 t/m de tambor),

en los trabajos de compactación la humedad del relleno debe estar en el  $\pm 2\%$  contenido óptimo del material, definido por la norma ASTM D-1557 método D.

Como estos trabajos se realizan con el río fluyendo, se debe planificar las actividades de tal manera que el cierre del cauce sea efectivo y que este no erosione las capas de ataguía que se colocan, para esto se requiere rapidez al momento de colocar el material. Se sigue el siguiente procedimiento:

- a) Se empieza construyendo las capas de la ataguía en las riberas norte y sur, evitando el cauce del río y reduciendo su ancho progresivamente. Estas capas deben presentar un ancho adecuado para servir de plataformas que permitan el desplazamiento de equipos y acopio de materiales.
- b) A medida que se vaya obturando el vano central, se pueden colocar enrocados para cubrir las capas de la ataguía frente a la erosión del río, estos pueden provenir de las excavaciones del túnel.
- c) El cierre final del río requiere actuar con rapidez con el objetivo de formar un cuerpo resistente al agua, es de esperarse que los primeros rellenos pierdan gran parte de su volumen al ser arrastrados por el cauce, pero se debe continuar hasta que las aguas no logren penetrar en la ataguía. En caso de presentar caudales muy grandes se pueden disponer de rocas en la cara aguas arriba que reduzcan el impacto del agua contra el material colocado.



Figura 4.7: Acumulación de rellenos en laderas;  
Fuente Ing. Presas de Escollera.



Figura 4.8: Cierre progresivo; Fuente Ing. Presas de Escollera.

## 4.5. Construcción de la presa

### 4.5.1. Excavaciones

En la construcción de la presa, la primera actividad que se debe realizar es la excavación de las laderas y lecho del río con el objetivo de despejar las zonas de trabajo. Para dejar expuesta la roca incompresible y construir la fundación del muro impermeable, además de preparar la base donde se colocará el material de escollera. Esta base debe presentar densidades competentes antes de iniciar la compactación de las capas superiores, sin presencia de materia vegetal ni suelos finos de baja resistencia. Durante las excavaciones se eliminan todos estos materiales incompetentes para fundar la presa.

En el transcurso de estos trabajos, se mueven varios tipos de materiales. Los cuales dependiendo de sus características, requieren distintos medios, procesos y tecnologías para llevar a cabo las excavaciones. Lo anterior, afecta directamente los rendimientos y planificación de actividades. Se distinguen los siguientes tipos de excavaciones, según la clase y estados de los materiales a trabajar:

- Limpieza, escarpe, deforestación de la capa vegetal del terreno. En caso que el material no esté contaminado se puede almacenar para procesos de reforestación una vez terminada la construcción.
- Excavación en material común, se puede realizar con pico y pala manualmente o con maquinaria dependiendo de la accesibilidad.
- Excavación en roca dura y fracturada, caracterizada con velocidades de onda sísmica menores a 2000 m/s. Se emplean martillos neumáticos, equipos mecánicos con escarifadores y pre voladuras con explosivos para aflojar grandes masas de roca.
- Excavación en roca dura, se requiere uso de explosivos con barrenos perforados sistemáticamente para realizar tronaduras.

Una vez terminadas las excavaciones, se puede dar inicio a los trabajos definitivos en la presa. Por esto mismo el despeje de laderas y lecho del río forma parte de la ruta crítica del proyecto, en consecuencia se deben disponer los recursos necesarios para la óptima realización de estos trabajos con una planificación adecuada y flexible frente a eventualidades que se presenten durante la construcción. Por lo general, en esta etapa existe una concentración de varios frentes de trabajo en el emplazamiento de la presa, lo que obliga a la disposición de plataformas para las maquinarias, con la finalidad de coordinar el movimiento de equipos, materiales y retiro de estos. Teniendo en cuenta que estas plataformas podrán ser de utilidad cuando se realicen las actividades de esparcido y compactación del material de escollera.

Todo material extraído desde las excavaciones debe ser trasladado a botaderos, previamente aprobados. Dicho material debe ser sometido a análisis para ver si cumplen con las condiciones para ser utilizados como empréstito para la presa.

#### 4.5.1.1. Obras de drenaje

Se deben construir y mantener obras de drenaje necesarias para la evacuación de aguas, con la finalidad de asegurar la protección de las obras y personal, además de evitar erosionar la superficie durante el tiempo de ejecución de los trabajos.

**Zanjas de drenaje:** Trabajan gravitacionalmente y se aplican en zonas donde hay presencia de agua o potencial escurrimiento de esta debido a aguas lluvias. Deben ser ubicadas en los perímetros del sector de excavación sin afectar el tránsito de equipos. i) Con el trazo de la zanja definida se excava con retro excavadoras a una profundidad de 1 a 1.5 m dependiendo del volumen a drenar. ii) En el perímetro de la sección excavada se coloca una membrana textil para evitar la salida de finos. iii) La zanja es rellenada con áridos graduados para garantizar su integridad y retener el material fino que escurre, evitando la erosión del suelo. Esto se hace con las mismas excavadoras.

**Agotamiento por bombeo:** Cuando no es posible mantener libre de agua el área de excavaciones mediante obras gravitacionales, se deberán utilizar moto bombas, mangueras, conductos deslizantes y todo lo necesario para mantener el nivel del agua bajo la zona de trabajo. El agua bombeada puede ser llevada a las zanjas de drenaje. En esta actividad se debe tener especial cuidado de no provocar socavaciones ni alterar los taludes de excavación.

#### 4.5.1.2. Excavación en material común

En cuanto a las excavaciones en material común, los taludes de corte requeridos para excavaciones provisionarias, con una altura inferior a 10 m, se harán con distintas inclinaciones dependiendo del material, estas se muestran en la Tabla 4.5:

Tabla 4.5: Taludes de excavación en material común

Material	Talud en corte H:V
Escombros de falda	1:1
Fluviales	1.5:1

En caso que el talud de excavación presente alturas mayores a los 10 m, se deberán disponer terrazas o plataformas de 3 m de ancho cada 10 m de altura desde el inicio de la excavación hacia arriba. Estas plataformas deben contar con una pendiente transversal entre el 1 a 3 % y un 5 % en el sentido longitudinal del talud, con el objetivo que el agua escurra por las plataformas de forma controlada en caso de lluvias o filtraciones, evitando la erosión en los taludes. Estos taludes deben ser evaluados frecuentemente para garantizar su estabilidad y seguridad en la zona de trabajo.

Para realizar estos taludes de excavación, se desarrollan las siguientes actividades:

1. Se definen y trazan las cotas de excavación, además de ubicar taluceras en la parte superior que sirven de guía para los operadores de las excavadoras.
2. Mediante excavadoras, se retira el material siguiendo la forma del talud. Para estos fines se disponen plataformas excavadas en terreno que permitan a la maquinaria retirar

el material de forma segura y eficiente desde la parte superior. Se debe tener especial cuidado con los derrumbes en esta labor. El material excavado debe ser colocado fuera de la zona de excavación o directamente en los camiones para su retiro a botaderos.

3. En caso de ser necesarias, las terrazas se construyen con mini excavadoras o cargadores frontales para generar una superficie con pendientes adecuadas según lo especificado anteriormente. El material de esta excavación en corte también es transportada a botaderos.

#### 4.5.1.3. Excavación en roca

Para excavar en roca, por lo general se ejecutan sucesivos cortes indirectos mediante tronaduras controladas hasta llegar al talud teórico establecido. Se utilizan taludes de 1:4 (H:V). Al igual que en el caso del material común, cuando las excavaciones superen los 10 m de altura, se dispondrán plataformas transversales de 3 m de ancho con pendientes adecuadas que permitan el escurrimiento controlado del agua. El procedimiento de excavación es similar al material común, la diferencia está en el uso de explosivos para cortar la roca y que en estos taludes se requieren sostenimientos.

1. **Tronaduras controladas:** Las tronaduras controladas se realizan en las superficies de roca que presentan una pendiente mayor a 1:1. Esta técnica consta de realizar una serie de perforaciones en la roca dispuestas en un plano paralelo al paramento definitivo, para luego colocar explosivos en estas, fracturando y removiendo la superficie rocosa. Entre los requerimientos para las perforaciones se debe tener en cuenta los siguientes:

- El espaciamiento entre las perforaciones es limitado, no debe ser mayor a 15 veces el diámetro de cada perforación
- La profundidad de las perforaciones no debe ser mayor a 10 m, a menos que sea necesario en casos excepcionales.
- Los explosivos estarán uniformemente distribuidos a lo largo de la perforación.
- Limitar los explosivos dispuestos por metro lineal a los valores indicados en la tabla 4.6

Tabla 4.6: Carga lineal explosivos; Fuente: Especificaciones Técnicas de proyecto Embalse Chironta.

Diámetro barreno[mm]	Diámetro carga[mm]	Concentración carga kg ANFO/m	Espesor roca barreno [m]	Espaciamiento[m]
25-32	11	0.08	0.30-0.45	0.25-0.35
33-48	17	0.20	0.70-0.90	0.50-0.70
51-64	22	0.44	1.00-1.10	0.80-0.90

2. **Sostenimiento de taludes en roca:** Los taludes deben ser perfilados y limpiados, eliminando rocas sueltas e inestables, esto en conjunto con las labores de sostenimiento son requisito para continuar con los trabajos de forma segura. La estabilización de taludes en roca se puede hacer mediante distintas técnicas que se presentan a continuación, sus procedimientos y características están detalladas en el punto 5.801 “Sostenimiento de rocas ” del Manual de Carreteras.

- Malla de refuerzo: El hormigón proyectado se reforzará con una malla, también puede trabajar con los pernos de anclaje para evitar el desprendimiento de pequeñas rocas o material suelto.
- Sostenimiento con pernos: Se incrustan en los sectores que exista inestabilidad de taludes y se sostienen mediante placas y mallas de refuerzo.
- Hormigón proyectado: Se aplica según la calidad de la roca y condiciones del talud.



Figura 4.9: Técnicas de sostenimiento.

Es importante contar en bodega con un stock mínimo de un 20 % de los elementos de sostenimiento del total requerido para todas las excavaciones. Esto para garantizar un trabajo continuo y seguro ya que si hay un talud que presente riesgos de deslizamiento, no se puede avanzar con las actividades en la zona. Se deben evitar paralizaciones debido a la falta de materiales.

#### 4.5.1.4. Zonas de excavación para presa

Con el objetivo de preparar las fundaciones de la presa del Embalse La Tranca, se deben considerar 4 zonas de excavación ya que en estas se van a apoyar distintas estructuras y materiales, las cuales requieren de tratamientos diferenciados para obtener un óptimo rendimiento de la escollera, pantalla de hormigón y plinto. De acuerdo con información aportada por la DOH, se pueden diferenciar 4 zonas a excavar, como se muestra en la figura 4.10.

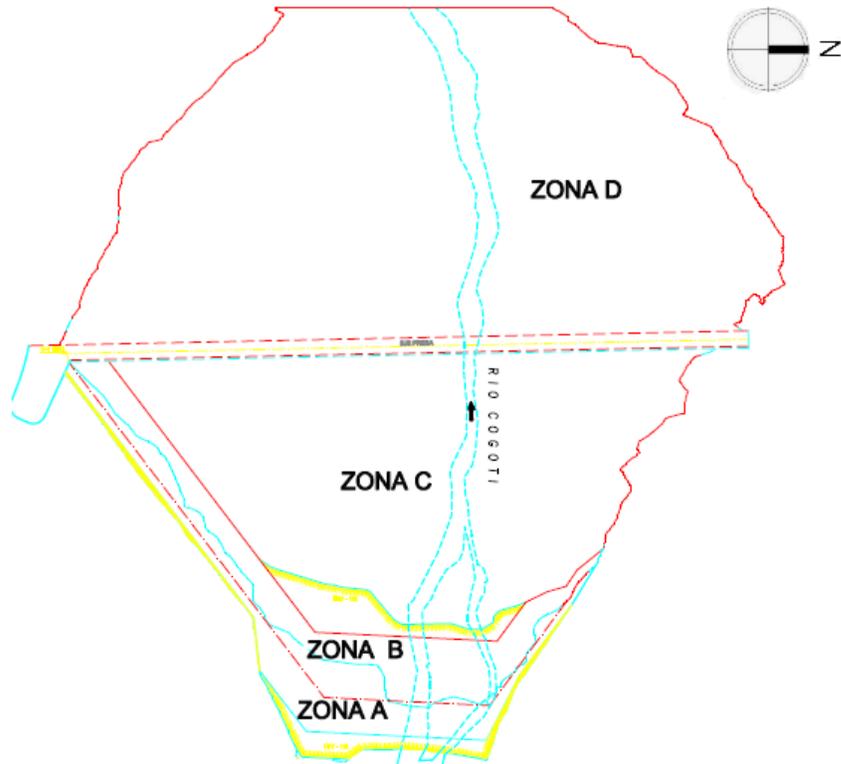


Figura 4.10: Planta excavaciones fundación presa; Fuente: DOH.

**ZONA A:** Esta zona corresponde a la excavación para plintos, estructura que se apoya en la roca incompresible, por lo tanto se debe remover el material hasta llegar al basamento rocoso. De la morfología del sector, se observa que la ladera norte presenta una pendiente fuerte, prácticamente vertical con la roca expuesta, siendo necesario un pequeño alisamiento y limpieza de la superficie rocosa, sin mayores volúmenes de excavación. Mientras que en la ladera sur se espera la remoción de grandes volúmenes de roca meteorizada y maicillo suelto, se estima que la roca está a 5 m de profundidad.

Los planos de excavación contemplan cortes en roca con un talud 1H:3V desde aguas arriba. En el lecho del río se debe excavar hasta encontrar la roca o llegar a los 12 m de profundidad, en este punto se generan taludes de 1.5H:1V en sentido aguas abajo, perpendicular al eje de la presa. Se espera que la roca aceptable para fundar se encuentre a 4 m de profundidad. Tener en cuenta tres tramos para el plinto, en ladera norte, lecho del río y ladera sur, cada uno de los tramos es un plano de excavación y los trabajos deben realizarse de forma perpendicular a este.

**ZONA B:** Corresponde a la zona adyacente al plinto. Se debe eliminar en su totalidad la sobrecarga de suelos y roca meteorizada. Como referencia estos trabajos se desarrollan hasta 30 m en dirección aguas abajo desde el trazado del plinto. La profundidad de esta excavación está delimitada hasta encontrar una matriz de suelo firme que no pueda ser removida con excavadoras de 200 HP. El talud aguas abajo en esta zona debe ser paralelo al de los rellenos del muro.

**ZONA C:** Ubicada entre la zona B y el eje de la presa. Se extraen los materiales sueltos hasta una profundidad de 2.5 m, se deben eliminar en su totalidad los suelos cohesivos. Es recomendable estudiar la compactación de los materiales presentes en el terreno natural, ya que si presentan una compactación mayor o igual a la que tendrán los rellenos de la presa, estos pueden permanecer sin la necesidad de ser excavados, lo cual implica menos trabajos y transporte de materiales.

**ZONA D:** Entre el eje de la presa y el talud aguas abajo. Es la zona que ocupa mayor superficie de las 4. Su función es dar apoyo al material de escollera compuesto por los rellenos de presa 3B, 3C y 3D. Se excavan los materiales sueltos, de baja resistencia y densidad, hasta una profundidad de 1.5m. Se debe evaluar la densidad de la superficie excavada para evitar asentamientos en la escollera.

Sin perjuicio de lo anterior, para la fundación de la presa se debe eliminar toda capa vegetal presente en el terreno ya sea en la superficie o en los estratos inferiores, además de eliminar suelos cohesivos de baja resistencia en caso de ser encontrados en la base de la presa.

#### **4.5.2. Plinto**

Es una estructura de hormigón armado que tiene como objetivo unir la pantalla impermeable con la roca de fundación, formando un sistema impermeable bajo la pantalla. También sirve como cubierta para los trabajos de inyección de lechada en la roca para generar una cortina de impermeabilización evitando filtraciones subterráneas. Por lo general es una sección rectangular vista desde arriba, va anclada a la roca mediante barras de acero, lo que permite obtener una estructura monolítica con la cimentación. El plinto cuenta con un cabezal que sirve de apoyo y conexión con la pantalla de hormigón.

El plinto en cada ladera presenta tramos rectos siguiendo la pendiente generada por la intersección de la pantalla de hormigón y la roca donde será fundada, es decir este trazado depende de la topografía del emplazamiento. Para La Tranca, se contempla un plinto horizontal en la ladera sur y lecho del río, sin la necesidad de construir una pared moldeada ya que este se funda directo en la roca, mientras que en el caso de la ladera norte, se requiere un plinto vertical debido a las fuertes pendientes que se presentan. En los tres casos esta estructura intercepta en línea recta con el plano de la pantalla.

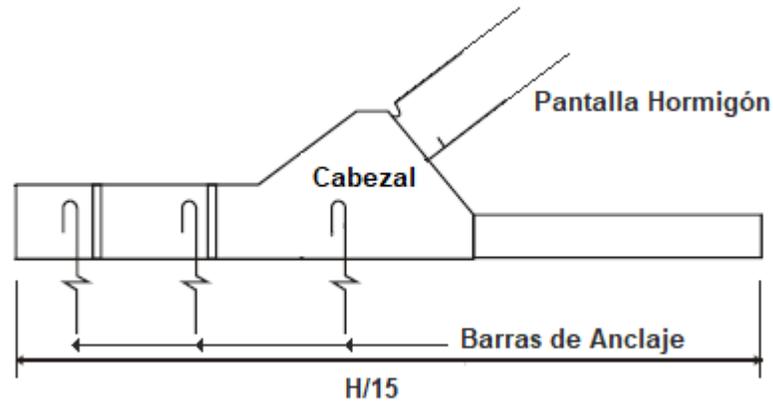


Figura 4.11: Sección Típica Plinto; Fuente: Maruala And Pinto, 2000.

### Ancho de plinto

Por lo general el ancho del plinto se define en función del gradiente hidráulico “H” y de la calidad de la roca en la que se va a construir. Para rocas químicamente sanas, aunque fracturadas se utilizan valores que están en el intervalo de  $[H/25; H/20]$ , mientras que para rocas erosionables como las sedimentarias resulta adecuado utilizar mayores anchos,  $[H/18; H/15]$ . La experiencia en Chile indica que en rocas fracturadas la implementación de anchos de  $H/20$  han tenido éxito como se ha visto en los embalses Santa Juana en la cuenca del Río Huasco y Puclaro en Vicuña, construidos en los años 1995 y 1999 respectivamente. En el caso del Embalse La Tranca, los sondajes han demostrado que el apoyo de ambos estribos será en roca intrusiva sana de escaso fracturamiento, por lo tanto, la estructura se apoyará en un basamento de excelente calidad ( $RQD > 90\%$ ) en toda su extensión.

El ICOLD (International Commission on Large Dams)[17], recomienda implementar un ancho de  $H/18$  cuando se presentan condiciones similares a las del basamento rocoso de La Tranca, características respaldadas por los sondajes realizados en la zona del proyecto y detallados en la sección 3.3. No obstante, teniendo en cuenta la experiencia a nivel nacional, descrita en el párrafo anterior, se propone un ancho de  $H/20$ , considerando que la propuesta corresponde a un nivel de factibilidad, por lo que esta relación puede ser optimizada a futuro. Por otra parte el ancho del plinto no será menor a 3 m, independiente del gradiente hidráulico.

### Preparación de la superficie

Una vez terminadas las excavaciones en la zona A (ver figura 4.10) tanto en laderas como en el lecho del río y con la roca expuesta, se procede a los trabajos de limpieza, tratamiento de fracturas rocosas y nivelación:

1. Mediante chorros de agua y aire a presión se limpia la superficie rocosa de los plintos además de los taludes de excavación que convergen en roca basal, removiendo los materiales sueltos que quedaron en la zona de excavación.
2. Se realiza una inspección Geológica-Geotécnica de la roca, para verificar su competencia y potenciales sectores de falla, además se retiran todos los bloques y fragmentos sueltos.
3. En caso de encontrar sectores de fallas y fracturas en la roca, se puede realizar un

tratamiento dental, que corresponde a una excavación más fina, eliminando parte del material rocoso deficiente, para posteriormente rellenarlas de acuerdo a los siguientes criterios:

- Grietas menores a 5 cm, se excavan en una profundidad de 5 veces su ancho y luego se rellena con mortero o lechada.
  - Grietas entre 5 y 50 cm, se debe remover el material hasta una profundidad de 5 veces su ancho, para posteriormente rellenar con hormigón G15.
4. Terminado el tratamiento dental, se limpia nuevamente la superficie con agua y aire a presión. Luego, se procede al vertido de los primeros hormigones de nivelación obteniendo una superficie limpia y homogénea para la construcción del plinto.

### **Construcción de plinto**

1. Se debe conseguir una buena adherencia entre el hormigón de nivelación y el plinto, por lo tanto la junta entre ambos debe ser tratada como una junta de construcción, picando el hormigón de nivelación mediante martillos demoledores para obtener una superficie rugosa y limpiándola previamente al hormigonado.
2. Para garantizar la ligazón del plinto con la roca se colocan barras de anclaje espaciadas de 1,2 a 1,4 m. Primero se realiza una perforación en la roca en el sector donde se colocarán las barras, la que debe tener un diámetro de 10 mm mayor al diámetro nominal de la barra de anclaje. Luego se debe inyectar esta perforación con resina epóxica o mortero para que la barra quede adherida a la roca en toda su longitud, además de protegerla contra el óxido. Inmediatamente después de inyectar la resina o mortero, se colocan las barras de anclaje las cuales deben estar previamente dobladas en 90° para formar un gancho (ver figura 4.11). Las barras son dobladas en los talleres de doblado con control y procedimientos adecuados, estas cuentan con pequeños resaltes en su superficie y son de acero tipo A63-42H o similar.
3. Las armaduras no presentan mayor complejidad por lo que se debe disponer una zona de acopio, protegida del contacto directo con el suelo para el material ya doblado. Son colocadas por los enfierradores con apoyo mecánico en caso de ser requerido. La armadura está compuesta por una doble malla con un 0.3 % en cada sentido, unidas con estribos a lo largo de esta y material doblado que da forma al cabezal. El recubrimiento de las armaduras es de 5 cm como mínimo tal como se dispone en la ACI318-14 para fundaciones.
4. Una vez tejida la armadura de la estructura se procede con el hormigonado.
  - a) Moldajes: En la parte inferior y lateral del plinto el hormigonado es contra terreno, por lo tanto se debe considerar un volumen excedente de hormigón, propio de los trabajos de estas características, a priori entre un 20 a 25 % más de la cubicación teórica. Para controlar estas pérdidas y tener una superficie regular se colocan estacas con cierre perimetral utilizando tablas de madera en la parte superior del plinto. En la superficie, se dispone de un moldaje metálico que se puede apuntalar y deslizar sobre la estructura como se observa en la figura 4.12. En los moldajes se deben dejar tubos guías que permitan realizar las inyecciones de impermeabilización en la roca a través del plinto.



Figura 4.12: Moldaje plinto; Presa de Itapebi, Brasil.

- b) Material: El hormigón debe ser G30 con áridos de tamaño máximo 1 1/2" con cemento puzolánico e incorporación de aditivos plastificantes que contribuyan a mejorar su trabajabilidad, teniendo en cuenta que las laderas son un sitio de pendientes fuertes y un hormigón muy fluido puede complicar los trabajos
- c) Hormigonado: Se utilizará el bombeo de hormigón, por lo tanto previo a este las tuberías del sistema de bombas deben ser lubricadas con lechada. El vertido de hormigón es desde abajo hacia arriba y se deben evitar a toda costa las juntas de construcción no programadas. Se considera un vibrado por inmersión, mediante técnicas que eviten la floración del moldaje y que eliminen las burbujas de aire, este trabajo se hace hasta que aflore la lechada en la parte superficial del hormigonado.
- d) Juntas: Lo recomendable es inducir juntas transversales cada 20 metros para evitar fisuras en la estructura debido a la retracción del hormigón. En estas juntas se deben dejar las enfierraduras pasadas, antes de proseguir con el hormigonado, se limpiará la junta mediante arenado o disparo de agua con chorro de a lo menos 490 kg/cm<sup>2</sup> de presión.
- e) Junta de cobre: La junta entre el plinto y la pantalla impermeable se realiza con juntas de cobre, una vez terminado los trabajos de hormigonado. Se debe proteger esta junta que queda expuesta a la intemperie mediante protecciones de madera. Se debe considerar un largo tiempo de exposición, ya que entre el hormigonado del plinto y la ejecución del muro hay un desfase de tiempo importante.
- f) El curado se hace con arpilleras húmedas que deben ser regadas al menos 3 veces al día, esta frecuencia puede aumentar si se presentan temperaturas ambientales muy altas (sobre 30°C), este proceso se lleva a cabo durante 14 días.



Figura 4.13: Junta Plinto-Muro en lecho del río, Presa Limón/Olmos, Perú;  
Fuente Ing. Presas de Escollera.



Figura 4.14: Construcción plinto en ladera Presa Potrerillos, Argentina;  
Fuente: Ing. de Presas de Escollera.

### 4.5.3. Cortina de impermeabilización

La continuidad del sistema de estanqueidad de una presa tipo CFRD, está integrado por la pared de hormigón, plinto y una cortina de inyecciones de consolidación e impermeabilización mediante inyecciones de lechada de hormigón. Usualmente estas últimas tienen una profundidad entre uno y dos tercios de la carga hidráulica con una longitud mínima de 15 m. Las inyecciones se hacen desde el plinto hacia la roca y para el caso del Embalse La Tranca, se propone la siguiente relación para la profundidad de la cortina :

$$H_p = \frac{1}{3} \cdot H_w + 15 \quad (4.1)$$

Donde:

$H_p$ [m]: Profundidad de la inyección, desde la superficie de la fundación.

$H_w$ [m]: Carga hidráulica sobre el punto de estudio.

Por lo general se desarrollan tres filas de perforaciones en sentido ortogonal al eje del plinto, espaciadas cada 3 m. La perforación central es para las inyecciones de impermeabilización y las dos laterales para las de consolidación que tienen una profundidad del orden de 8 a 15 m. La importancia de esta cortina radica en limitar el gradiente de agua que se infiltra bajo el plinto. Los barrenos deben orientarse de tal manera que intercepten familias de diaclasas y fallas en la roca detectadas durante el reconocimiento geológico.

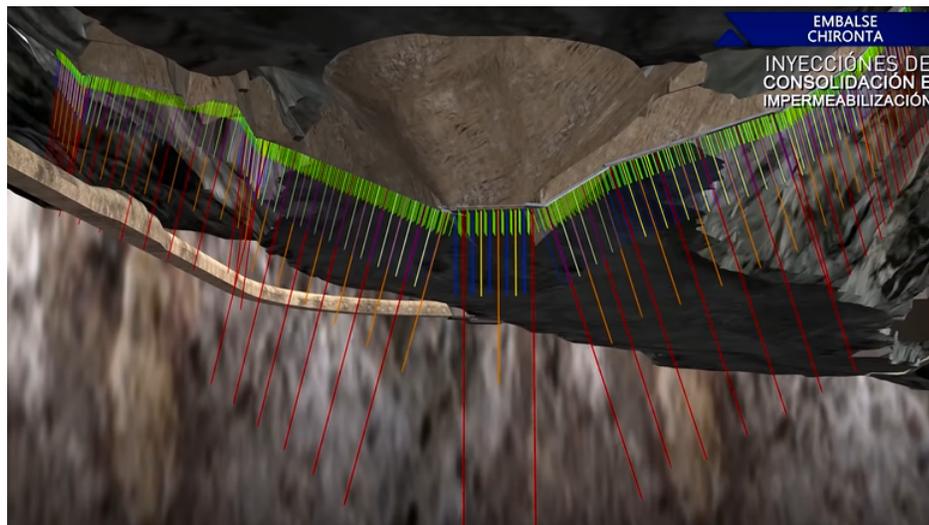


Figura 4.15: Animación cortina de impermeabilización EETT Chironta vista desde el subsuelo; Fuente: DOH.

Las inyecciones se realizan como mínimo 14 días después del hormigonado del plinto, una vez terminado el proceso de curado. La secuencia de perforaciones corresponde a un cierre progresivo de la roca, partiendo desde la zona inferior en el lecho del río hacia las zonas altas. Respecto al método de trabajo, materiales, presiones de inyección y volúmenes de lechada, se deben ajustar al principio "Grouting Intensity Number", desarrollado por Lombardi-Deere, explicado en el artículo "Grouting Design and Control Using the Gin Principle"[18].

#### 4.5.3.1. Perforaciones

Dependiendo de las condiciones geológicas de la roca se dispondrán perforaciones primarias, secundarias ubicadas entre las primarias y en caso de ser necesarias, terciarias entre las 2 primeras. Estas se distribuyen longitudinalmente a través del plinto con espaciamiento detallado en la tabla 4.7.

Tabla 4.7: Espaciamiento entre inyecciones.

Perforación	Espaciamiento [m]
Primaria	12
Secundaria	6
Terciaria	3

Las perforaciones primarias se hacen cortando la roca con coronas de diamante, para obtener un testigo continuo de las condiciones del macizo rocoso. El resto de las perforaciones se ejecutan mediante rotación. En todas las perforaciones se debe utilizar como fluido de refrigeración agua limpia y estas se deben hacer en los tramos de 0 a 0.5 m, 0.5 a 2.5 m, 2.5 a 5 m en los primeros 5 metros y luego avanzando cada 5 m de profundidad.

En el caso de las primarias, estas deben ser sometidas a ensayos de permeabilidad cada 5 m de excavación, para determinar las posibles filtraciones en la roca y su capacidad de impermeabilizar. El ensayo se hace con un obturador, el cual inyecta agua a presión (10 kgf/cm<sup>2</sup>) en la perforación durante 10 minutos, con esto se puede medir la pérdida de agua para caracterizar la permeabilidad de la roca en Lugeón.

Una vez terminada la perforación en toda su profundidad, se procede al lavado de los tramos a inyectar con lechada. Utilizando agua limpia a presión (2 kgf/cm<sup>2</sup>) durante una hora. Este procedimiento se debe realizar solo en zonas que estén sobre la cota de la napa, en caso contrario no es necesario el lavado con agua.

#### 4.5.3.2. Inyecciones de lechada

De acuerdo al método GIN, la lechada inyectada en las perforaciones debe tener las siguientes características:

Tabla 4.8: Características lechada de inyección.

Razón agua cemento (a:c)	0,67:1
Peso específico	1,55 a 1,70 ton/m <sup>3</sup>
Escurrecimiento cono de Marsh de 4,75 mm	30 a 33 seg
Resistencia a la compresión luego de 28 días	150 kgf/cm <sup>2</sup>

Sumado a las características señaladas en la tabla 4.8, se contempla el uso de cemento muy fino (Blaine alto) y super plastificantes que aumentan la capacidad de la lechada para penetrar en la roca. Es necesario verificar en terreno una baja cohesión y viscosidad del material y evitar el uso de bentonita en las inyecciones.

1. Las inyecciones se realizan de forma secuencial, partiendo con las perforaciones primarias, seguidas de las secundarias y finalmente las terciarias.
2. Los trabajos se desarrollan por tramos, los mismos que se utilizaron para excavar. La presión máxima permitida para inyectar lechada varía dependiendo de la profundidad del tramo como se muestra en la tabla :

Tabla 4.9: Presiones máximas de inyección según profundidad.

Tramo de Perforación [m]	Presión Max, [kgf/cm <sup>2</sup> ]
Entre 0 a 2,5 de profundidad	5
Entre 2,5 a 10 de profundidad	7
Entre 10 a 20 de profundidad	10
Profundidad >20	30

3. Se procede a inyectar lechada en los tramos descritos en la tabla 4.9 con una tasa de bombeo baja y constante, no mayor a 15 l/min. El procedimiento debe ser monitoreado en tiempo real, controlando el tiempo de trabajo en la perforación, volumen de lechada inyectada y presión, mediante sensores y herramientas computacionales.
4. Los trabajos de inyección se dan por finalizados cuando se cumple una de las siguientes condiciones:
  - a) Se alcanza la presión máxima indicada en la tabla 4.9.
  - b) El caudal de lechada inyectada es menor a 1 l/min por metro lineal.
  - c) Se supere un volumen de 300 l de lechada por metro lineal de perforación.

#### 4.5.4. Yacimientos

En la construcción de presas CFRD uno de los factores decisivos, es la disponibilidad de yacimientos que se pueden obtener en las cercanías del proyecto, para utilizarlos como rellenos del terraplén que formará el cuerpo de la presa. Características como la distancia desde el eje de la presa a la zona de explotación de yacimientos, accesibilidad de estas zonas, calidad del material encontrado y volúmenes disponibles, condicionan la planificación del proyecto, sus costos y eficiencia en el traslado de materiales. Además, la explotación, transporte y compactación de los materiales en la presa forman parte de la ruta crítica de la obra, ya que estas actividades toman gran parte del tiempo que se requiere para ejecutar el embalse. Por lo tanto la eficacia de los trabajos depende directamente de la ubicación y calidad de los sectores de explotación.

Con la información recopilada de los estudios de factibilidad realizados por la consultora MN Ingenieros, Ayala y Cabrera, mediante calicatas, detalladas en la sección 3.2.1 se puede llegar a 3 conclusiones relevantes respecto a los yacimientos:

- De las bandas granulométricas de las calicatas, se estima un sobre tamaño del 15 % del volumen disponible en yacimientos, por lo tanto se puede utilizar gran parte del material excavado. Siempre y cuando se pueda utilizar un tamaño máximo de 40" para el material 3C.
- Hasta el momento se dispone de dos sectores de yacimientos ubicados en la zona de inundación, estos se traducen en una superficie de 37.2 ha, con un espesor promedio de material utilizable de 2 a 3 metros.
- Se estima un volumen de material para relleno de 900.000 m<sup>3</sup>, lo cual claramente es insuficiente para construir un embalse de volúmenes mayores a 15 Hm<sup>3</sup> en el sitio La Tranca. Por lo tanto para que el proyecto sea factible se deben realizar más prospecciones y definir nuevos sectores de yacimientos.

##### 4.5.4.1. Propuestas de nuevos sectores de explotación

Una de las principales deficiencias del proyecto es que a la fecha no se han encontrado suficientes materiales para la construcción de la presa. Teniendo en cuenta que el presente trabajo de título propone un embalse de 25 Hm<sup>3</sup> el cual requiere de 1.441.533 m<sup>3</sup> de material. Resulta indispensable dar solución a esta problemática buscando nuevos sectores con potencial de ser explotados para su utilización en el proyecto.

Bajo este contexto, se proponen una serie de condiciones y criterios que permiten ubicar nuevos lugares de explotación, que eventualmente puedan ser estudiados en etapas futuras del Proyecto Embalse la Tranca, analizando sus cualidades geotécnicas.

#### CRITERIOS DE SELECCIÓN:

- El sector propuesto debe estar ubicado en el lecho del río, ya que este naturalmente desplaza material fluvial el cual es depositado en el lecho. Es ideal para ser utilizado como relleno de la presa.

- No debe presentar grandes variaciones de sus cotas en sentido transversal al eje del río. Esto debido a que las prospecciones realizadas en factibilidad demuestran una considerable disminución del espesor disponible para la explotación en laderas muy pronunciadas.
- Que presenten un aporte mínimo de 200.000 m<sup>3</sup> de material, si se contemplan zonas que aportan poco volumen, aumentan los frentes de trabajo y esto es ineficiente.
- Idealmente el sitio debe contar con caminos de acceso o rutas en sus cercanías, esto para evitar la ejecución de obras adicionales.
- La distancia media al eje de la presa debe ser menor a 6 km. Este criterio es el más importante ya que para la presa se requiere el transporte de sobre de un millón de metros cúbicos y cada km extra genera mayores gastos en combustible, mantención de equipos, acondicionamiento de caminos y tiempos de transporte.

Siguiendo estos criterios, se han definido 2 zonas nuevas de explotación de yacimientos. Aguas arriba se encuentra “Sector el Durazno” y aguas abajo “Sector Las Barrancas”. Si bien estos sectores son propuestos para ser analizados en el futuro, se puede estimar de forma conservadora los volúmenes que podrían aportar al proyecto a nivel de factibilidad. Para esto se toman en cuenta las calicatas e información que se tiene de los Sectores 1 y 2 propuestos por MN Ingenieros (ver figura 3.4), respecto al espesor utilizable se considera 2.5 m. En los sectores definidos por la consultora se estima un sobre tamaño del 15 %, no obstante teniendo en cuenta la falta de información se cubica el volumen disponible con un 25 % de sobre tamaño en las zonas propuestas por el presente trabajo de título.



Figura 4.16: Sector El Durazno, Aguas arriba de la presa;  
Elaboración propia.



Figura 4.17: Sector Las Barrancas, Aguas abajo de la presa;  
Elaboración propia.

Tabla 4.10: Cubicaciones yacimientos propuestos.

Yacimiento	Distancia a Presa [m]	Superficie [ha]	Espesor medio [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Volumen útil [m <sup>3</sup> ]	Sobre tamaño [m <sup>3</sup> ]
Sector 1	300	25	2,2	550.000	467.500	82.500
Sector 2	2.550	12,2	2,9	350.000	297.500	52.500
El Durazno	4.067	27,5	2,5	687.500	515.625	171.875
Las Barrancas	3.323	26,4	2,5	660.000	495.000	165.000
<b>TOTAL [m<sup>3</sup>] :</b>				<b>2.2475.00</b>	<b>1.775.625</b>	<b>471.875</b>

Es importante mencionar que estas cubicaciones representan volúmenes geométricos de excavación, previo a la explotación. Es decir, que aún no se considera el fenómeno de esponjamiento del suelo producto de la extracción y posterior selección del material. Teniendo en cuenta que el volumen de relleno compactado requerido es de 1.4 millones de m<sup>3</sup> y que este es estimado con un factor de seguridad del 1.5, la suma de yacimientos disponibles y propuestos, representan un volumen suficiente para ejecutar el embalse de 25 Hm<sup>3</sup>. Además, permite disponer de acopio extra en caso de cualquier contingencia o variación de los taludes en el proyecto.

De los sitios propuestos se destaca la ventaja de contar con 2 vías de acceso y conexión directa con el sector 2 de explotación en el caso del Sector El Durazno. Mientras que el Sector Las Barrancas se encuentra en un ensanche del lecho del río por lo tanto, naturalmente es un buen depósito de material fluvial, además de estar en las cercanías de la Ruta D779 que conecta con la presa. Las desventajas que presentan los sitios propuestos son: una gran cantidad de capa vegetal que debe ser eliminada y se deben estudiar eventuales expropiaciones.

#### 4.5.4.2. Excavaciones

Previo a la explotación de yacimientos, es necesario eliminar el material inútil e incompetente que puede contaminar los empréstitos. Se remueven los suelos de baja resistencia, cohesivos, capas vegetales y materia orgánica, siguiendo los procedimientos del capítulo 4.1 de “Roce, escarpe y descepe” eliminando los primeros 20 cm de la superficie. La limpieza se aplica en toda la superficie de yacimientos y 5 m fuera del perímetro de excavación con el objetivo de no contaminar con material inadecuado los yacimientos durante las excavaciones.

El proceso de excavación debe realizarse de forma ordenada y segura, de tal forma que el transporte dentro de las zonas de yacimientos se haga con facilidad y las maquinarias puedan operar sin la necesidad de maniobras complejas.

1. Previo al inicio de las excavaciones, se debe llevar a cabo el plan de mitigación ambiental respecto a la fauna acuática y terrestre de las zonas de explotación, siguiendo las indicaciones del capítulo 3.7 de Eje ambiental.
2. Las zonas de explotación de yacimientos se encuentran fuera de la zona de desvío del río, por lo tanto se debe trabajar controlando el cause y disponer de un plan de contingencia frente a crecidas o presencia de napas subterráneas que pongan en peligro la excavación:
  - a) Se dispone de zanjas de drenaje que desvíen el flujo de filtraciones hacia el cause natural del río. En caso de presentar napas a nivel somero, se utilizan bombas para agotarlas y excavar en seco. Se debe reducir la erosión por escurrimiento de agua.
  - b) A diario y semanalmente se debe monitorear las condiciones climatológicas de la zona, considerando las precipitaciones que pueden inducir crecidas del río. También es recomendable tener información constante de los caudales en zonas aguas arriba para tomar medidas con anticipación.
  - c) Cuando se presente un evento de crecida del río se deberán retirar los equipos a zonas altas para evitar pérdidas mayores, teniendo en cuenta la envergadura del evento.
  - d) Es recomendable disponer de plataformas de mayor altura en la zona de excavación para equipos pesados, de esta manera no deberán ser retirados de su zona de trabajo y pueden volver a estar operativos en el corto plazo, cuando se presenten las condiciones para trabajar de forma segura.
  - e) Se deben realizar pruebas de arranque para los taludes, ser sometidos a revisiones semanales, mantenimiento y refuerzo cuando sea necesario. Esto garantiza un trabajo seguro y sin paralizaciones inesperadas.
3. Antes de comenzar con la explotación se deben realizar labores de acondicionamiento de caminos para vías de acceso al sector de yacimientos de tal manera que puedan circular camiones de gran envergadura (8 m de ancho) y soporten las cargas importantes que van a transportar (25 m<sup>3</sup> de material). También se debe gestionar un plan para la mantención de estas vías.

4. El ataque de los pozos con yacimientos se realiza desde la zona más cercana a la presa hacia el resto de la zona de explotación. Es prioridad la explotación del Sector 1 en la zona ubicada pocos metros aguas arriba de la presa, para ir generando los acopios de material seleccionado en el mismo sector. En los acopios se dispone de plantas seleccionadoras móviles para generar los rellenos requeridos en las distintas zonas de la escollera.
- Las excavaciones se inician desde la cota más baja partiendo en la zona ubicada a menor distancia del eje de la presa. Estas se hacen en fajas rectangulares (si el terreno lo permite) de 50 m en sentido longitudinal al río y 20 m de ancho en sentido transversal al escurrimiento de las aguas. Excavando en toda la capa de material utilizable, este es variable pero se espera que no sea mayor a 4.5 m de profundidad dependiendo del sector de yacimientos en la que se esté trabajando. Se debe tener cuidado con los taludes de excavaciones. Los trabajos se hacen con excavadoras de 450 HP.
  - Se repite este procedimiento retirando las fajas paralelas a la primera, esto hasta lograr un retiro de los empréstitos en todo el ancho del yacimiento, generando una excavación de 50 m de largo en toda la zona, para luego continuar con la explotación aguas arriba o abajo según corresponda.
  - Los materiales son cargados directamente por las excavadoras a camiones articulados con capacidad de 25 m<sup>3</sup>.
  - Se debe mantener limpios y bien perfilados los taludes de excavación, sobre todo en las zonas de explotación ubicadas fuera de la zona de inundación (1.183 m.s.n.m), ya que estas estarán expuestas a la vista una vez terminada la construcción. De tal modo que presenten una apariencia limpia, ordenada y que se logre un drenaje que evite estancamientos de agua.

#### 4.5.5. Colocación de rellenos

Las preseas CFRD son terraplenes formados por gravas y enrocados de varios tamaños, compactados en capas. Estos materiales le proporcionan estabilidad a la presa frente a las presiones hidrostáticas provocadas por el agua embalsada, peso propio y cargas sísmicas. Además de contar con una cama de transición ubicada en el talud aguas arriba la cual actúa como filtro colector y apoyo para la membrana de hormigón.

Las mejores condiciones de estabilidad de la estructura están directamente relacionadas con la presencia de agua en el cuerpo de la presa, ya que se logra un modulo de corte y resistencia a la compresión adecuados cuando el espaldón esta relativamente seco. Es decir, cuando no se encuentre saturado de agua. Aquí la importancia del estudio de propiedades mecánicas de los materiales a utilizar y la disposición de estos según sus características hidráulicas de permeabilidad, filtrando los materiales finos, para evitar el sifonamiento de la estructura y permitir un drenaje adecuado dentro del cuerpo de la presa.

La colocación de los rellenos es una de las operaciones más importantes en la construcción de una presa ya que es indispensable disminuir los asentamientos que puedan perjudicar a la membrana impermeable, la cual debido a la rigidez del hormigón, tiende a fisurarse frente a las deformaciones provocadas por los asentamientos. Las principales deformaciones dentro de la escollera se dan durante la construcción, eventos que no tienen gran influencia en la pantalla ya que esta se ejecuta una vez esta terminado el terraplén. La segunda etapa considerable de asentamientos, es cuando el embalse empieza a llenarse y el agua genera grandes presiones sobre la escollera.

A lo largo del desarrollo de estos proyectos se ha ido optimizando la colocación del material de escollera para prevenir los efectos adversos que producen los asientos sobre los dispositivos de impermeabilización de la presa. Actualmente la técnica más eficiente es colocar el material en capas delgadas y compactarlas sucesivamente con el fin de obtener una capa lo más densa posible, presentando pocos huecos entre los materiales, con el objetivo de evitar el reacomodo de partículas cuando el embalse esté en operaciones. También se han dispuesto los materiales según su granulometría con el objetivo de trabajar como filtros que evitan el lavado de partículas pequeñas en la zona de enrocados que generen pérdida de resistencia al terraplén en caso de filtraciones de agua.

Bajo este contexto lo ideal es construir un cuerpo de presa generando una masa rígida que cumpla con las siguientes características para lograr una obra de calidad:

1. Asegurar un apoyo continuo de la pared de hormigón, sobre un relleno sin singularidades, lo más liso posible y de baja compresibilidad (zonas 2A y 2B).
2. En el caso de presentar roturas de la pantalla, disponer de elementos que dificulten el ingreso de agua y partículas al cuerpo de presa, además de un sistema de drenaje que facilite la evacuación de agua infiltradas.
3. Capas compactadas de forma adecuada, en todos los rellenos para minimizar los asentamientos en la presa.

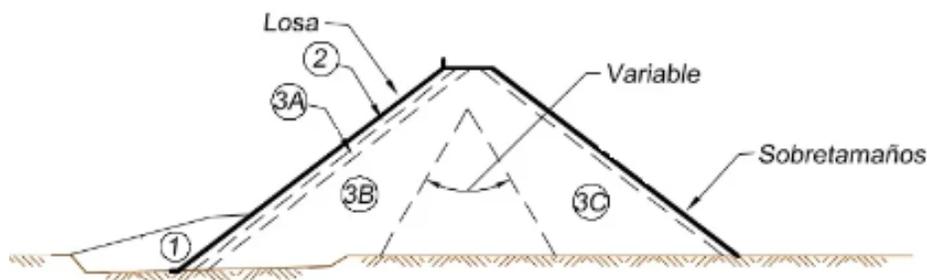


Figura 4.18: Zonas de Rellenos presa CFRD; Fuente: Conferencia 50 aniversario S.V.G

#### 4.5.5.1. Material Zona 1

##### Relleno 1A

Este material se encarga de cubrir el sector del plinto, fuera del cuerpo de la presa, es decir en el sector de aguas arriba. Corresponde a suelos finos compuesto por arenas limosas no cohesivas y de baja plasticidad, tiene como objetivo cubrir las posibles vías de filtración que se generen por la junta plinto-muro. Desde el punto de vista práctico, este material busca rellenar eventuales fisuras que se generen en la junta perimetral, ya que al ser arrastrados por el agua hacia el interior de la presa, estos generan el efecto de calafateo de las fisuras, obstruyendo el flujo del agua.

Debe pasar íntegramente la malla N°8 U.S. contener a lo menos un 40% de finos bajo la malla N°200. Con índice de plasticidad menor a 7% y presentar un límite líquido superior al 25%. Este material se genera a partir de las plantas seleccionadoras, provenientes de los sectores de explotación de yacimientos, al momento de acopiarlos se deben disponer zonas exclusivas para este, limpias y libres de otros materiales que puedan contaminarlo.

##### Relleno 1B

Es el mismo que se utiliza en la zona 3A que corresponde a gravas arenosas, bien graduadas con un diámetro máximo de 9", la granulometría de este material se especifica en la tabla 4.12. La función del relleno es proteger el material más fino 1A de las lluvias y vientos.

##### Colocación:

1. Los materiales son cargados desde la zona de acopios con excavadoras a camiones tolva, estos lo transportan y vierten directamente en la zona donde se ubicará el material. En el caso de las laderas se debe dejar caer el material desde las zonas altas de forma segura y controlada.
2. Los materiales 1A y 1B son esparcidos mediante motoniveladoras en un sentido paralelo al plinto, estos deben ejecutarse en capas de 0,3 m y 0,6 m respectivamente. Los espesores corresponden al relleno compactado por lo que durante el esparcido se debe considerar un esponjamiento del suelo de un 30% previo a su compactación.

3. Esta zona no requiere de mayor compactación que la lograda con 4 pasadas del equipo de esparcido sobre la superficie. En la zona 1B se deberegar la superficie, promoviendo el desplazamiento de las partículas pequeñas hacia los huecos generados por las gravas de mayor tamaño (9").
4. Control de calidad: Se debe controlar la granulometría y límites de Atterberg cada 200 m3 de material 1A colocado. También se realizan al menos 2 mediciones de densidades in situ para compararlas con los resultados del Proctor Modificado, esto por cada capa compactada.

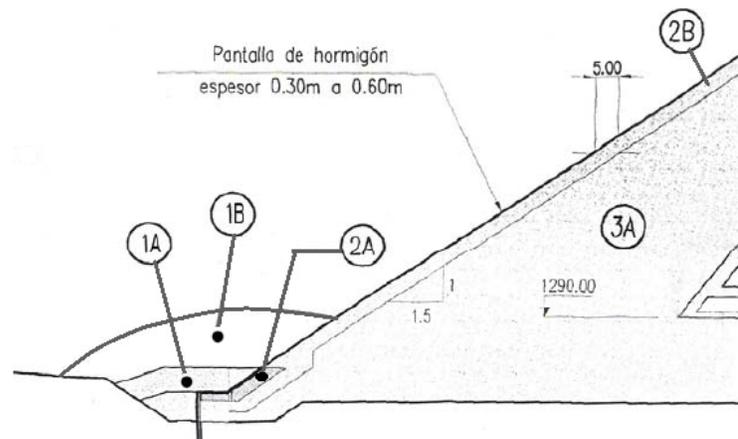


Figura 4.19: Detalle rellenos al pie de presa (Presa Potrerillos);  
Fuente: Ing. presas de escollera.

#### 4.5.5.2. Material Zona 2

##### Relleno 2A

Este relleno se ubica en la parte interna (aguas abajo) de la junta perimetral plinto-muro. Compuesto por gravas arenosas, de tamaño máximo 1 1/2" y su contenido de finos no supera el 5% bajo la malla N°200 ASTM. Este debe cumplir la propiedad de filtro con respecto a los materiales del relleno 1A, con objetivo que si hay filtraciones de material en la zona exterior de la junta, este quede atrapado en la zona 2A y no se genere sifonamiento en la presa. Para esto, su banda granulométrica debe ser aproximadamente paralela a la del material 1A, cumpliendo las siguientes características:

$$\frac{D_{15}(2A)}{D_{85}(1A)} \leq 4 \quad (4.2)$$

$$\frac{D_{15}(2A)}{D_{15}(1A)} \geq 4 \quad (4.3)$$

$$D_{15}(2A) \leq 7mm \quad (4.4)$$

El material es obtenido desde las plantas seleccionadoras en el sector de acopios, cercanos a las canchas de relleno, previo al inicio de actividades de colocación se debe contar con un mínimo acopiado del 30% del volumen total requerido.

## Relleno 2B

Corresponde a un relleno de transición y tiene la labor de dar apoyo de la pared de hormigón, el cual debe ser lo más parejo posible y de baja compresibilidad una vez compactado. Material con un tamaño máximo de 3", dentro del punto de vista operativo, es recomendable que este cuente con un alto contenido de finos bajo la malla N°4 ASTM. Un mayor contenido de finos genera taludes más estables tras la compactación, menor segregación de los materiales por su manipulación en obra y en consecuencia se obtienen superficies de apoyo uniformes para la pared de hormigón. También genera menos sobre espesores al momento de hormigonar la pantalla, además de presentar mejores condiciones para retardar filtraciones ante eventuales fisuras de la pantalla. La granulometría ideal para este relleno se presenta en la tabla 4.11.

Tabla 4.11: Granulometría relleno 2B.

TAMIZ Pulg; N°ASTM	% QUE PASA
3"	100
2,5 "	98-75
2"	96-63
1 1/2"	94-54
1"	79-42
3/4"	71-36
1/2"	63-29
3/8"	57-24
N° 4	47-19
N°10	31-17
N°40	15-3
N°200	8-0

Por lo general a esta zona se le da un ancho de 4 a 8 m en sentido horizontal hacia el coronamiento, esta dimensión varía dependiendo de la carga hidrostática.

El relleno es seleccionado con plantas seleccionadoras mediante tamices vibratorios y procesos de trituración en caso de ser necesario. Su acopio se hace fuera de las canchas de relleno y se debe disponer de un 20 % del volumen total acopiado previo al inicio de trabajos de compactación.

## Colocación:

1. **Tendido:** El material de la zona 2 se transporta mediante camiones a la zona de la presa, este se debe dejar en la zona de colocación de rellenos. Se vierte evitando que se genere un único gran montículo producto de la totalidad del cargamento, ya que esto promueve la segregación del material, fenómeno que debe evitarse a toda costa. El vertido del material se tiene que hacer de estribo a estribo cubriendo toda la superficie, paralela al eje de la presa, se considera material suficiente para lograr capas compactadas de 0.3 m, teniendo en cuenta un esponjamiento del 30 %.

Inmediatamente después del vertido sobre las canchas de relleno, se procede al esparcido mediante motoniveladoras, que tienen la capacidad de esparcir y nivelar el terreno gracias a su cuchara de acero la cual tiene una gran maniobrabilidad ya que esta puede moverse en traslación en su mismo plano, ascenso y descenso respecto a su eje horizontal y vertical. El esparcido se hace en capas de ancho igual a la cuchara de la máquina disponible, tratando de evitar al máximo la segregación. Esta cuenta con un rendimiento de 1.8 a 8 km/hr.

Alternativamente se puede utilizar una finisher de asfaltos para la distribución del material, tal como se hizo en la presa La Yesca en México, la cual proporciona un acabado más preciso que las motoniveladoras y permite una mejor manipulación del material que reduce la segregación al máximo. Esta unidad posee una tolva para recibir el material directo de los camiones además de brazos extensores que distribuyen los empréstitos y un dispositivo que regula el espesor de la capa. El punto negativo es su costo y que obtiene menores rendimientos de 1 km/hr a 3 km/hr en el caso de las presas.



Figura 4.20: Transporte materiales 2B; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.

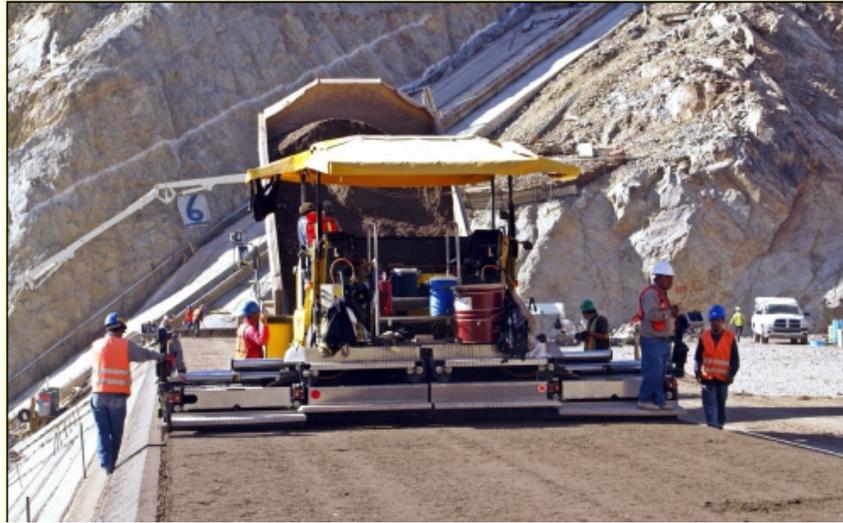


Figura 4.21: Esparcido finisher; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.

2. **Compactación:** Los rellenos de la zona 2, se compactan en capas de 0.3 m, este trabajo se realiza hasta obtener una densidad superior al 80 % de la densidad relativa obtenida mediante el ensayo ATSM D2049 o una densidad mayor al 95 % de la densidad seca máxima según el ensayo Proctor Modificado ASTM 1157.

Los trabajos se realizan con al menos 4 pasadas de rodillo vibratorio liso de 10 T de peso estático en el tambor, con 5t/m de tambor y se desarrolla en sentido paralelo al eje de la presa, completando pasadas de estribo a estribo. Pevio a la compactación la capa debe ser regada en toda su superficie, para esto se disponen bombas abastecidas por camiones aljibes o redes de tuberías que lleven el agua a la zona de trabajo, además de mangueras móviles que permitan acceder a todo el largo de la capa para humectar de forma uniforme.



Figura 4.22: Compactación 2B. Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.

3. **Perfilado:** La construcción de esta zona del terraplén históricamente ha presentado un desafío dentro del proyecto, ya que se debe cuidar los fenómenos de segregación y lograr

una compactación uniforme en una zona cercana al talud aguas arriba mediante maquinaria pesada, la cual puede estar expuesta al riesgo de caída en caso de inestabilidades en el talud. Una solución constructiva para este problema, es que en la zona 2 se ejecute con un sobre ancho en sentido aguas arriba de 0.5 a 0.8 m para compactarlo de forma segura. Posteriormente el relleno se excava y perfila a nivel del proyecto, como se observa en la figura 4.23. La superficie recién expuesta se compacta mediante placas vibradoras.

En el borde del talud aguas abajo se utilizan placas vibradoras para compactar, deben ser capaces de lograr densidades mayores o iguales a las obtenidas con los rodillos vibratorios. Esta placa debe tener dimensiones de 0.8x1.0 m, con fuerza dinámica de a lo menos 5.000 Kgf, montada en el brazo de una retro hidráulica (ver figura 4.24).

4. **Bordillo extruido:** Una vez terminadas las actividades de compactación y perfilado de la capa, se procede a revestirla mediante un bordillo extruido que corresponde a un cordón de hormigón moldeado, el cual se coloca en la cara aguas arriba de cada una de las capas, generando un apoyo parejo para la pantalla de hormigón que se construye una vez finalizados los rellenos. Este bordillo se va construyendo capa por capa y sirve de apoyo para la compactación de la capa superior.

Para efectos de este trabajo se dispone de una guía móvil de forma trapezoidal, con 0.3 m de altura y un talud 1.5:1 (H:V) igual al de la zona interna de la pared de hormigón (ver figura 4.25). El concreto tiene una dosificación mínima de 75 kg/m<sup>3</sup> de cemento, con áridos de tamaño máximo de 3/4" y un 50 % de arenas. Las ventajas de utilizar este bordillo extruido son las siguientes:

- a) Menor segregación y pérdida de material en la cara aguas abajo.
- b) Protección contra la erosión.
- c) Minimiza las irregularidades, dando una superficie lisa con mejores condiciones de apoyo al hormigón. Genera una superficie limpia para colocar la armadura de la pantalla y reducir considerablemente las pérdidas de hormigón al construir la pantalla.



Figura 4.23: Perfilado talud; Fuente: Ing. de presas de Escollera.



Figura 4.24: Compactación 2B con placa vibradora; Fuente: Ing. de presas de Escollera.

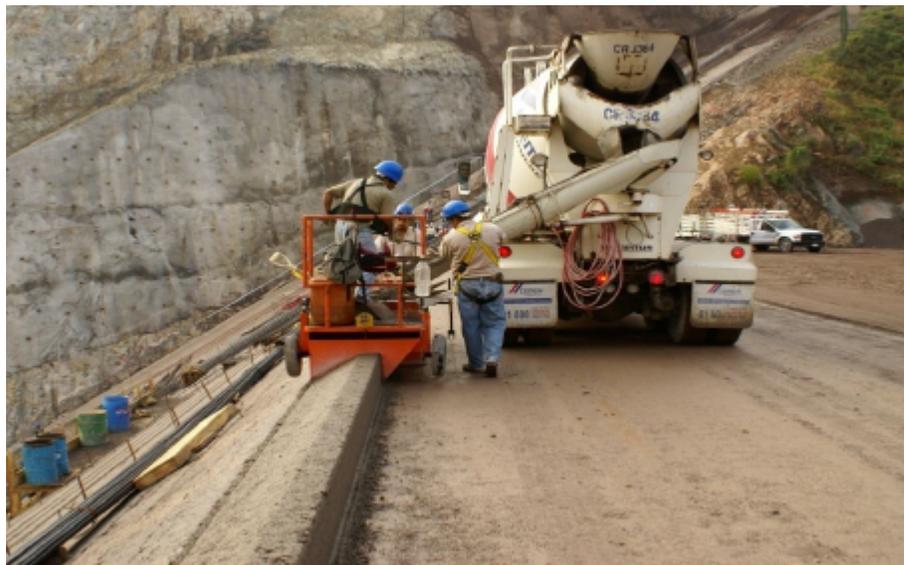


Figura 4.25: Colocación bordillo extruido; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.

5. **Control calidad:** En los rellenos 2A y 2B se efectúan granulometrías cada 200 m<sup>3</sup> y 500 m<sup>3</sup> de material compactado respectivamente. Respecto a la compactación, se realiza como mínimo un ensayo de densidad relativa por cada capa completada.

#### 4.5.5.3. Material Zona 3

##### Relleno 3A

Compuesto por gravas arenosas de transición que permite pasar desde las gravas arenosas de menor tamaño ubicadas aguas arriba a las gravas y rocas que componen la escollera aguas

abajo, que le dan soporte estructural a la presa. Las zonas 2B y 3A suelen mantenerse a la misma cota durante la construcción, es decir, estas capas se colocan sin mayor desfase de cotas y tienen un ancho similar en sentido perpendicular al eje de la presa, de 4 a 8 m. En el cuerpo de la presa hay que evitar la migración de partículas desde la franja de apoyo de la pantalla (2B) al resto de la escollera, para lo cual los materiales 3A deben cumplir condiciones de filtro respecto al 2B.

Tabla 4.12: Granulometría relleno 3A.

TAMIZ Pulg; N°ASTM	% QUE PASA
9"	100
6"	64-90
3"	46-78
3/2"	30-58
3/4"	20-44
N°4	13-32
N°8	6-24
N°16	3-16
N°50	0-9
N°200	0-5

El relleno es procesado por plantas seleccionadoras para obtener la granulometría especificada, el material se obtiene desde los yacimientos en el lecho del Río Cogotí y antes de su colocación se debe disponer de un 20% del volumen total en la zona de acopios.

#### Colocación:

1. Se transporta a las canchas de relleno con camiones tolva y se descarga directamente en la superficie, con cuidado de no generar grandes montículos de material que dificulten los trabajos de esparcido. La capa debe ser colocada de estribo a estribo. Para el tendido del material se utilizan bulldozers o topadoras neumáticas, con el objetivo de nivelar la superficie y dar los últimos detalles de espesor se pueden utilizar motoniveladoras. La capa debe quedar lista para que al momento de ser compactada se logre un espesor de 0.3 m, considerando un 30% de esponjamiento del suelo.
2. Previo a la compactación se humecta la superficie de forma uniforme, con al menos un 15% de agua respecto al material colocado, se debe tener especial cuidado con no saturarlo o generar lodos debido al lavado de finos. Los lodos generan barreras impermeables que pueden dificultar la humectación homogénea de la capa a compactar, estos deben ser retirados esporádicamente durante el regado. Se compacta la superficie con rodillos vibratorios de las mismas características que en el material 2B. Por lo general este relleno se mantiene en las mismas cotas que la zona 2B, ya que las capas tienen el mismo espesor. Es necesario que su compresibilidad sea mínima para la calidad del apoyo de la pantalla.

## Relleno 3B y 3C

Estas zonas proporcionan el mayor volumen de la presa. Es importante que los materiales tengan buenas características de permeabilidad para evitar que la escollera trabaje con presiones de poro debido al acumulamiento de agua o en el peor de los casos que los rellenos trabajen saturados. Esta condición disminuye la resistencia al corte del material y promueve la pérdida de finos en espacios intergranulares del espaldón.

En estos rellenos, la segregación puede ser beneficiosa, promoviendo que los bolones y material más grueso (sobre 10") quede en el fondo de la capa, mientras que los finos se ubican en la parte superior, intentando que estos cubran los espacios vacíos entre las rocas. Con esto se logra mayor permeabilidad para evacuar agua infiltrada en el espaldón aguas abajo. Además de generar superficies que optimizan los rendimientos de los equipos de compactación con un menor deterioro.

Tabla 4.13: Granulometría 3B y 3C parte 1.

TAMIZ Pulg; N°ASTM	% QUE PASA Min 3B-3B	% QUE PASA Max 3B	% QUE PASA MAX 3C
30"			100
24"		100	85
13"		70	50
12"		65	48
11"		60	45
10"		55	43
9"		50	40
8"		45	38
7"		40	35
6"	100	37	30
5"	98	33	28
4"	91	27	25
3"	83	24	20
2 1/2"	82	21	18
2"	79	17	15
1 1/2"	73	15	13
1"	64	13	11

Tabla 4.14: Granulometría 3B y 3C parte 2.

TAMIZ Pulg; N°ASTM	% QUE PASA Min 3B-3C	% QUE PASA Max 3B	% QUE PASA MAX 3C
3/4"	56	12	10
1/2"	47	10	9
3/8"	44	8	7
N°4	35	7	6
N°10	23	5	4
N°40	10	2	0
N°200	6	0	

Las granulometrias presentadas, son las implementadas por lo general en presas CFRD a nivel mundial. Sin embargo, en La Tranca, para el material 3C se propone un diámetro límite de 40" con el objetivo de aprovechar al máximo los yacimientos. Lo anterior, considerando que a nivel nacional ya se ha implementado con éxito esta granulometría en las presas de los embalses Santa Juana, Puclaro y recientemente El Bato. Los materiales son obtenidos desde los sectores de yacimientos en el lecho del Río Cogotí, para la zona 3C se pueden utilizar materiales provenientes de excavaciones en roca, en particular de excavaciones del túnel de desvío y aliviadero de la presa.

### Colocación

1. Estos materiales generan masivos movimientos de tierra, aproximadamente el 80% de volumen total de la presa, por lo tanto se debe utilizar camiones que permitan buenos rendimientos, reduciendo el número de viajes, en este caso lo ideal es utilizar camiones articulados con capacidad de 25m<sup>3</sup>. El transporte se realiza en 2 etapas, primero se llevan a las canchas de relleno los materiales con granulometría mayor o igual a 9" y son depositados con el objetivo de formar capas de estribo a estribo al igual que en los rellenos anteriores. Estas son rocas tendidas a lo largo de la capa mediante Bulldozers y topadoras neumáticas.

Con las rocas de mayor tamaño dispuestos en la capa, se procede a colocar sobre esta las gravas y finos de diámetro menor a 9", tendidos con las mismas maquinarias utilizadas para las rocas de la escollera. Este procedimiento evita que el material fino quede segregado en el fondo de la capa, formando una superficie uniforme para el trabajo de compactación.

2. Antes de la compactación se debe regar los materiales, para empujar las gravas pequeñas hacia los huecos que se generan entre las rocas de mayor tamaño. A partir de esta actividad se consigue una capa uniforme, reduciendo los espacios intergranulares que en caso de ser muy grandes podrían causar movimientos bruscos debido al reacomodo del material de escollera, lo cual sería perjudicial para la pantalla de hormigón. Durante este proceso hay que tener cuidado de no saturar el material y la formación de lodos

que producen capas impermeables durante el regado. La experiencia en estos proyectos dice que se utiliza un 20 % de volumen de agua respecto al volumen de roca colocado, no obstante esto se debe determinar mediante terraplenes de prueba.

La compactación de la escollera se realiza mediante rodillos vibratorios lisos de por lo menos 12 toneladas de peso estático nominal en el tambor, ( 6 t/m de tambor) con 5 pasadas como mínimo, en sentido paralelo al eje de la presa. Se debe alcanzar una densidad relativa mayor o igual al 80 %. En el caso del material 3B, las capas son de 0.6 m de espesor y la práctica general durante la construcción es tener un desfase entre las cotas de los materiales 2B y 3A respecto a la zona 3B de tal manera que cada 2 capas del material 2B y 3A se compacta una unión entre 2B-3A-3B, logrando una superficie única. En la zona 3C las capas se compactan con un espesor de 0.9 a 1.2 m.

3. El control de estos rellenos se efectúa mediante ensayos de densidad insitu, la cual se determinará con un anillo mecánico de 1.5 m de diámetro. La compactación se controla contabilizando el número de pasadas de unidad compactadora, midiendo el espesor de las capas y controlando los asentamientos mediante un nivel topográfico.

### **Relleno 3D**

Se ubica al final de la escollera en el talud aguas abajo de la presa, cubriendo el último metro horizontal del talud. Su función es dar un acabado estético, de apariencia estable a la presa, además de proteger las rocas y gravas del espaldón contra la erosión por lluvias y vientos. Son bolones de un espesor de 3 a 12” y un ancho variable, mayor a 1 m y menor a 2 m. Provenientes del rechazo de plantas seleccionadoras de materiales para áridos de hormigón y de la selección de materiales 2B y 3A.

El material se coloca en capas de 0.9 m, es acomodado directamente en terreno sobre la zona 3C, asegurando que se forme un talud 1,6:1 H:V en sentido aguas abajo. Para este trabajo se debe disponer del brazo hidráulico de la excavadora a la cual se le cambia el cucharón por una pinza con capacidad para levantar hasta 6 toneladas, que permite colocar cuidadosamente las rocas sobre la escollera. Este material no debe ser compactado por lo que no es necesario realizar ensayos de densidad, el control que se hace en esta zona corresponde a verificar el espesor de las capas y la estabilidad del material colocado. Se debe tener especial precaución en no dejar grandes espacios entre las rocas ya que estos pueden generar el reacomodo descontrolado del material y derrumbes en la zona aguas abajo.



Figura 4.26: Pinzas de escollera y manipulación; Fuente: Catalogo ALEXIMPORT.



Figura 4.27: Zona 3D presa Bakún, Malasia; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.

#### 4.5.5.4. Procedimiento general

Una vez preparada la fundación se procede a la colocación de rellenos para la presa, estos deben ser tendidos en capas de estribo a estribo y bajo ninguna circunstancia se pueden colocar con presencia de agua en la zona de trabajo. En caso de existir alguna napa, esta debe agotarse hasta 0.5 m por debajo del sello de excavación.

La compactación de cada material debe ejecutarse de forma sistemática, ordenada y continua. Las unidades compactadoras trabajan en el mismo sentido que el tendido del material (de estribo a estribo), evitando al máximo la segregación, especialmente en los materiales 1A, 2A y 2B que deben cumplir con condiciones de filtro. Al colocar una capa contigua a otra que se encuentra en una cota mayor, se debe generar un talud en forma de terraplén, para que la nueva capa se construya contra un relleno estable y bien compactado.

Con el objetivo de realizar los trabajos de forma ordenada y con buena accesibilidad para las maquinarias, se pueden construir taludes provisionarios en el cuerpo de la presa, adoptados según las secuencias de construcción y las condiciones que se presenten en terreno. Estos pueden presentar una pendiente máxima de 1.5:1 (H:V), así mismo se deben disponer rampas de acceso a la presa. Sus pendientes se definen según la capacidad de los equipos, no obstante, estas no pueden superar una inclinación del 15 %.

Respecto al equipo de compactación, se debe disponer de rodillos vibratorios lisos auto-propulsados, de carga lineal estática en el eje del rodillo de a lo menos 60 kg/cm<sup>2</sup> de 10 a 12 toneladas. Los rodillos deben tener una frecuencia de 1.500 a 1.800 ciclos por minuto para obtener una buena compactación de las capas. Para estos fines, es indispensable poseer medidores de frecuencia en las canchas de relleno para controlar el estado de las compactadoras y realizar ajustes en caso de ser necesarios. Las unidades compactadoras pasan por las capas con una velocidad inferior a 3 km/hr. En terreno se debe disponer de personal que lleve registro del número de pasadas del rodillo compactador por capa.



Figura 4.28: Trabajos de relleno en presa la Yesca, México. ; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.

Previo a los trabajos de relleno en la presa, se debe disponer de un volumen mínimo de materiales acopiados que permitan una holgura de tiempo entre los trabajos de explotación de yacimientos y la colocación de las capas en la escollera. Por lo general se requiere de un 20 a 30 % del volumen total acopiado antes de iniciar los trabajos de relleno. Para cubicar los materiales compactados en el cuerpo de presa, se considera un factor de seguridad de 1.5, debido a la posible sobre estimación de los materiales que pueden aportar las zonas de explotación y sobre excavación en fondo de presa, también se considera un esponjamiento del 30 %.

Tabla 4.15: Cubicaciones rellenos; Fuente: Estudios de factibilidad;  
Elaboración propia.

Material	Material compactado m3	Material esponjado m3	Acopio mínimo m3
2A	3.425	4.452	890
2B	56.607	73.589	14.718
3A	64.471	83.812	16.762
3B	507.577	659.850	131.970
3C	778.257	1.011.734	202.347
3D	31.196	40.555	8.111
<b>TOTAL m3</b>	<b>1.441.533</b>	<b>1.873.993</b>	<b>374.799</b>

## 4.6. Pantalla de hormigón

La pantalla de hormigón forma parte del sistema impermeabilizante de la presa CFRD, la cual busca mantener la estanqueidad del embalse, en conjunto con elementos ya estudiados como el plinto y la cortina de inyecciones. Constructivamente, se divide en fajas de 15 m de ancho, ejecutadas desde el plinto hasta el coronamiento, generando el espaldón de aguas arriba y transmitiendo directamente a la escollera el empuje hidrostático del agua embalsada. Para que esta transferencia de cargas no resulte perjudicial para la pantalla, es fundamental el correcto apoyo sobre el material 2B, además de las mínimas deformaciones del material de escollera.

Por lo general el espesor de la pantalla esta directamente relacionado con la presión hidrostática sobre esta. La reducción del espesor repercute en el ámbito económico del proyecto ya que no solo se reduce la cantidad de concreto a utilizar y el tiempo que se le dedica a este trabajo, sino que también reduce el acero de refuerzo ya que estos se definen a partir de cuantías, es decir a menor volumen de hormigón, se requieren menos kg de acero para lograr la cuantía. Considerando las observaciones respecto a los espesores de pantalla realizados por el ICOLD y bibliografía estudiada, resulta adecuado proponer que el espesor de pantalla para el Embalse la Tranca este definido por la siguiente ecuación:

$$E[m] = 0.3[m] + 0.002 \cdot H[m] \quad (4.5)$$

Donde:

E[m]: Espesor de la pantalla en metros.

H[m]: Profundidad del agua embalsada sobre la pantalla en metros.

En la fabricación de la pantalla es necesario un cuidadoso diseño de las mezclas que le den durabilidad a la estructura. Además de tener un curado efectivo que evite las grietas por retracción que pueden generar filtraciones en la pantalla. Otro origen de las filtraciones son las juntas, las cuales son fundamentales para los procedimientos constructivos y el correcto desempeño de la losa, estas permiten dar flexibilidad a las fajas, adoptándose a las deformaciones de la zona de apoyo (2b) y limitando las fisuras que afecten la estanqueidad de la presa. También hay que tener en cuenta que el muro esta sometido a esfuerzos por cambios de temperatura, deformaciones de la escollera y presiones del agua embalsada.

La estructura estará sometida a compresión y flexión, por lo tanto, las juntas deben ser diferenciadas de acuerdo a su desempeño y sollicitaciones. Dentro del proyecto, para la pantalla de hormigón se contemplan las siguientes:

- **Junta perimetral:** Es la más crítica respecto a las posibles filtraciones, su función es unir el plinto con la pantalla de hormigón en los estribos y lecho del río.
- **Juntas verticales de tracción:** Se encuentran entre fajas verticales, cercanas a las laderas, tienden a tener movimientos de apertura debido a la deformación del terraplén. En estas juntas no se dejan las armaduras pasadas, cada faja es independiente de la otra.
- **Juntas verticales de compresión:** Fajas verticales en el centro del muro, deben ser

diseñadas para un movimiento de cierre. No se dejan las armaduras pasadas, cada faja es independiente de la otra.

- **Juntas de construcción definidas:** Son horizontales y están definidas por proyecto ya sea por comodidad de las actividades o por rendimientos que no permiten concretar la faja completa. Por lo general se desarrollan en las laderas cuando la faja alcanza el ancho de 15 m. Es recomendable incluir juntas horizontales en el último tercio de la pantalla antes de llegar al coronamiento, ya que esto posibilita el alivio de tensiones y limita la generación de grietas [20].
- **Juntas imprevistas:** Son horizontales, y se producen cuando hay interrupciones no programadas del hormigonado. Se deben agotar todos los recursos para evitar este tipo de juntas. Esta estrictamente prohibido generar estas juntas en sentido vertical.
- **Juntas parapeto:** Entre la losa de concreto y el parapeto, su objetivo es individualizar los movimientos de cada una de las estructuras.

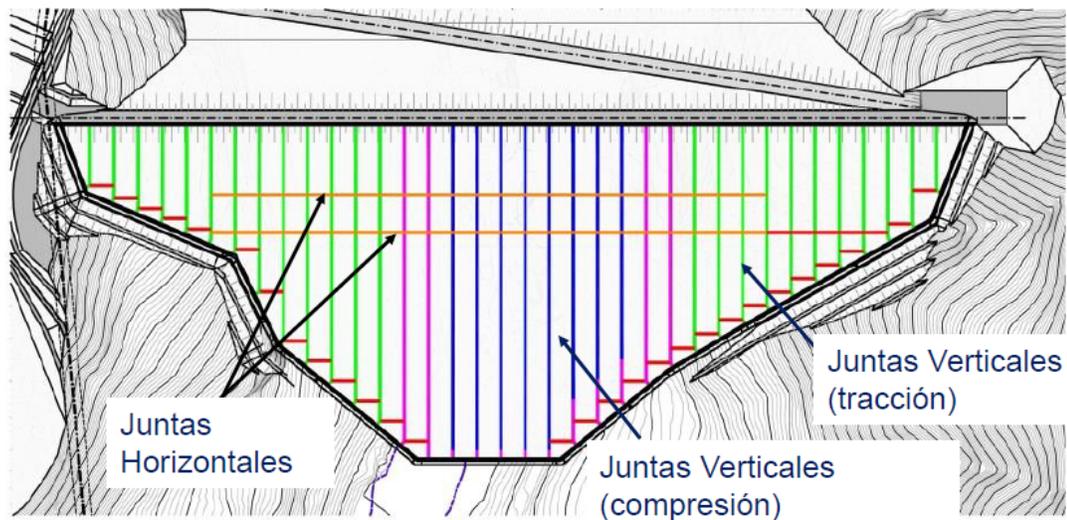


Figura 4.29: Referencial juntas y fajas en presa;  
Fuente: Diseño de presas CFRD.

La pantalla de hormigón se ejecuta una vez terminado la colocación y compactación de todos los rellenos pertenecientes al cuerpo de la presa. El procedimiento constructivo para el muro impermeable de la presa es el siguiente:

1. La armadura se dispone en una doble malla, una cerca del contacto con el terraplén y la otra en el lado externo de la pantalla, el acero a utilizar debe ser A63-42H. La cuantía requerida para esta estructura es de un 0.4 % en sentido vertical y 0.35 % en sentido horizontal y puede aumentar a un 0.5 % en los últimos 3 m cercanos a las juntas sometidas a tracción.
  - a) **Almacenamiento:** Se debe disponer de plataformas para almacenar el acero, evitando el contacto directo con el suelo, este debe ser clasificado según su calidad, diámetro y largo. La armadura se dobla de acuerdo a lo requerido por la estructura, en los talleres de doblado, solo una vez para evitar fatigas del material. No se puede modificar el doblado en terreno.

- b) **Estructuras de apoyo:** Para lograr un trabajo continuo y seguro, se dispondrá de estructuras deslizantes, las cuales se desplazan por toda la faja de la pantalla a ejecutar. La estructura requiere de rieles para su correcto deslizamiento, los que pueden ser utilizados después para la cimbra deslizante en el hormigonado. Estas estructuras sirven de apoyo para los enfierradores, además de permitir transportar el material desde los acopios a la zona donde se está colocando el acero.
- Por otra parte se dispondrán de barras verticales ancladas al bordillo del talud con resina epóxica, estas cumplen con la función de estabilizar la malla colocada y evitar que se desplace hacia abajo debido a la pendiente que se presenta en la superficie. Adicionalmente, se instalan pisaderas, escaleras, pasarelas, soportes y otras instalaciones provisionarias, para que los obreros no dañen la armadura al desplazarse sobre la pantalla.
- c) **Colocación:** Las enfierraduras se colocan en forma de malla y se fijan las intercepciones mediante amarras de alambre. Para el recubrimientos se deben disponer de bloques de concreto o soportes metálicos como separadores. No se puede usar pinchazos de soldadura en estas uniones.



Figura 4.30: Estructura apoyo para armadura; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.

2. Las juntas verticales de tracción, compresión y perimetrales cumplen la función de permitir las deformaciones en la pantalla y movimiento relativo entre fajas. No obstante, esta independencia entre las estructuras genera fuentes de filtraciones a través del muro de hormigón. Debido a esto en los proyectos de presa CFRD, se implementa un mecanismo de sellos que incluyen secciones de cobre, separadores entre fajas y elementos impermeabilizantes en la zona expuesta al agua. Constructivamente resulta más fácil instalar parte del mecanismo previo al hormigonado de la losa y concluir el sello impermeable en la zona que estará en contacto con el agua una vez terminadas las fajas donde se genera el sello, compuesto por los materiales descritos a continuación.

- Cama de mortero: En la parte interna de la junta, se incluye un sello de cobre el

cual va apoyado en mortero. La cama se construye dentro de una sección excavada del terraplén ya compactado. Se rellena la totalidad de la excavación con mortero, obteniendo una superficie plana y regular, siguiendo la geometría de los taludes del terraplén.

- Banda de PVC: Para evitar el contacto directo del sello de cobre con el mortero y un posible punzonamiento del cobre, se dispone de una banda de PVC de 6 mm de espesor, continua en todo el largo de la junta. Este material puede cambiarse por hypalon o polivinil.
- Juntas de cobre: El cobre que se utilizara en los sellos es N° 122-10 laminado en caliente, con forma de U y debe cumplir con las normativas ASTM B-152 y B-370, con un espesor uniforme de 0.8 mm.

Una vez endurecido el mortero y colocada la banda de PVC, se coloca el sello que debe ser continuo a lo largo de toda la junta. Para esto las piezas de cobre son soldadas mediante juntas transversales y longitudinales. Dentro de la sección de cobre se coloca un bulbo de neopreno que llena todo el interior del sello. Para garantizar la adherencia del cobre con el hormigón de la pantalla, se aplica pegamento como Igol de Sika S.A. o similar con arena en las caras del cobre que estará en contacto con el hormigón.

- Separadores: Se utilizan separadores entre las fajas verticales del muro, para absorber las presiones, permitir dilataciones y proteger el sello de cobre. Para esto se usa madera de roble en la separación de las losas, la que se fija en el hormigón mediante clavos tipo Hilti o similar. Su colocación es sobre una cara de la faja ya terminada y antes del hormigonado del segundo muro que compone la junta. La cara de la madera debe ser cubierta con material anti-adherente como pintura asfáltica.
- Masillas asfálticas: Se colocan una vez terminadas las 2 fajas de la pantalla, deben tener una buena adherencia al hormigón y conservar su elasticidad e impermeabilidad, ya que cubren la parte expuesta al agua de la junta. Son cubiertas por PVC o hypalón. Este material puede ser reemplazado por masillas tipo IGAS con fibras de asbesto.
- Cubiertas de PVC: Se utilizan para cubrir y confinar la masilla asfáltica que se coloca sobre las juntas. Deben ser unidas entre sí, para obtener una pieza continua mediante termo soldaduras en talleres con ambiente controlado, para eliminar cualquier posibilidad de fuga. Esta cubierta debe quedar apoyada en un 100 % sobre la superficie, sin pliegues o perforaciones. Se sella con silicona como Sikadur 31 de Sika o similar y pernos de sujeción.
- Elementos de sujeción: Para fijar las cubiertas de PVC, se disponen de perfiles de acero en forma de semi círculo que son fijados mediante pernos de sujeción, con el fin de asegurar la impermeabilidad entre la cubierta y el hormigón de la pantalla.

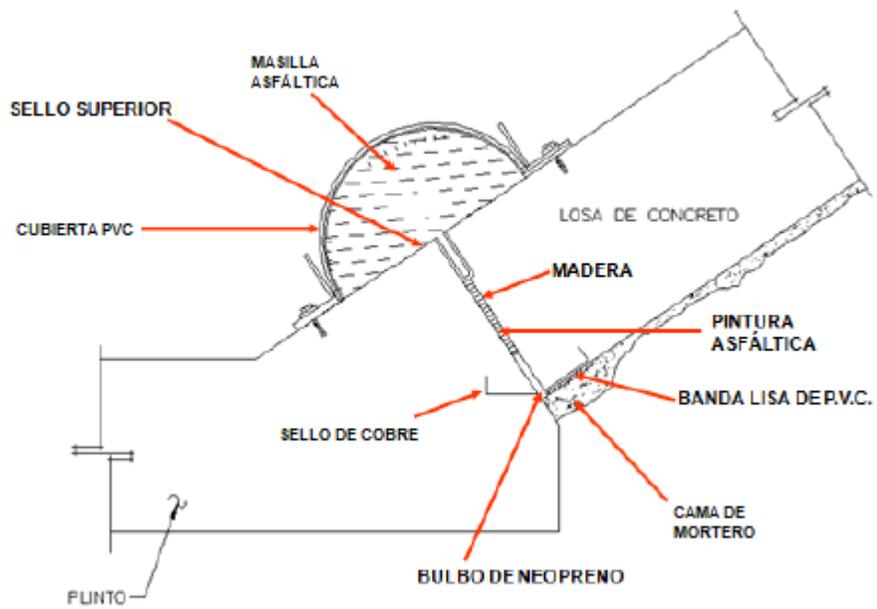


Figura 4.31: Detalle sello junta perimetral; Fuente: Construcción de cortina de enrocamiento P.H La Yesca



Figura 4.32: Protección sello con Hypalón; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.

3. El proceso de hormigonado se hace por fajas de 15 m de ancho, mediante cimbras deslizantes, que consisten en un sistema de rieles operados por gatos hidráulicos. Las cimbras se desplazan por todo el largo de la faja.
- a) **Material:** El hormigón a utilizar es un G30, con áridos de tamaño máximo 1 1/2", cemento puzolánico y aditivos plastificantes para su trabajabilidad. En climas cálidos como el que se presenta en la comuna de Combarbalá durante gran parte del año (menos en el invierno con temperatura media de 14 C°), se recomienda una mezcla agua cemento de 0.5, un aire incorporado de 4 a 6 %, según el boletín n°141 del ICOLD. También se debe tener especial cuidado en evitar la segregación del material, para esto se toman las siguientes medidas:
- i) El transporte del hormigón, ya sea por canoa, cinta transportadora o bombeo, debe presentar pendientes moderadas menores o iguales al talud 1.5:1 H:V de la cara aguas arriba.
  - ii) El vaciado vertical por gravedad, directo de la tolva o con capacho debe limitarse a 1 m de altura si se vacía sobre superficie dura y de 2 m si es vertido en hormigón fresco.
  - iii) Las bombas de hormigonado deben ser lubricadas con lechada, no se pueden utilizar bombas que impulsen el material con aire comprimido.
- b) **Hormigonado:** Previo al hormigonado, la superficie debe estar limpia, libre de materiales sueltos y desechos producto de los trabajos de armadura. También se instalan los materiales necesarios para los sellos de las juntas como apoyos de mortero, sellos de cobre, material impermeabilizante y protección de sellos. La pantalla se debe construir de abajo hacia arriba en fajas de ancho uniforme, mediante un moldaje deslizante que debe tener un largo mínimo de 1.2 m en sentido del deslizamiento. El concreto es vaciado desde el coronamiento de la presa, bombeado o transportado mediante canoas. Es importante considerar un sobre dimensionamiento del hormigón a utilizar debido a irregularidades de la superficie de apoyo, pérdidas de material por fugas en moldajes y transporte, en este caso se considera un 15 % extra de la cubicación teórica.
- c) **Vibrado y curado:** Luego del vaciado de hormigón, se procede a la compactación de este mediante vibrado, con el objetivo de desplazar el material a las zonas de difícil acceso para minimizar la presencia de nidos. Los vibradores deben tener una frecuencia de 4.000 a 6.000 rpm y son sumergidos en la mezcla hasta que aflore superficialmente la lechada, buscando la máxima compactación posible. Una vez empieza el fraguado, el moldaje se traslada hacia arriba para continuar con los trabajos en la sección superior de la faja. El curado se hace mediante arpilleras húmedas que deben ser regadas con frecuencia durante 14 días continuos, la periodicidad del riego depende de las condiciones climáticas, se debe mantener la arpillera mojada en todo momento ya que un buen curado implica menos fisuras, lo que es crítico en esta estructura.
- d) **Traspaso de moldaje:** Se repite el procedimiento descrito anteriormente hasta llegar al coronamiento de la presa. Una vez terminada la faja, se debe desmontar el moldaje deslizante en la parte superior de la presa mediante gatos hidráulicos.

Para facilitar su transporte hacia la faja subsiguiente (los trabajos se hacen en fajas alternadas) se utiliza una estructura metálica en el coronamiento que sujeta el moldaje y lo desplaza longitudinalmente hacia su nueva zona de trabajo como se muestra en la figura 4.34.



Figura 4.33: Moldaje deslizante para hormigonado; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.



Figura 4.34: Estructura transferencia cimbra; Fuente: Comité Nacional Chileno De Presas.

4. Las juntas cumplen un rol fundamental en el desempeño de la pantalla, ya que le dan una mayor flexibilidad de la estructura, permitiendo pequeños movimientos de apertura y cierre de las fajas. Dependiendo de las solicitaciones a las que son sometidas, estas buscan individualizar las deformaciones que tienen las fajas entre sí. La flexibilidad se traduce en menos grietas en la pared de concreto y en consecuencia menores filtraciones.

En el caso de las juntas horizontales, se hacen debido a condiciones constructivas, dependen de los rendimientos y posibles eventualidades que se presenten durante la colocación del concreto. Buscan generar continuidad en la faja que se esta ejecutando. Se deben dejar las armaduras pasadas para continuar con la siguiente etapa e invertir esfuerzos para lograr una superficie limpia, libre de lechada y rugosa que garantice a adhesión de la nueva etapa de hormigonado.

En las laderas, no se pueden generar juntas horizontales en alturas que no se haya desarrollado todo el ancho de la faja de 15 m. En caso de detenciones accidentales del hormigonado, ya sea por problemas en el transporte, rechazo de la mezcla o cualquier otra eventualidad relacionada con la actividad. El tratamiento para estas juntas puede variar según las condiciones de la mezcla, se proponen los siguientes:

- a) **Hormigón Fresco:** Se debe tener especial cuidado de no generar desprendimiento de los agregados. Es necesario evaluar la consistencia del hormigón colocado. Este tratamiento consiste en lavar con agua la zona, eliminando la lechada hasta que escurra agua totalmente limpia.
- b) **Picado de superficie:** Se usa como alternativa cuando el hormigón ya ha endurecido lo suficiente como para no afectar la adhesión del agregado grueso de la mezcla, de tal manera que se asegure una superficie rugosa en toda la junta.
- c) **Lavado a presión:** Sobre hormigón ya endurecido se debe aplicar chorros de agua a alta presión (mayor a 500 kgf/cm<sup>2</sup>), estos deben eliminar la lechada de la superficie sin afectar los áridos de la mezcla. El tratamiento puede ser complementado con el descrito en (b) y previo al nuevo hormigonado se debe lavar con agua, eliminando los materiales sueltos.

# Capítulo 5

## Discusión

### 5.1. Condiciones preliminares del proyecto

El proyecto Embalse La Tranca es parte de un programa de 3 embalses propuesto por la DOH en la comuna de Combarbalá, todos con el objetivo de ser multipropósito cumpliendo con dos funciones principales, abastecer a los agricultores de la zona, generando una mayor seguridad de riego durante todo el año e implementar redes de abastecimiento para los sistemas de agua potable rural de los pobladores. Actualmente un gran número de estos APR de la comuna son abastecidos por camiones aljibe ya que no cuentan con fuentes propias o estas son insuficientes debido a la sequía. Lo anterior, de acuerdo con las consultorías desarrolladas por MN Ingenieros en “Estudios de Factibilidad de construcción Embalse la Tranca en Río Cogotí”, “Estudio de Factibilidad Embalse Murallas Viejas” y “Diseño Construcción Embalse Valle Hermoso en Río Pama”.

Que el Gobierno de Chile busque la implementación de 3 grandes proyectos hídricos en una sola comuna no es al azar, ya que esta zona es una de las más afectadas por la sequía y limitado acceso al agua potable del país, además que el principal motor de su economía local es la agricultura. La situación actual se ha traducido en bajos niveles de producción, pérdida de hectáreas completas por falta de riego, menor oferta de empleo y migración por falta de acceso al agua potable y trabajo.

De estos 3 proyectos, el Embalse Valle Hermoso en Río Pama ya concluyó sus obras el año 2019, el Embalse Murallas Viejas en el Río Combarbalá se encuentra en etapas de diseño e ingeniería. Mientras que el Embalse la Tranca completó sus estudios de factibilidad, pero fue paralizado el año 2017 en la etapa de diseño e ingeniería por diversos problemas políticos y oposición de algunas comunidades. Esta situación es crítica y lamentable ya que en los últimos años no se ha mostrado un interés por retomar los estudios de ingeniería, de un proyecto que tiene alto potencial para mejorar las condiciones laborales y calidad de vida de gran parte de la población comunal, la cual podría ser beneficiada directa o indirectamente por él. Debido a esto, es de gran interés analizar las limitaciones de la propuesta para que a futuro se tengan en cuenta al momento de avanzar en nuevas etapas.

#### 5.1.1. Características del emplazamiento

Respecto a la construcción del embalse, es fundamental concentrarse en las debilidades que puede presentar el proyecto a partir del emplazamiento seleccionado, La Tranca II, con

el objetivo de proponer soluciones. La morfología dificulta realizar actividades críticas en paralelo, esto es perjudicial para la programación y cumplimiento de plazos durante la construcción. Por lo tanto se deben buscar opciones alternativas como generar más caminos de acceso, disponer de equipos en las cercanías del proyecto y contar con personal capacitado para reaccionar oportunamente frente a situaciones adversas.

No obstante, existen actividades que se pueden desarrollar en paralelo durante la construcción y que permiten acortar los plazos. Por ejemplo, en las excavaciones en roca para la variante del camino D-779 y el túnel de desvío se pueden generar acopios de material 3B y 3C para el relleno de la presa, previo a explotar la zona de yacimientos. En caso que el material excavado cumpla con la granulometría especificada, puede ser un gran beneficio, ya que los materiales 3B y 3C representan más del 80 % del volumen de la presa. También mientras se ejecutan las obras de desvío se puede avanzar con la excavación en las laderas para el plinto (Zona A, ver figura 4.10), ya que estas son superficies fáciles de excavar y no están expuestas al flujo del río.

Respecto a las obras de desvío, es necesario buscar soluciones y medidas de mitigación ante eventuales flujos aluvionales desde la ladera derecha en la Quebrada de los Quillayes, ubicada aproximadamente a 150 m aguas arriba de la presa. Eventos de estas características, pueden obstruir las obras de desvío e impactar negativamente al proyecto. Sin embargo, esto no limita la ejecución del embalse, ya que como toda obra civil, se tienen riesgos asociados los cuales deben ser cuantificados adecuadamente. De todos modos, por este motivo, se ha planteado en la metodología desarrollar las obras de desvío en la ladera sur del río (izquierda).

Otro aspecto relevante a considerar es que hasta el día de hoy no se han encontrado yacimientos suficientes para satisfacer los volúmenes de relleno requeridos, los cuales están directamente relacionados con la cantidad de agua que se decida embalsar. Esta deficiencia se debe principalmente a que no se han realizado suficientes calicatas que confirmen una mayor cantidad de yacimientos, además que las exploraciones se han limitado únicamente a la zona de inundación. No obstante, teniendo en cuenta las características de los ríos, que transportan un gran volumen de materiales fluviales, es de esperar que se encuentren más depósitos que pueden ser utilizados para el cuerpo de la presa. Hasta el momento, esta situación es una de las principales deficiencias del emplazamiento, ya que no se ha confirmado la disponibilidad de empréstitos suficientes para materializar la obra.

Los estudios de factibilidad invitan a investigar potenciales yacimientos ubicados a 10 km de distancia y la explotación de canteras en caso de no lograr los volúmenes de material demandados por el proyecto, lo que resulta bastante costoso para una obra civil de estas características. Por otra parte, en el presente trabajo se ha propuesto estudiar 2 sectores de explotación de yacimientos “Las Barrancas” y “El Durazno” los cuales se encuentran a una distancia media de 4 km del eje de la presa y cuentan con buenos caminos de acceso que deben ser ligeramente modificados para el ingreso de maquinaria pesada. Sería beneficioso para el proyecto realizar exploraciones geotécnicas en estas zonas con el fin de evaluar si aportan material suficiente para construir un embalse con capacidad de 25.000.000 m<sup>3</sup>.

De todos modos, es importante recalcar que la ubicación seleccionada posee buenas características para construir una presa de gravas compactadas por dos razones principales. En

primer lugar, el sitio está en un angostamiento del valle, que se va abriendo aguas arriba del muro, por lo que la relación volumen de relleno vs volumen embalsado es óptima. En segundo lugar, el sector cuenta con un macizo rocoso de escasa facturación que permite apoyar el plinto y parte de la presa en roca incompresible, lo cual mejora considerablemente las condiciones de impermeabilización, estabilidad frente asentamientos y velocidad de construcción. Por lo general las presas fundadas en rocas de buena calidad como la de La Tranca, presentan menos atrasos que las fundadas sobre rocas sedimentarias. No obstante, hay que tener en cuenta que este sitio es recomendado a nivel de factibilidad y que en etapas más avanzadas del proyecto se pueden definir mejores emplazamientos.

### 5.1.2. Stakeholders del proyecto

El Project Management Institute, define a los stakeholders como personas y organizaciones interesadas en el proyecto como: clientes, patrocinadores, organización ejecutante y el público involucrado. Los intereses de estos pueden verse afectados, positiva o negativamente, como consecuencia de la ejecución de las obras.

Considerando el historial del proyecto Embalse La Tranca, resulta fundamental evaluar cuáles son estos interesados en la obra, su grado de influencia y percepción respecto a esta. Sin ir más lejos, en el año 2017 la DOH se vio obligada a dar término temprano al contrato de estudios de ingeniería con la empresa Typsa, ya que esta no pudo cumplir con los plazos establecidos, debido a que la comunidad de El Durazno y propietarios de predios ubicados en la zona de inundación no permitieron el acceso, para desarrollar los estudios. Hecho que tiene al proyecto paralizado hasta el día de hoy.

A continuación se presentan algunos de los stakeholders que participan en el proyecto.

1. **DOH:** La Dirección de Obras Hidráulicas es un ente gubernamental encargado de promover y gestionar obras relacionadas con regulación de recursos hídricos. Representa al Gobierno de Chile en la construcción de este tipo de infraestructuras. Es el patrocinador y principal gestor del proyecto desde sus etapas de pre-factibilidad, estudios de ingeniería, licitación del proyecto de construcción e inspección de las obras mediante Inspectores Fiscales.  
Su visión del proyecto es positiva respecto a los beneficios que puede traer a la zona dentro del punto de vista económico, social y la posibilidad de mejorar la calidad de vida de los pobladores sin acceso seguro a agua potable.
2. **Municipalidad de Combarbalá:** Según los estudios de PAC [6], su postura respecto al proyecto es neutra, expectante de los resultados y cautelosa con los beneficios reales que pueda traer la construcción del embalse a la comuna. Pese a presentar una postura neutral, su influencia sobre el proyecto es alta, ya que puede ser un intermediario entre la constructora que se encargue del proyecto y la población. Además de poder facilitar permisos municipales que puedan agilizar los trabajos como instalaciones de faena, botaderos y gestiones para la aprobación de nuevos frentes de trabajo.
3. **Pobladores del Durazno:** La comunidad del Durazno corresponde a un pequeño poblado ubicado aguas arriba de la zona de inundación. Estos fueron los principales opositores al proyecto y su influencia es alta, como quedó en evidencia durante el año 2017.

Sus principales preocupaciones están en la superficie de inundación, ya que a criterio de ellos el proyecto podría inundar el poblado. Cabe destacar que esta comunidad no es beneficiaria directa del proyecto, debido a que se encuentra en la zona aguas arriba del embalse.

No obstante, la propuesta de los estudios de factibilidad propone un embalse de 46 Hm<sup>3</sup> con un muro de 110 m de altura y una cota de zona de inundación de 1.212 m.s.n.m, mientras que las casas del poblado parten en la cota 1.220. Por otra parte la propuesta del presente trabajo es un embalse de 25 Hm<sup>3</sup> y una cota de coronación de 1.183 m.s.n.m, que reduce la superficie de inundación de predios agrícolas. Por lo tanto, el poblado no quedará bajo la zona de inundación bajo ninguna circunstancia.

Su postura es negativa, si se ejecuta el proyecto hay que integrar a estas comunidades y explicarles claramente que su poblado no será afectado por la zona de inundación. Es necesario crear mecanismos eficientes para el traspaso de información transparente y con los fundamentos técnicos correspondientes, para la tranquilidad de los pobladores. Adicionalmente con estos canales de comunicación se puede buscar un consenso con los habitantes, como medidas de compensación. Una buena alternativa es bombear agua a los APRs de El Durazno (lo cual no está contemplado actualmente en el proyecto) para hacerlos parte de los beneficios del embalse.

4. **Propietarios zona de inundación:** Según los estudios preliminares estos corresponden a 2 familias, traducido en 11 personas, dueños de predios e instalaciones agrícolas que realizan actividades productivas. Su principal preocupación es el evaluó de la expropiación y la obligación de ser reubicados. Estos predios deberán ser expropiados previo a las obras.
5. **Beneficiarios APRs:** Son 2.249 habitantes de 10 localidades aguas abajo de la presa, como: Cogotí 18, El Chineo, La Colorada, La Cuadra, La Isla, Ligüa, Las Barrancas, Los Llanos de Cogotí, las Tinajas y La Fragüita. Actualmente, gran parte de los APR de estos poblados se abastecen de camiones aljibe que distribuyen agua cada 5 a 10 días. Por lo general estas personas deben racionar agua para cocina, aseo personal y consumo ya que la dotación de agua potable que reciben es insuficiente (muy por debajo de los 100 l/hab/día). Su postura frente al proyecto es positiva, ya que sin lugar a dudas este le mejorará su calidad de vida, dándoles mayor acceso al recurso. Tienen una baja influencia sobre el proyecto.
6. **Junta de vigilancia Río Cogotí:** Son los principales beneficiarios del proyecto de forma directa, ya que estos son propietarios de gran parte de los derechos de agua. La construcción les ayuda aumentando su seguridad de riego, generando menos incertidumbre al momento de invertir en nuevos cultivos y permitiéndoles ampliar sus operaciones en superficies que actualmente están sin uso debido a la falta de agua. Su influencia sobre el proyecto es alta ya que los regantes deben demostrar interés por escrito para el avance del proyecto de acuerdo con el DFL 1.123 o Ley de Concesiones.
7. **Junta de vigilancia Río Huatulame:** Existen conflictos de interés con los regantes del Río Huatulame, ya que este último es alimentado por el Río Cogotí y han existido disputas legales respecto a los derechos de agua. Históricamente se han opuesto a cualquier proyecto aguas arriba de ellos. Sus derechos son 1.2 m<sup>3</sup>/s, no obstante, corresponde a un tema legal que se debe analizar en el desarrollo del proyecto.

8. **Pobladores zona de influencia (aguas abajo):** Comunidades ubicadas aguas abajo y en las cercanías del río, entre el Embalse La Tranca y Embalse Cogotí. Estos en parte son beneficiarios de la red de abastecimiento de APRs propuesta, lo que es un beneficio directo, pero también existe beneficio indirecto el cual está dado por nuevas fuentes de trabajo, teniendo en cuenta que la principal fuente de trabajo en las zonas rurales es la agricultura. Los residentes del sector, en su mayoría son pequeños propietarios cuya dinámica de producción es muy flexible, están organizados en 28 comunidades de agua, además de la Junta de Vigilancia.

Las comunidades de agua son: Andacollito, Carrizo, Corral Pirca, Crucita, El Chacay, El Cuyano, El Dieciocho, El Peral, El Sauzal, Fragüita, Higuera, Jarrillas, La Ligua, La Tranca, La Tranquita, Las Ramadas, Los Perales, Morado, Palo Blanco, Panulcillo, Paredes, Parra Larga, Santa Rosa, Tapiado, Vado Bellaco, Vado de la Virgen, Vega y La Zorra

### 5.1.3. Prioridades en la DOH

El año 2013, según el departamento de riego de la DOH se contemplaban 13 proyectos de embalse priorizados, donde el Embalse La Tranca estaba en el puesto N° 9 cuando el proyecto estaba licitando la fase de diseño. Años más tarde después de dar término temprano a los contratos de diseño, se presentó el Plan Nacional de Regulación y Embalses (PNRE), donde se contemplan 26 embalses, de acuerdo a la ORD N° 2333 emitida por la subsecretaría de Obras Públicas el año 2019. En el PNRE no se especifica la prioridad del embalse la Tranca, pero tampoco propone formas de avances en el proyecto como tal, únicamente lo presenta como uno de los tantos embalses que la DOH tiene en cartelera.

Es innegable que la construcción de embalses se presenta como una solución a mediano-largo plazo frente a la escasez hídrica que vive el país y que estos tienen un alto impacto económico, social y ambiental. Pese a la complejidad de estas obras (no solo en el tema técnico), se ha llegado a la conclusión que su desarrollo es urgente, por ser una forma de retener volúmenes de agua durante los períodos con altas precipitaciones y asegurar el recurso en períodos de sequía, para garantizar el consumo humano y mejorar las condiciones de producción en el sector agrícola.

Sin lugar a dudas llama la atención como el Proyecto Embalse la Tranca ha sido pospuesto durante años, considerando que sus estudios de factibilidad fueron entregados el año 2011. Se debe tener en cuenta como ha sido afectada la comuna de Combarbalá en los últimos años y como la calidad de vida de sus habitantes se ha visto perjudicada por el acceso al agua. El proyecto se paralizó debido a conflictos con las comunidades, no obstante esto puede ser solucionado mejorando la información y transparencia con estas mismas respecto a las obras a ejecutar, más aun considerando el enfoque multipropósito que busca abastecer de agua potable a 2.249 habitantes de la zona.

El presente trabajo pretende aportar en el desarrollo del proyecto, buscando un proceso participativo, considerando la opinión de las personas afectadas y todos sus agentes durante los procesos de diseño, planificación, construcción y operaciones, además de aportar con las recomendaciones, presentadas en la metodología de construcción.

#### 5.1.4. Situación hídrica

Claramente la situación hídrica es crítica en la provincia de Limarí, por esta misma razón se ha contado con decreto de escasez hídrica las últimas dos décadas de forma consecutiva y se han propuesto una serie de proyectos para mitigar los efectos adversos de la situación respecto a la disponibilidad del recurso. En los informes de factibilidad se considera un caudal medio anual del Río Cogotí de 2.43 m<sup>3</sup>/s, esto a partir de información pluviométrica y de caudales en estaciones cercanas al proyecto, entre los años 1961 y 2008. Como información adicional y con el objetivo de tener las condiciones actuales de los últimos años se estudiaron las precipitaciones medias y caudales a partir de las estaciones pluviométricas La Fragüta y Cogotí 18, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5.1: Caudales y precipitaciones medias últimos años;  
Elaboración propia; fuente: DGA.

Período	Últimos	Caudal medio [m <sup>3</sup> /s ]	Precipitaciones medias [mm ]
1972-2019	47 años	2,40	169,5
1994-2019	25 años	1,82	150,7
2004-2019	15 años	1,22	137,4

La tabla muestra que a medida que se reduce el período de evaluación, los caudales y precipitaciones medias en la zona disminuyen, esto demuestra que la crisis respecto a la disponibilidad del agua en el río Cogotí es real. Por lo tanto, resulta necesario almacenar y suministrar inteligentemente el recurso a medida que esté disponible. Por otra parte hay que tener cuidado con esta información ya que puede conducir a cuestionamientos erróneos como: “¿ Para que construir un gran embalse que no podrá ser llenado?”

Si bien los resultados muestran una tendencia a la disminución en el período histórico; según el informe “Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Limarí” [21], que realiza un análisis detallado desde el punto de vista estadístico respecto a la hidrología de la cuenca y sus proyecciones entre los años 2030-2050, se llega a la conclusión que esta tendencia a la baja no es estadísticamente significativa. Por otra parte los ciclos de los ríos toman períodos más amplios que un período anual, eventualmente se deben presentar crecidas de caudales y para cuando esto suceda lo ideal es contar con el embalse de tal manera que se pueda almacenar y distribuir adecuadamente los recursos de acuerdo a las necesidades en la zona.

Lo que se desea transmitir con esto es que, sin lugar a dudas, se está pasando por un período de escasez en la comuna de Limarí y región de Coquimbo en general, pero las condiciones hidrológicas respecto a los caudales del sector no han cambiado. Se debe considerar que un embalse tiene una vida útil superior a los 50 años y su utilidad a largo plazo es real. La construcción de un embalse no se debe analizar en el sentido de obtener retornos en corto plazo, el análisis debe considerar el mediano y largo plazo, con el profundo sentido social que tienen estas obras como generar nuevos emprendimientos de campesinos, evitar la migración de población joven, incentivar a inversionistas a trabajar en la zona y progreso para los residentes de estos sectores rurales.

## 5.2. Atrasos en desarrollo de proyectos

Resulta interesante analizar el origen de los atrasos en la gestión de proyectos de embalses y la ejecución de los mismos. Este tipo de obras son proyectos de inversión a largo plazo, que pueden traer grandes beneficios a la comunidad desde el punto de vista social y también respecto a la sustentabilidad de la zona donde se planean los trabajos. Sin embargo, la externalidad positiva que se busca al realizar estos proyectos, se puede ver mermada por diversos motivos como: una incorrecta ejecución, mala gestión de recursos, programaciones inadecuadas, problemas con los estudios de ingeniería, generar falsas expectativas en la población, considerar escenarios excesivamente optimistas etc.

Una de las principales fuentes del incumplimiento de plazos son los trabajos innecesarios o pérdidas en la construcción como la necesidad de hacer nuevamente partidas que no cumplan con las expectativas o calidad especificada por el proyecto, mala planificación de recursos y actividades, falta de experiencia del personal responsable del proyecto además del actuar negligente de algunos profesionales respecto a la búsqueda activa de pérdidas que podrían impactar en la eficiencia de los trabajos desarrollados en terreno. De acuerdo con las entrevistas realizadas a profesionales experimentados en construcción de grandes obras hidráulicas en el estudio “ Estudio de pérdidas en procesos constructivos de obras hidráulicas mayores” [23].

Los atrasos están directamente ligados con los sobre costos, efectividad de la construcción y calidad de los diseños que pueden generar desviaciones respecto a la planificación inicial. Lo anterior, es lógico ya que los estudios de diseño no siempre pueden plasmar en su totalidad la realidad que se presenta en terreno. Por esta razón, la ejecución de grandes obras civiles y construcción en general, es una inversión con bastante incertidumbre, la que se debe reducir con buenos estudios de ingeniería, buscando personal altamente calificado para el desarrollo de este trabajo, donde se requiere un gran conocimiento técnico y experiencia.

“Dentro de la vida útil de un proyecto, resulta mucho menos costoso en términos de plazos, realizar modificaciones en la fase de diseño que cuando se esta construyendo, ya que durante la construcción existen más recursos involucrados en las operaciones...” [8]. Las modificaciones en la etapa de construcción, implican cambios en los contratos que pueden dar paso a disputas legales, reclamaciones por parte de la constructora y paralizaciones que por supuesto repercuten en los plazos y proyecto como tal. Por lo tanto la recomendación es invertir en la fase de ingeniería, ya que esto puede evitar problemas futuros, que de no ser detectados tempranamente generan un impacto negativo en el proyecto.

Por otra parte, la puesta en marcha de un proyecto se puede dilatar por temas que escapan de la construcción. Cuando el promotor es el sector público, se debe hacer uso de arcas fiscales (en caso de desarrollar el embalse vía DFL 1.123) que están sujetas a una gran cantidad de procesos de análisis, necesarios para garantizar el correcto uso de fondos públicos, procesos que limitan la temprana implementación del proyecto. Además de esto, la elaboración de un embalse, fácilmente puede tardar más de una década, considerando fases de estudio, diseño, licitaciones y construcción. Mientras que los gobiernos tienen períodos de 4 años, donde cada uno tiene diversas prioridades y como consecuencia si no hay un seguimiento de las

propuestas, se estancan, quedando archivadas, tal como el caso del Embalse La Tranca que su factibilidad se entregó hace 11 años.

### 5.2.1. Modelo diseño, licitación, construcción

En Chile el desarrollo de obras públicas gestionadas por el MOP, sigue el método tradicional, también conocido como Diseño-Licitación-construcción o D-B-B según sus siglas en inglés (*Design Bid Buid*). Donde su principal característica es la contratación por separado de los participantes responsables del proyecto, con una entidad encargada de la ingeniería de diseño y otra de la construcción. Este modelo se adopta según el Reglamento para Contratos De Obras Públicas (RCOP), donde tal como lo dice su nombre, el proceso se divide en 3 etapas.

En la primera se contrata el diseño del que se obtienen planos y especificaciones. Luego se establecen bases de licitación pública a partir de los estudios de ingeniería, en la cual existen barreras de entradas, ya que solo participan constructoras competentes según la cartera del MOP, que evalúa criterios como su experiencia y capacidad económica de la empresa. Finalmente la empresa que presente la mejor propuesta dentro del punto de vista técnico y económico, se adjudica el proyecto de construcción, por lo general se busca el precio mínimo (*Lowest bidder*). De esta manera el contratista es responsable de la ejecución bajo las especificaciones y bases de licitación acordadas.

Que este modelo sea el tradicional y más utilizado no implica que sea el mejor, sobre todo en los proyectos de alta complejidad como La Tranca, ya que esta metodología se traduce en trabajos poco colaborativos donde el diseñador no tiene contacto con el contratista debido a que entre el diseño y construcción existe una gran brecha temporal. Esto implica que ninguno de los agentes puede tener retroalimentaciones del otro y peor aún, no existen responsabilidades entre cada una de las partes, es decir, en caso de presentarse errores de diseño, quien debe hacerse responsable es el mandante (MOP/DOH), ya que la constructora no participó en la primera etapa. Las irregularidades en los diseños dan paso a reclamaciones y paralizaciones ya que el contratista debe realizar trabajos que escapan del contrato especificado en la licitación, lo que implica utilizar más recursos de los presupuestados, además de modificar su cronograma de trabajo y los plazos del proyecto.

En consecuencia, este modelo incentiva a los participantes a optimizar sus actividades de forma individual, lo cual no siempre se alinea con la optimización del proyecto. Al generar contratos por separado se pierde el incentivo de los agentes para trabajar en conjunto y establecer sus objetivos a favor del proyecto como un macro. Esto lleva a pensar que si se pudiera promover el trabajo colaborativo desde fases tempranas de los proyectos ( principio *Lean*), las partes podrían retroalimentarse entre sí, enriqueciendo su conocimiento y compromiso con el objetivo final, además de obtener diseños de mejor calidad. De esta forma los equipos buscarían solucionar los problemas en conjunto y no enfrascarse en disputas de quien es el responsable de los errores.

Según detalla Luis Alarcón en [22], director del Centro de Excelencia en Gestión de Producción de la Universidad Católica, los proyectos públicos con esta metodología generan sobre costos y atrasos por los siguientes motivos:

1. Errores y omisiones en documentos de diseño.
2. Falta de competencia de los equipos de diseño y construcción.
3. Inefectiva transferencia de la información en la fase de licitación.
4. Excesivo tiempo transcurrido entre la fase de diseño y fase de construcción.

### **5.2.2. Pérdidas de materiales y eficiencia durante el desarrollo del proyecto**

Se entiende por pérdida a toda actividad en la cual se utilizan recursos como: materiales, tiempo, planificación, uso de máquinas y personal en terreno pero que no agregan valor al producto final o entregable del proyecto. Es decir, corresponden a tareas completamente innecesarias, las cuales se pueden optimizar, eliminando tiempos muertos, mejorando la planificación y controlando estas actividades de forma preventiva en vez de reactiva para lograr los mejores rendimientos del proyecto de construcción.

Sin lugar a dudas, las pérdidas en la construcción son un fenómeno inevitable en grandes obras de riego como la que se está estudiando. No obstante, también es una oportunidad para los administradores de proyectos, ya que estableciendo un sistema de control, planificación y gestión de los recursos efectivo, las pérdidas se pueden reducir mejorando la eficiencia de los trabajos. En la ejecución de estos proyectos se debe apuntar a utilizar los recursos estrictamente necesarios para lograr los objetivos propuestos, sin incurrir en excesos, además de lograr estos objetivos con eficacia, lo que implica que los trabajos resulten en un producto final con la calidad especificada para la obra.

Es importante recalcar que estas pérdidas e ineficiencia de los trabajos realizados para materializar un embalse, no son solo interés del contratista que se ha adjudicado la obra, sino que también deben ser de interés de los responsables del diseño y mandante, ya que una fuente de ineficiencia y futuras pérdidas puede nacer desde fases tempranas como el diseño. En el caso del mandante su relación con el proyecto es más explícita y su prioridad es velar por el éxito de la inversión que está impulsando. Hay que tener claro que toda pérdida, independiente de quien sea el responsable, va en desmedro del proyecto, el cual se ve afectado en sus plazos, calidad y costos. El proyecto es donde convergen los intereses de todos los agentes responsables, por lo tanto todos deben enfocar sus esfuerzos en prever sus posibles defectos y optimizarlo.

#### **5.2.2.1. Problemas con el material de construcción**

En esta sección se busca detectar las principales fuentes de desperdicio de materiales, acciones que podrían afectar su calidad por su uso inadecuado y problemas que impliquen el utilizar una mayor cantidad de recursos que los estipulados en un principio, generando cambios en la programación de actividades y plazos. En base a lo anterior, algunos problemas que se pueden presentar en el Embalse La Tranca son los siguientes.

##### **1. Diseños insuficientes:**

El diseño es el punto de partida para un proyecto de construcción, es la principal fuente de información y en el caso de las licitaciones públicas, permite establecer las bases y condicio-

nes previas al inicio de los trabajos. También le permite al contratista generar su propuesta técnica y programación, basándose en la información recopilada en la fase de diseño. En teoría, la propuesta debe ser respetada por el constructor, ya que ahí están los alcances de su trabajo y compromiso con el mandante.

Es común que se propongan soluciones inviables desde el punto de vista constructivo o se realicen diseños insuficientes, suponiendo condiciones del terreno que no se presentan en la práctica. Lo anterior, debido a que los sondajes y calicatas son muestras puntuales del terreno y no siempre lo representan de forma integral. Esto se traduce en desviaciones de lo presupuestado y en consecuencia: mayor uso de materiales para ejecutar ciertas partidas, subestimaciones al momento de cubicar trabajos, necesidad aplicar esfuerzos extraordinarios para cumplir los objetivos, además de modificaciones en la planificación.

Si se presentan diseños excesivamente complejos o sin especificaciones suficientes, se obliga a buscar alternativas de diseño durante la construcción, que deben ser evaluadas y aprobadas previo a su implementación. Cuando se presentan estas situaciones durante la construcción, se producen esperas, incertidumbre en el equipo de trabajo además de posibles disputas legales entre constructora y mandante.

En el Embalse La Tranca, se deben enfocar los esfuerzos en la caracterización geológica del basamento rocoso respecto a su calidad, potenciales fallas y fracturas. Los estudios de factibilidad indican una excelente competencia de este, lo que genera buenas expectativas respecto a las condiciones para la construcción del plinto, presa y túnel de desvío, pero solo a partir de 4 sondajes. La roca puede presentar singularidades que aún no se han detectado y tienen el potencial de impactar considerablemente en la construcción si no se identifican en la fase de diseño.

Otro aspecto de interés es proponer soluciones factibles constructivamente considerando la morfología del sector, las capacidades de la maquinarias disponibles y sus rendimientos. Lo anterior lleva a pensar que durante la fase de diseño es recomendable la inclusión de profesionales experimentados en temas constructivos para retroalimentar las propuestas de diseño. En muchas ocasiones el equipo de diseño no cuentan con personal experimentado en el área de producción lo cual es un grave error.

## **2. Trabajos mal ejecutados:**

Por no contar con personal debidamente capacitado respecto a las actividades que deben llevar a cabo, falta de supervisión o negligencia en esta misma, calidad deficiente de los materiales, mala lectura de planos o simplemente por el incumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto. Cometer errores en los trabajos decantan en el rechazo por parte de la Inspección Fiscal.

Esta pérdida tiene un efecto negativo, ya que en primer lugar, cuando hay un rechazo por incumplimiento de las expectativas del proyecto, todo el material utilizado y recursos empeñados en el trabajo son un desperdicio, por lo que se debe eliminar y realizar nuevamente. Se deben utilizar materiales que no estaban contemplados en la programación. En segundo lugar, los procedimientos constructivos siguen un orden secuencial, por lo tanto, un atraso

por trabajos mal ejecutados desplaza todas las actividades que le siguen.[23]

En la construcción de embalses, partidas de especial interés son la estabilización y sostenimiento de taludes, vertido de hormigón sin segregación, transporte y colocación de materiales que tienen estrictamente prohibida la segregación (rellenos 1A, 2A, 2B), control de inyecciones de impermeabilización y control de rellenos en su compactación con la humedad ideal para este proceso.

### **3. Cuidado y uso indebido de materiales:**

Respecto al uso indebido de los materiales, es necesario destacar que en las obras existe toda una logística vinculada a la compra de materiales, transporte y almacenamiento en terreno, para cumplir con una labor específica dentro de la obra. Además de toda esta logística, se tiene que cumplir una programación para que el material llegue en el momento indicado, con el objetivo de no crear acopios improvisados que no serán utilizados en el corto plazo y que lo único que generan es obstaculizar los trabajos y desgaste del material. Toda esta cadena de valor y esfuerzos se pueden ver destruidos si el material es manipulado incorrectamente, no se respetan los planos, se utilizan procedimientos constructivos que no garantizan la calidad del producto final o directamente generan daños en el material y en consecuencia queda inutilizable. También el daño al material se puede dar por el bajo conocimiento de los supervisores y mano de obra, respecto a como se trabaja con él.

El manejo y acopio de materiales en la construcción de una presa de gravas compactadas es de vital importancia, ya que puede haber humedad en el ambiente que deteriora los materiales, como el caso del acero para armaduras, que se acopia en la intemperie sin protección o emplear medios de acopio inadecuados que generan segregación en los rellenos y afectan la homogeneidad en su granulometría. Hay que considerar que en este tipo de obras se produce el material de relleno, desde su excavación en la zona de yacimientos, transporte a zonas de selección, acopios y transporte final al cuerpo de la presa. Por lo tanto, es crucial tener una programación de excelencia respecto a toda la cadena de producción de rellenos, ya que su producción es uno de los trabajos de mayor duración y pequeñas pérdidas pueden transformarse en grandes en el largo plazo si no se controlan oportunamente.

### **4. Problemas con proveedores:**

Antes de iniciar los trabajos de construcción se debe evaluar la capacidad de los proveedores y contratistas que prestan servicios, determinando sus competencias para cumplir compromisos y requerimientos del proyecto. Hay que tener en cuenta que las empresas prestadoras de servicios son una parte crítica durante la ejecución del proyecto, si estos presentan retrasos en la producción o entrega de materiales, no se puede seguir con el desarrollo de los trabajos programados en un inicio por lo que se generan tiempos muertos, sin producción en la espera de materiales.

El éxito del proyecto de construcción esta relacionado directamente con la elección de las empresas que prestan servicios, para su selección y control se destaca lo siguiente:

- **Currículum:** Sin lugar a dudas el cumplimiento de los proveedores es un factor que genera gran incertidumbre durante el proyecto de construcción, ya que no se tiene certeza

de la calidad del material entregado y cumplimiento de los plazos establecidos. Debido a esto, cuando se estudian las posibles ofertas hay que considerar la experiencia del proveedor en el rubro, sus referencias y opiniones de constructoras que han trabajado previamente con ellos. También es recomendable visitar las instalaciones de estos, con el objetivo de ver el orden, cuidado, organización y capacitación de su personal, esto puede ser un buen indicador de como trabaja la empresa externa.

- **Solvencia económica:** Si no se tiene en cuenta la solvencia económica de los proveedores, es posible que no se cumpla lo comprometido, ya sea por falta de recursos para adquirir materiales, baja disponibilidad de personal o incapacidad de transportar el material a la zona de trabajo en la fecha estipulada. En el peor de los casos pueden quebrar y abandonar el proyecto, esto es una gran pérdida de tiempo ya que se paralizan los trabajos por falta de materiales en terreno, además que se debe buscar con urgencia un nuevo proveedor para seguir con los trabajos, lo cual tiene impacto en los plazos del proyecto.
- **Cumplimiento de hitos:** Se deben controlar el cumplimiento de los servicios comprometidos, estableciendo hitos en el corto y mediano plazo. Esto permite detectar deficiencias tempranas en los proveedores para realizar los ajustes pertinentes, antes que las deficiencias afecten el cronograma de trabajo. Los controles, también pueden indicar que el servicio contratado no cumple con las necesidades del proyecto, por lo tanto se debe buscar un reemplazo con mejores competencias. Un buen control permite actuar cuando las pérdidas son menores y antes que los trabajos sean perjudicados.
- **Diversificar:** Trabajar con pocas empresas prestadoras de servicios en las actividades críticas del proyecto de construcción, puede ser perjudicial, ya que estas actividades dependen directamente de las capacidades de entes externos al proyecto. Además su poder de negociación es muy alto en caso de presentar problemas por incumplimientos o negligencias en el desarrollo de sus actividades, debido a que son la única opción en el corto plazo. Por otra parte al diversificar los proveedores, se fomenta la competencia entre ellos lo que mejora sus rendimientos, además, si uno de los proveedores falla, se cuenta con otros que ya tienen conocimiento del proyecto y sistema de trabajo, que los pueden reemplazar rápidamente, dando continuidad en los trabajos.

#### 5.2.2.2. Bajos rendimientos e incumplimiento de objetivos

En estas actividades se pueden presentar deficiencias durante el proceso de construcción, no solamente con un enfoque de los materiales, sino que también respecto a la gestión de recursos, planificación de estos y capacidades del personal para desarrollar los trabajos de forma óptima de acuerdo a las funciones que se le han encomendado. Estas deficiencias pueden decantar en una baja producción, incumplimiento de plazos y metas establecidas por el proyecto.

#### 1. Capacidades del personal:

Un factor que condiciona el éxito de los proyectos de gran escala es la capacitación, experiencia y conocimiento que tienen los equipos de trabajo de acuerdo con las labores que deben llevar a cabo para la ejecución del embalse.

Respecto a los profesionales encargados del proyecto de construcción, estos deben tener un buen manejo conceptual de la dirección de proyectos, entendiendo que los procesos ineficientes e inefectivos siempre están presentes en faenas de gran escala. Es responsabilidad de estos detectarlos de forma proactiva, con el objetivo de optimizar los procesos, encontrar errores o actividades que no suman valor en el desarrollo de los trabajos como: tiempos muertos para trabajadores o maquinarias y transporte innecesarios de materiales. También es importante lograr una comunicación efectiva entre los equipos para establecer las prioridades a corto, mediano y largo plazo, de tal manera que todos trabajen por un objetivo en común con sus funciones claras y bien definidas.

Sin lugar a dudas, lo comentado en el párrafo anterior tiene una relación directa con la experiencia del personal. Es verdad que cada proyecto presenta condiciones únicas en relación al terreno y los diseños, no obstante, los procesos constructivos, manejo de personal y planificación de objetivos son similares. Esta experiencia es fundamental para prevenir errores o procesos inadecuados que se han cometido en el pasado, no solo a nivel de los profesionales, se debe considerar como un requisito transversal para los trabajadores del contratista, ya que esto genera reducción de tiempos muertos, independencia en toma de decisiones específicas, correcta ejecución de las tareas y buenos rendimientos.

En terreno el rol de los supervisores es controlar la mano de obra, con el uso adecuado de los materiales, para que se apliquen buenas metodologías constructivas sin dañar el material de construcción como: hormigones, moldajes, armaduras, equipos de construcción, acopios de material, refuerzos para el sostenimiento etc. Fiscalizan que se utilice el material preciso para la construcción, sin excesos, además de cumplir con las especificaciones del proyecto, previniendo pérdidas de eficiencia y eficacia en las actividades.

Los supervisores deben establecer una buena comunicación con los directivos del proyecto, definiendo avances, cumplimiento de metas y recursos utilizados. Esta fuente de información es fundamental para el control de los trabajos, también deben transmitir los objetivos a corto y mediano plazo a la mano de obra con la finalidad de coordinar actividades en post de estos objetivos. Lo anterior aporta claridad respecto a las prioridades del proyecto, de tal manera que se compatibilicen los labores de cuadrillas y maquinarias en terreno de acuerdo a estas prioridades.

Por otra parte, se encuentra la mano de obra y operadores de maquinaria pesada. Lo ideal es contar con personal experimentado, pero esto no es realista, considerando que La Tranca está alejada de grandes centros urbanos, por lo tanto la mano de obra especializada es limitada. Frente a este problema, lo lógico es capacitar e instruir al personal de terreno, ya que si se aprende sobre la marcha, los errores (con costes económicos y de plazos) no tardarán en presentarse durante el desarrollo de las obras. En la construcción las fallas por trabajos deficientes son prácticamente inevitables, pero se debe buscar reducirlas al máximo. Bajo la misma lógica que el personal es limitado, este se debe mantener motivado y alineado con los objetivos del proyecto, ya que la baja moral se traduce en bajos rendimientos, incurrir en negligencias de forma deliberada y en el peor de los casos paralizaciones.

Todas estas situaciones vinculadas con el personal pueden atentar contra los rendimientos estipulados en la planificación del proyecto. Se observa que cada agente que participa en las

acciones puede agregar o quitar valor al producto final. Lo importante es detectar las fuentes de ineficiencia y tratarlas rápidamente, con buena planificación, comunicación y trabajo colaborativo de todo el equipo.

## 2. Planificación y gestión:

La planificación consiste en ordenar cronológicamente las actividades que son parte de la materialización de un proyecto, mientras que la gestión corresponde a los esfuerzos necesarios para lograr estas actividades en el tiempo estipulado. El objetivo de la planificación es relacionar las tareas de construcción, con la finalidad de disminuir riesgos durante los trabajos, evitar improvisaciones, reducir la incertidumbre, conocer las demandas máximas de insumos y generar la adquisición programada de materiales y equipos (Hernán de Solminihac, 2018).

El proceso de planificación cuenta con 3 niveles básicos en función de los objetivos del proyecto, estos son:

- Planificación estratégica, largo plazo: Considera los procesos globales, sin mayores detalles y con el objetivo de analizar propuestas para dar soluciones tentativas a los trabajos. Sirve como base para la planificación detallada.
- Planificación táctica, mediano plazo: Se estudia de manera concreta la construcción y las actividades para materializar el proyecto, por lo general comprende obras gruesas y permite crear un plan de construcción.
- Planificación operacional, corto plazo: Es el detalle de las actividades específicas para llevar a cabo los trabajos definidos en el plan de construcción. Se realiza con plazos semanales o inclusive diarios. Esta planificación tiene un rol fundamental en el cumplimiento de los objetivos del proyecto además de generar una mejor organización y reducción de recursos desperdiciados en tiempos ociosos del personal en espera de instrucciones, materiales y maquinarias.

Es claro que en obras civiles existen decisiones que a largo plazo pueden tener un alto impacto en los rendimientos de los trabajos, entre estas destaca la ubicación de las instalaciones de faena ya que si no se visualizan las actividades a largo plazo, una mala ubicación de estas se puede traducir en excesivos tiempos de viaje, pérdidas de tiempo por espera y traslado de equipos.

El diseño de caminos internos y externos de la obra, es crítico dentro del punto de vista operacional, para construir la presa se debe contemplar para el movimiento de tierras el transporte de varios millones de metros cúbicos de material, ya sea para excavaciones, rellenos de presa y traslado a botaderos. Un mal diseño de estos puede tener consecuencias como la interferencia entre maquinaria pesada, congestiones vehiculares no programados dentro de la zona de trabajo, pendientes inadecuadas para las capacidades de los equipos y problemas de seguridad si no se consideran inestabilidades del terreno, además de bajos rendimientos en los traslados en caso de no programar mantenciones preventivas a los caminos.

Otro aspecto relevante es el manejo de las adquisiciones de materiales de construcción, equipos y maquinarias específicas que pueden ser de acceso limitado. Ya sea porque a nivel nacional son escasas o derechamente no hay en el mercado y es necesario importar, lo cual implica un gran esfuerzo logístico para llevar el insumo desde su punto de origen hasta la

zona de trabajo invirtiendo varios meses en tramites y tiempos de transporte. Esto debe ser contemplado con anticipación para disponer de los insumos cuando sean requeridos en obra.

El tema de los insumos para la construcción, también es importante en la planificación operacional de corto plazo. En primer lugar, por motivos de mala comunicación entre el personal de terreno y oficina técnica, los materiales pueden ser trasladados a terreno antes de ser requeridos, situación desfavorable ya que obliga al personal de terreno a improvisar con los acopios de estos materiales, obstaculizando las operaciones prioritarias del momento y exponiendo al material a daños, además de generar viajes innecesarios y esfuerzos no contributivos al producto final. El caso contrario es que el material y equipos no lleguen a la zona de trabajo cuando son requeridos, pese a contar con todas las condiciones para trabajar, no se puede avanzar con las actividades, lo cual genera tiempos de espera e inconformidad del personal por la falta de coordinación.

Por otra parte, al momento de efectuar los trabajos como: excavaciones, plinto, inyecciones de impermeabilización, colocación de rellenos, construcción de obras de desvío, entre otros, es fundamental tener claridad de las actividades a desarrollar y cuales son los procedimientos adecuados para garantizar la calidad del producto final y el correcto uso de materiales. Si no se cuenta con una metodología clara y detallada de los trabajos se pueden tomar malas decisiones perdiendo productividad, al realizar trabajos más de una vez por problemas de calidad. Finalmente, una buena planificación permite evitar pérdidas de material y reducir los trabajos que no agregan valor. En este sentido la buena comunicación entre el personal de terreno y oficina técnica es vital para estructurar una programación a corto plazo, estableciendo las prioridades de la faena para enfocar los recursos en estas.

### **3. Condiciones del emplazamiento:**

Las condiciones relacionadas con el emplazamiento como el clima, accesos, nivel freático somero y percepción de la población afectada por el proyecto. Algunas de estas son más controlables que otras pero se debe tener un manejo preventivo para minimizar los efectos negativos que pueden traer a la ejecución del proyecto.

- **Clima:** El fenómeno climático es variable dependiendo de la zona, en la comuna de Combarbalá y en particular en la zona del Río Cogotí no se han registrado grandes precipitaciones ni aumentos de caudales los últimos años, según datos de la DGA. Lo anterior, puede llevar a infravalorar el impacto de estos fenómenos al momento de planificar la construcción.

De todos modos, es necesario monitorear las condiciones climáticas en el corto plazo, de forma semanal y diaria para poder actuar de forma preventiva frente a cualquier evento. Las lluvias intensas pueden generar inestabilidades en las excavaciones, erosión, segregación de rellenos acopiados, daños en caminos de acceso y saturación de zonas de trabajo. Los aumentos de caudal fuera del diseñado para la ataguía pueden dañar la estructura, perdiendo avances en excavaciones en fondo de presa, plinto, colocación de rellenos o pérdidas de materiales y equipos. Estas eventualidades desplazan el cronograma de trabajo además de la necesidad de invertir mayor cantidad de recursos para recuperar los daños.

Situaciones así pueden suceder en la construcción de presas y se deben tener en cuenta, como ocurrió en la construcción de la presa Ralco tipo HCR. “Mientras se ejecutaban los trabajos de construcción de la ataguía aguas arriba, en mayo del 2001, una crecida del Río Biobío cuyo caudal alcanzó un período de retorno de 10 años considerando el mes de ocurrencia, sobrepasó el coronamiento y causó la destrucción parcial del sector sur de la ataguía. El colapso originó la pérdida de los trabajos de excavación de la fundación en el lecho del río que se encontraban prácticamente terminados.” (Luis A. Uribe, Ing civil, 2009.).

- **Accesos:** Al igual que los caminos internos, los accesos condicionan los rendimientos de los trabajos y desplazamiento de equipos. El sector la Tranca está ubicado en la zona cordillerana, con una topografía accidentada en las cercanías del lecho del río, por lo tanto es fundamental identificar las zonas de acceso que permitan un ingreso rápido y seguro a las instalaciones. Al momento de tomar estas decisiones de debe tener una visualización del proyecto en el largo plazo ya que a medida que se avanza en la colocación de rellenos, la cota de la presa aumenta, por lo que es necesario disponer de accesos a cotas mayores con anticipación para garantizar la continuidad de los trabajos.
- **Nivel freático :** Durante las excavaciones, es requisito trabajar en seco para la seguridad de los trabajadores y equipos. Como estas se realizan en el lecho del río, es de esperarse presencia de agua, por lo tanto se debe contar con los equipos de bombeo necesarios para reducir el nivel del agua bajo la superficie de excavación. Si no se toman acciones y se acumula el agua, puede llevar a paralizaciones de las actividades. Por otra parte el nivel del agua se puede presentar más arriba de lo presupuestado, lo que implica un uso de recursos mayor al planificado.
- **Stakeholders:** Una situación de alto impacto en el proyecto es la relación con los stakeholders, su percepción y disposición frente a este. En La Tranca se debe poner especial énfasis en el manejo y comunicación con las comunidades para hacerlos parte del proyecto, con el objetivo de generar credibilidad, satisfacer demandas, conocer sus expectativas, su grado de autoridad y transparentar los alcances de los trabajos. El mal manejo de estos se puede traducir en paralizaciones, dificultad para adquirir permisos, comportamiento hostil de los afectados frente a los trabajadores del proyecto, nula disposición para apoyar o relacionarse con las actividades de construcción, entre otras. Una mala gestión de estos agentes afecta y puede ir en desmedro de los avances de la construcción y rendimientos presupuestados.

Por otra parte el flujo de información entre el contratista y el mandante es fundamental para la construcción. No obstante, la forma de contrato tradicional (D-B-B) incentiva a optimizar los procesos por separado [22]. Donde para el contratista, lo óptimo puede ser las reclamaciones respecto al contrato y diseño inicial, ya sea con fines económicos o para conseguir plazos adicionales, esto es tomado negativamente por el mandante quien por su parte toma una postura rígida y autoritaria [23]. Lo anterior complica el flujo de información, el trabajo colaborativo y la disposición a solucionar los conflictos de forma temprana sin necesidad de escalar el conflicto a temas de arbitraje [24].

## 5.3. Recomendaciones para el proyecto Embalse La Tranca

En la siguiente sección, se presentan algunas recomendaciones que se pueden aplicar en la elaboración del proyecto Embalse La Tranca a partir de un análisis crítico y técnico de la información aportada por los estudios de factibilidad además de considerar el contexto contractual de los proyectos públicos. También se consideran los factores que generan pérdidas de eficiencia y eficacia durante el ciclo de vida del proyecto, principalmente durante las etapas de diseño y construcción.

### 5.3.1. Lean Construction

Lean construction o construcción sin pérdidas es una filosofía que busca el mejoramiento continuo de los procesos de construcción con un enfoque a largo plazo, el cual tiene como objetivo la detección de deficiencias para generar pequeños cambios que finalmente eliminan las pérdidas de tiempo, gasto de dinero, recursos innecesarios, minimiza esfuerzos y busca maximizar el valor del producto final desde la perspectiva del cliente.

A diferencia del método tradicional que plantea los trabajos como una transformación de materiales a la solución que busca el mandante, la filosofía Lean identifica esta transformación como un flujo de procesos, los cuales pueden ser mejorados constantemente de manera individual y global, generando el máximo valor posible. Bajo esta premisa, se identifican 11 principios para implementar el Lean en la construcción (Lauri Koskela, 1992), se presentan a continuación.

- 1.- Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor.
- 2.- Reducir la participación de actividades que no agregan valor ("perdidas")
- 3.- Aumentar el valor del producto considerando los requerimientos del cliente.
- 4.- Reducir la variabilidad.
- 5.- Reducir el tiempo de ciclo.
- 6.- Minimizar los pasos de manera de simplificar el proceso.
- 7.- Incrementar la flexibilidad de las salidas.
- 8.- Incrementar la transparencia de los procesos.
- 9.- Enfocar el control de los procesos al proceso completo.
- 10.-Introducir el mejoramiento continuo de los procesos.
- 11.-Referenciar permanentemente los procesos

Figura 5.1: 11 principios del Lean; Lauri Koskela 1992.

El éxito de la construcción esta ligada con la administración de flujos de información y recursos. Esto se debe a que las labores en terreno requieren coordinación de los equipos de trabajo, movilización de equipos no estacionarios y mano de obra dentro de un período de tiempo con restricciones. La gestión y control de estos recursos es lo que determina finalmente la productividad que pueda lograrse.

En sus principios, el Lean construction estaba enfocado en la fase de construcción de los proyectos, no obstante este ha evolucionado con una mirada integral del proyecto, incluyendo fases previas a la construcción como tal. “El desarrollo de Lean construction ha ido desde herramientas y técnicas aplicadas en la fase constructiva hasta una filosofía que descansa en fundaciones conceptuales firmes aplicadas a lo largo del ciclo de vida del proyecto” (Alarcón, Mesa, Howell, 2013). Es así como se amplía este concepto a las fases de diseño, contrataciones, subcontratos, proveedores y todos los agentes que tienen participación en el proyecto en distintas etapas.

Aplicaciones contemporáneas del lean, buscan el involucramiento temprano de los participantes claves del proyecto como diseñadores, constructor y mandante, la integración de los equipos, trabajos colaborativos a base de la confianza y flujo de información, con el objetivo de optimizar el proyecto y no las partes de forma individual. Lamentablemente el Reglamento para Contratos de Obras Públicas funciona con el modelo DBB que contrata primero el diseño y luego la construcción con una brecha temporal, lo que impide el involucramiento temprano de los actores, por lo cual existe una barrera para la inclusión de todos los agentes. No obstante, se debe apuntar a un trabajo colaborativo entre los participantes en todas las etapas donde sea posible. Las recomendaciones del presente trabajo, buscan aplicar el enfoque Lean para disminuir las pérdidas en la construcción y proponer acciones de mejora en la fase de diseño.

### **5.3.2. Uso Last Planner para el proyecto**

Last Planner System (LPS) o sistema del último planificador, es una de las herramientas del Lean que permite llevar la filosofía a la práctica profesional. Esta herramienta fue desarrollada como un sistema de planificación y control de la producción, con el fin de reducir la incertidumbre y variabilidad en las obras de construcción en actividades programadas [27]. Esta variabilidad se puede controlar teniendo funcionamientos fiables, usando procedimientos simples y estandarizados para pronosticar fácilmente los desempeños [28].

LPS realiza la planificación desde los niveles más bajos de jerarquía, es decir, incluye a la persona o grupo que lleva a cabo los trabajos en la obra, ya que como dice el creador de este sistema: “en última instancia alguien decide que trabajo físico, específico será realizado mañana (...) estos son únicos ya que controlan el trabajo directo ”[28]. Es decir ellos toman la última decisión respecto a la ejecución de las actividades. De lo anterior nace el concepto de last planner o último planificador y la importancia de incluirlo en los procesos de planificación del proyecto. Con esto se busca definir lo que se debe hacer en largo plazo, lo que se puede hacer considerando las restricciones propias de cada actividad en el mediano plazo y lo que se hará en el corto plazo, midiendo el desempeño de la aplicación del sistema de planificación y analizando e identificando los errores cometidos en la planificación.

La estructura de este sistema se desarrolla en 3 niveles de planificación, desde lo general

a lo particular planteando un modelo de cascada en las actividades, que se basa en el principio del trabajo sistemático y mejoramiento constante de los procesos. Los niveles son los siguientes:

**1. Programa maestro:** Corresponde a la planificación general a partir de los objetivos planteados por el proyecto. Se proponen fechas de cumplimiento, establece metas y sirve para identificar los hitos de control. Se plasma a grandes rasgos las secuencias constructivas en un período de tiempo definido como restricción. Su objetivo principal es identificar holguras, equilibrar cargas de trabajo, proponer ritmos de producción alcanzables, eliminar tiempos ociosos, identificar ventanas de tiempo para disponerlas en caso de eventualidades que retarden las actividades [27].

**2. Programación intermedia:** Nace a partir del plan maestro y su objetivo es controlar el flujo de los trabajos en un espacio temporal de 4 a 12 semanas dependiendo de la complejidad del proyecto. Se tiene en cuenta la coordinación de proveedores de materiales, disponibilidad de equipos, recursos humanos, información y requisitos previos para que las actividades se puedan desarrollar sin problemas. En otras palabras, esta planificación explora el fondo de las tareas a ejecutar tomando en cuenta las circunstancias reales. Se asignan las tareas y se someten a una evaluación de las restricciones que limitan su ejecución.

En este nivel, lo primordial es analizar las restricciones para liberar la actividad en el plazo que se ha estipulado. Se analiza el cumplimiento de los trabajos predecesores dentro de la construcción y se definen cuales son las gestiones necesarias para ejecutar los trabajos, como verificar los tiempos de respuesta de los proveedores, disponer del personal, equipos y espacio en terreno para avanzar.

**3. Programa semanal:** Es la última etapa de la planificación en la cual participan los administradores de obra, jefe de obra, jefe de terreno, capataces y todos aquellos que supervisan directamente la ejecución de los trabajos en obra [28]. Es importante destacar que los trabajos propuestos en este programa deben estar libres de restricciones o con las gestiones hechas para que sean liberadas. El programa semanal se caracteriza por la medición constante del rendimiento en los trabajos propuestos, mediante indicadores como el PPC (porcentaje de programa cumplido) para saber cuantas actividades se han ejecutado en realidad, midiendo la efectividad de la planificación y generando matrices con las causas por las cuales no se está cumpliendo el programa en un 100 %. Esto permite corregir las actividades o aumentar la carga de trabajo en caso que se cumpla la planificación con holgura, para eliminar tiempos ociosos y optimizar rendimientos.

Un aumento en el PPC de una semana a otra implica un mejor rendimiento en la ejecución de las labores por parte de las cuadrillas de trabajo. Para llevar a cabo esta planificación se deben realizar reuniones semanales con la participación de todos los agentes involucrados en las actividades, con la finalidad de revisar y discutir el PPC de la semana anterior, buscar las causas de los bajos rendimientos, posibles soluciones y estudiar la secuencias necesarias para generar el plan de trabajo de la próxima semana. Considerando las correcciones y problemas detectados en la semana anterior. También se debe tener en cuenta que la calidad es un factor fundamental para el éxito de la planificación.

En conclusión, implementar el Last planner system en la construcción del embalse, genera un mejoramiento constantes y un ajuste de los rendimientos que pueden reducir considerablemente las pérdidas identificadas en la sección 5.2 durante la etapa construcción. Otros beneficios son: mejora en seguridad de obra, estabilización de la producción, control proactivo, reduce tiempos de espera, fomenta relaciones eficaces, añade valor al proyecto y mejora los flujos de trabajo [28].

### 5.3.3. Implementación BIM

BIM viene del inglés *Building information modeling*, es un proceso de digitalización de la información relacionada con cada uno de los objetos del proyecto. Es una evolución de los planos tradicionales en 2D, agregando variables geométricas, tiempos, costos, aspectos ambientales y mantenimiento, es decir incorpora hasta 7 dimensiones en total. “ Esta base de datos sirve como un recurso de conocimientos compartidos acerca de la instalación, formando una base confiable para la toma de decisiones durante el ciclo de vida de la instalación, desde su origen en adelante” [22].

BIM puede ir actualizando la información del proyecto periódicamente con la flexibilidad de modificar el modelo. Es una herramienta bastante útil cuando ocurren modificaciones en el diseño, utilizándose para buscar una solución rápida a partir de las condiciones reales del terreno y avances completados. Sus características facilitan la optimización dentro del punto de vista de diseño y metodologías constructivas. Permite detectar errores e interferencias en una fase temprana del proyecto, ayuda en la coordinación de diferentes especialidades, genera una importante reducción de pérdidas y mejora la transmisión de la información entre los diferentes actores.

Por lo tanto, este sistema aporta en la creación y desarrollo de un proyecto de construcción, centralizando la información, mejorando la transparencia y la comunicación entre los equipos. A diferencia del sistema tradicional con un flujo de información vertical, en este todos los miembros del equipo tienen acceso a la información actualizada y pueden ir perfeccionándola desde sus especialidades. Lo que relaciona fuertemente la metodología BIM con la filosofía Lean, donde su máximo potencial es explotado al combinarlas. BIM automatiza flujos y detecta pérdidas mientras que Lean optimiza estos flujos [25]. Los beneficios de utilizar estas dos en conjunto se puede ver reflejado en lo siguiente:

- Reducción de errores y omisiones.
- Coordinar diseño interdisciplinario.
- Proveer mejor entendimiento del diseño y construcción.
- Reducir el rehacer actividades y mejorar productividad.
- Alcanzar mejor calidad en el diseño y construcción.

Bajo este contexto, China es uno de los países que más construye presas para centrales hidroeléctricas en el mundo, en particular Hydrochina Kunming Engineering Corporation es una de las empresas más experimentadas en el rubro ejecutando más de 400 proyectos hidroeléctricos. Ellos utilizan BIM desde el año 2008 para conectar los equipos a lo largo del ciclo de vida del proyecto lo cual ha mejorado la colaboración, velocidad y calidad en el

campo, según detalla Zhang Zongliang ingeniero general y maestro de diseño nacional. Desde la empresa aseguran que la implementación del BIM ha reducido tiempos de trabajo en procesos constructivos hasta en un 60 % y en proyectos como el Yangfanggou se han reducido los volúmenes de concreto requeridos en 1 millón de metros cúbicos y volúmenes de excavación en 1.5 millones de metros cúbicos. [26]

A partir de los antecedentes presentados, la invitación es clara, utilizar BIM es una excelente herramienta para optimizar el proyecto de embalse estudiado. Se debe implementar en una fase temprana, desde el diseño en adelante y siempre con un enfoque Lean para obtener su máximo potencial.

#### 5.3.4. Prevenir pérdidas

A partir de lo estudiado en el presente trabajo y opiniones de especialistas en el desarrollo de obras hidráulicas extraídas del trabajo de título “Análisis de factores técnicos que inciden en la constructibilidad de centrales hidroeléctricas en Chile”[29], se observa que las obras hidráulicas están expuestas a una gran cantidad de actividades y prácticas que no generan valor para el proyecto. Se pueden presentar por problemas de diseño, gestiones deficientes, programaciones poco detalladas y mala elección del personal a cargo de los trabajos. Sin lugar a dudas estas actividades pueden ser optimizadas para reducir las pérdidas por mal uso de materiales, ineficiencia en los trabajos y planificación de estos. Se presentan algunas recomendaciones para prevenir deficiencias, teniendo en cuenta un enfoque Lean y herramientas como el BIM y Last Planner que son de gran ayuda para reducirlas.

##### A) Fase de diseños:

1. **Incluir especialistas de la construcción:** En el diseño se suelen proponer soluciones de alta complejidad desde del punto de vista constructivo. Incluir profesionales con experiencia en el área de construcción en esta etapa puede generar una retroalimentación del diseño para perfeccionarlo y ponderar de forma adecuada los posibles rendimientos, recursos y esfuerzos necesarios para llevar a cabo la solución. Tradicionalmente en el diseño se propone lo que se “Debe hacer” al incorporar profesionales experimentados en construcción también se aborda el “Como hacerlo”.
2. **Implementar el BIM:** En el proceso de diseño, BIM permite detectar interferencias entre las especialidades vinculadas al proyecto, generar cubicaciones rápidas y contextualizar el terreno. Actualmente el MOP está impulsando el uso de la herramienta en proyectos viales, pero en la práctica no hay un enfoque Lean, por lo tanto no se explota todo su potencial, siendo utilizado principalmente como un visor 3D.
3. **Estudios geológicos:** Fortalecerlos en cantidad y calidad, esto se debe ver como una inversión que permite reducir pérdidas y modificaciones durante la construcción, ya que estos determinan los métodos de trabajo, cantidad y tipo de recursos a utilizar. Son fundamentales para las excavaciones subterráneas en túnel de desvío, determinar la calidad de roca con su permeabilidad y posibles fracturas, encontrar grandes volúmenes de sobre tamaños y tener claridad respecto a la disponibilidad de yacimientos para reducir la incertidumbre del proyecto.
4. **Estudios hidrológicos:** Deben ser actualizados, teniendo en cuenta su relevancia para

la seguridad de los trabajadores, del entorno, cuidado de los avances frente a eventuales crecidas, además que se podría optimizar el diseño de las obras de desvío.

## B) Controles:

1. **Profesionales dedicados a detectar pérdidas:** La base de cualquier mejora es la medición, no se puede mejorar lo que no se controla. Siguiendo la filosofía Lean, incluir profesionales dedicados únicamente al control de pérdidas y búsqueda de fuentes de ineficiencia de manera proactiva, es una buena medida para implementar de forma adecuada el Last Planner System con un control semanal. Durante la construcción del embalse hay actividades como colocación de rellenos, excavaciones y transporte de materiales que son de larga duración, las cuales pueden ser mejoradas constantemente. Por lo general las labores de control las desarrolla el jefe de terreno o supervisores, no obstante, estos tienen muchos trabajos adicionales que no les permiten controlar adecuadamente todos los trabajos y llegar bien preparados a las reuniones semanales [30]. Por otra parte si se consideran los costos por pérdidas y no controlar adecuadamente, tener profesionales dedicados al 100 % en esta área resulta una buena inversión [23].
2. **Control de avances:** Llevar un control semanal de los avances, sin lugar a dudas, permite detectar de forma temprana las deficiencias y problemas que se están presentando en las actividades programadas. Se deben comparar los avances planificados con los reales para evaluar la eficiencia de la programación y ver el origen del no cumplimiento de esta misma.
3. **Cumplimiento de los proveedores:** Como se ha mencionado anteriormente, los proveedores son un pilar fundamental para el éxito del proyecto, debido a esto al momento de escogerlos se debe estudiar su experiencia, resultados en proyectos anteriores, solvencia económica y buscar la diversificación de estos. La forma de controlarlos es fijar hitos, donde se establecen metas y porcentajes de cumplimiento de acuerdo al cronograma de los trabajos, para analizar su capacidad de respuesta y evaluar su reemplazo en caso de ser necesario. Como medida adicional, se puede implementar un sistema de multas e incentivos de acuerdo con el cumplimiento de los hitos además de utilizar boletas de garantía que limiten el abandono temprano del proyecto por parte de los proveedores.
4. **Calidad:** Una de las fuentes de pérdidas detectadas es el rehacer trabajos, lo que se da debido a que estos no cumplen con los planos, especificaciones técnicas o procedimientos constructivos adecuados. Debido a esto, el llamado es a fortalecer los trabajos de calidad, no solo con un enfoque de control sino que también con un enfoque de mejoramiento continuo del producto que se está entregando, detectando errores pero también previniéndolos, mejorando así en términos de eficacia el uso de los recursos.

## C) Programación:

1. **Adquisiciones programadas:** Propio de la programación intermedia del LPS, se debe evaluar el flujo de las actividades, teniendo en cuenta la adquisición de materiales y transporte oportuno de estos a la zona de trabajo. Oportuno en sentido que el arribo demasiado temprano, se traduce en acopios improvisados en terreno, posibles daños de los materiales y obstrucciones del tránsito, mientras que el retraso de las adquisiciones implica tiempos de espera sin producción. Se debe tener una coordinación constante con los proveedores, considerando la programación y avances reales en terreno.

2. **Programación semanal:** Permite identificar las actividades que se pueden realizar en el corto plazo, en este caso, la recomendación es incluir en la programación al personal que se dedica a los trabajos en terreno, ya que estos conocen la realidad de los avances, las dificultades que se están presentando para el desarrollo de las actividades además de los recursos que faltan para trabajar de forma óptima y coordinada. También en esta programación se deben establecer las prioridades del proyecto, ya que son las actividades críticas las que se deben sacar adelante lo antes posible enfocando los recursos en estas. La planificación es crucial para movilizar de forma oportuna a las cuadrillas y equipos a la zona de trabajo, evitar tiempos ociosos en espera de instrucciones, espera de materiales, preparación de “Cancha” o el terreno para desarrollar cómodamente los trabajos y evitar problemas de coordinación entre los equipos. Algunas actividades que se pueden destacar son:

- Excavaciones abiertas:
  - a) Excavar el fondo de presa es la primera actividad que da inicio a los trabajos en el muro, por lo tanto se recomienda, priorizar el drenaje de la zona de trabajo para evitar paralizaciones por parte de la Inspección Fiscal.
  - b) Determinar claramente la zona de excavación y movilizar de forma temprana los equipos requeridos; generar un plan de acción en caso de encontrar materiales distintos a los planificados.
  - c) Detallar las zonas a excavar con sus taludes y material para sostenimiento de estos; disponer de material de sostenimiento en terreno para estabilizar los taludes de forma temprana, además se recomienda contar con un stock adicional de un 15 % en caso de encontrar terrenos más complejos o fallas en la instalación de los elementos de sostenimiento.
- Rellenos cuerpo de presa:
  - a) Verificar los accesos a la zona de presa y el terreno disponible para verter los rellenos, programar el abastecimiento de agua para la correcta compactación de acuerdo con los volúmenes planificados.
  - b) Coordinar los camiones a utilizar para el traslado de los rellenos a la presa con los rendimientos que pueden tener los equipos de compactación con el fin de no generar grandes esperas.
  - c) Programar sistemáticamente los ensayos de densidad en los rellenos para evitar problemas de calidad o perder el registro de estos.
  - d) Tener un programa del avance de los rellenos con taludes y caminos internos que faciliten el desplazamiento de equipos dentro de la presa.
- Pantalla de hormigón:
  - a) Controlar la temperatura y fenómenos climáticos que pueden dificultar el hormigonado; programar y gestionar el abastecimiento de agua para el curado de la pantalla durante los 14 días.
  - b) Disponer de materiales necesarios para llevar a cabo juntas de construcción no programadas.
  - c) Coordinar y monitorear de forma constante los camiones que trasladan el hormigón a la zona de trabajo.

- d) Identificar con al menos un día de anticipación las zonas a hormigonar y los volúmenes requeridos para la actividad.
  - e) Mantener comunicación constante con la empresa de hormigones identificando su capacidad de respuesta.
  - f) Programar la instalación de juntas y disponer en terreno del material necesario para ejecutarlas.
3. **Caminos:** Planificar los caminos internos en la obra, analizando posibles embotellamientos que afecten el rendimiento en el traslado de materiales, también se debe tener una visión a largo plazo de las vías ya que a medida que sube la cota de la presa, cambian las zonas de acceso a lugar de colocación de rellenos. Respecto a los caminos, se deben programar mantenciones preventivas de estos, coordinándolas con los horarios de menor actividad en el traslado de materiales y comunicando con anticipación a los equipos de trabajo sobre las mantenciones.
4. **Equipos:** Al momento de planificar los trabajos es necesario contemplar la mantención y ajustes en las maquinarias a utilizar, en el caso de los rodillos vibratorios para la compactación de rellenos, se debe monitorear su frecuencia de forma regular. Teniendo en cuenta que estos equipos sufren de desgastes en el desarrollo de los trabajos, por lo tanto hay que contar con un stock adicional para reemplazarlos en caso de falla o mantención, con el objetivo de garantizar la continuidad de las faenas.

#### D) Personal:

1. **Elección del contratista:** En el modelo D-B-B, dentro del proceso de licitación, se suele escoger al contratista que oferta la solución más económica. No obstante, puede ser positivo para el proyecto, darle mayor importancia a la experiencia del contratista en proyectos similares al adjudicado, lo que le permite una mayor preparación y capacidad de respuesta ante problemas, con soluciones oportunas e innovadoras. La capacidad de respuesta es crucial para el cumplimiento de los plazos ya que el no dar solución temprana a dificultades inesperadas, repercute en los plazos del proyecto.

Por otra parte un contratista experimentado puede planificar y designar los recursos a utilizar a partir de los trabajos realizados en el pasado. Además de contar con personal capacitado en proyectos similares lo cual facilita la detección temprana de pérdidas, establecer cuales son las labores prioritarias e identificar las restricciones de las actividades para darles soluciones tempranas y enfocar los recursos de forma precisa durante la puesta en marcha de los trabajos.

2. **Capacitación del personal de terreno:** Como se menciona anteriormente, la mano de obra es un recurso limitado, sobretodo la experimentada y capacitada en proyectos similares. Por lo tanto instruir al personal en trabajos que deberán desempeñar, explicando detalladamente las metodologías constructivas, manejo de materiales, procedimientos y protocolos de seguridad previo al inicio de los trabajos, resulta una buena inversión en el largo plazo. Esto implica pagar sueldos de trabajadores que no están en labores de producción, sin embargo, permite acelerar la curva de aprendizaje durante el desarrollo del proyecto, prevenir trabajos mal hechos, reducir la pérdida de material y eliminar tiempos sin productividad en espera de instrucciones.

3. **Incentivos al personal:** Generar incentivos económicos por el cumplimiento de metas, detección de pérdidas y fuentes de ineficiencias. Esto genera mayores rendimientos y motivación en el equipo de trabajo. La motivación es fundamental para alcanzar los rendimientos deseados, ya que la falta de incentivos puede generar ausentismo laboral, problemas en comunicación, malas relaciones laborales y bajos rendimientos de forma deliberada, lo cual va en desmedro del cronograma.

#### E) Condiciones de la zona:

1. **Condiciones climáticas:** Indudablemente en las obras civiles, las condiciones climáticas son un factor de riesgo que se debe tomar en cuenta para la planificación a largo plazo respecto a las condiciones del terreno, el diseño de las obras de desvío y también en el corto plazo durante la construcción para garantizar la seguridad y eficiencia de los trabajos. La recomendación es analizar las posibles precipitaciones que se pueden presentar durante la semana y generar mediciones diarias de los caudales aguas arriba de la zona de trabajo, teniendo como prioridad la seguridad de los trabajadores, equipos y avances. Ante estos eventos extraordinarios, se debe tener planes de contingencia como la protección de equipos en zonas seguras, evacuación de la zona de trabajo, evaluación de los taludes de excavación para prevenir derrumbes y disposición de equipos de bombeo para retomar rápidamente las actividades después del evento.

Por otra parte, se deben considerar las altas temperaturas que se pueden presentar en terreno, sobre todo en las faenas de hormigonado en las cuales el fraguado del material se acelera con temperaturas altas, dificultando su trabajabilidad y generando agrietamientos. Es necesario contemplar medidas para mantener al personal hidratado y protegido de la radiación solar.

2. **Relaciones con stakeholders:** Crear un departamento que se dedique únicamente a las relaciones con las comunidades, generando lazos de comunicación efectiva, haciéndolos parte del proyecto e incluyendo sus preocupaciones como consideraciones para el diseño del embalse. En estas relaciones resulta fundamental la transparencia con las comunidades para fomentar la confianza y colaboración mutua, con el objetivo de llegar a acuerdos, además de respaldar las propuestas de la construcción con fundamentos técnicos que no den lugar a dudas respecto a la zona inundada y el desarrollo de las actividades de construcción.

La experiencia en el Embalse La Tranca el año 2017 durante los estudios de ingeniería, indica que la relación con las comunidades es compleja, por lo tanto esta se debe fortalecer lo antes posible, no solo en la etapa de construcción sino que también durante el diseño y en todas las gestiones previas para retomar los estudios relacionados con el embalse.

#### 5.3.5. Estado actual y recomendaciones

El Embalse La Tranca pasó la fase de factibilidad, cumpliendo con todas las condiciones de avance establecidas por el Manual para Obras de Aprovechamiento Hidráulico [11] como: rentabilidad positiva, aprobación de factibilidad por Dirección Nacional de Obras Hidráulicas, recomendación del MIDEPLAN a la etapa de diseño, aprobación de la PAC (incluida en los informes de factibilidad), interés de los regantes formalizado por un 33 % de las acciones de agua, Junta de Vigilancia y comunidades de agua conformadas. De acuerdo con el Decreto

518, publicado el 21 de agosto del 2015 donde se autorizan los estudios de diseño e ingeniería básica para el embalse.

La empresa TYPESA se adjudicó los estudios de la ingeniería básica, esta debía realizar una serie de sondajes, calicatas, topografía de detalle y otras actividades asociadas a la etapa respectiva. No obstante, como ya se ha mencionado, miembros de la comunidad del Durazno se opusieron a los estudios, impidiendo el acceso a la zona del embalse al personal de la empresa. Lo anterior dio como resultado el término temprano del contrato de estudios de ingeniería por incumplimiento de plazos.

Esta situación ha dejado el proyecto paralizado y en un contexto de gran incertidumbre, mientras que a medida que avanzan los años los estudios realizados pierden validez. Previo a retomar los estudios de diseño se pueden proponer mejoras que compatibilicen el contexto actual de las comunidades con la ejecución del proyecto, el cual busca potenciar la agricultura en la zona y mitigar los efectos negativos de la sequía respecto al consumo domiciliario de agua. Entre estas medidas se puede contemplar:

- Fortalecer los estudios de Participación Ciudadana y transparencia, considerando que han pasado más de 12 años desde que se realizaron. Adicional a esto, al analizar las reuniones concretadas durante los estudios, se detecta que los invitados son principalmente autoridades y regantes, los cuales se verán beneficiados por el proyecto, por lo cual es difícil que expresen opiniones opuestas al embalse como las que expresó la comunidad del Durazno.
- Evaluar el tamaño propuesto por el estudio de factibilidad de 46 Hm<sup>3</sup>, ya que este se propone a partir de mayores beneficios netos, es decir un criterio principalmente económico que no pondera la percepción de los pobladores. La evidencia demuestra que deben ser considerados desde una etapa temprana del proyecto. Reducir la superficie de inundación puede generar una mejor percepción de las personas y seguir siendo beneficioso para la agricultura y abastecimiento de APRs.
- Potenciar los estudios arqueológicos, caracterizar los hallazgos, protegerlos y conservarlos debidamente. Se debe tener claro que estas actividades son propias de la fase de diseño y estudios de impacto ambiental, para llegar a esto se tiene que avanzar en el proyecto como tal.
- Buscar medidas de mitigación que permitan mejorar la percepción de la población respecto al proyecto como el bombeo de agua para APRs sobre el nivel del embalse y cursos de capacitación para los pequeños agricultores respecto a las tecnologías de riego e instrumentos de fomento que entrega el Estado, con el fin de que aprovechen de forma efectiva los beneficios del embalse, mejorando su capacidad técnica y productiva [6].

Teniendo en cuenta la urgencia de avanzar con los estudios de ingeniería, el presente trabajo especifica algunos permisos que deben ser considerados para los estudios de ingeniería, con el objetivo que si se retoman los contratos, dar prioridad a la obtención de estos de acuerdo con la ORD. N° 2200 del Director Nacional de Obras Hidráulicas [13], considerando que se deberán realizar trabajos en predios de privados además de movilizar flora y fauna para su conservación.

1. Plan de manejo forestal de bosque nativo, en zona de acceso al muro del embalse, presentar a CONAF.
2. Permiso investigación fauna acuática, presentar a SERNAPESCA.
3. Permiso de caza o captura de fauna, presentar al SAG.
4. Solicitud de permisos de ingreso a propiedades privadas localizadas en el sector.
5. Plan de trabajo de formaciones xerofíticas, presentar a CONAF.
6. Permiso para realizar excavaciones en sitios arqueológicos, solicitar al Consejo de Monumentos Nacionales.
7. Plan de manejo forestal de preservación, presentar a CONAF.

Cabe destacar que estos son los permisos que se requieren para iniciar los estudios en terreno, no se descarta que durante la investigación se requieran permisos adicionales.

### **5.3.6. Cambiar el volumen del embalse**

En los estudios de factibilidad presentados por MN Ingenieros el año 2011 se ha propuesto un embalse de 46 Hm<sup>3</sup> de capacidad, con una presa de 108 m de altura y una cota de coronamiento de 1.202 m.s.n.m. En el reporte de la consultora, se reitera que la decisión tomada respecto a la envergadura del embalse corresponde a una optimización de los beneficios netos. Lo anterior, no considera la variable técnica de la disponibilidad de yacimientos para construir una presa de estas características, ni cómo afecta la inundación de zonas arqueológicas a la percepción de los habitantes del Durazno y el conflicto de expropiar predios, uno de estos destinado a la agricultura que da trabajo temporal a los habitantes de la zona de acuerdo con lo que se presenta en entrevistas realizadas en la PAC [6].

Por otra parte, en el presente trabajo se ha propuesto un embalse de 25 Hm<sup>3</sup> con una presa de 81 m de altura y una cota de coronación de 1.183 m.s.n.m ya que al reducir la zona de inundación, las expropiaciones disminuyen y el predio destinado a la agricultura quedaría sobre la cota de coronamiento, por lo tanto no se vería afectado directamente. Además, reducir el volumen a embalsar, cambia drásticamente los rellenos requeridos para construir el cuerpo de presa. Esto considerando que con los estudios realizados hasta el día de hoy solo se han confirmado 900.000 m<sup>3</sup> para yacimientos con un volumen utilizable de 765.000 m<sup>3</sup>.

El tema de los yacimientos para la presa es bastante conflictivo ya que si estos no se pueden ubicar en las cercanías de la presa, se pierde una de las principales ventajas de las presas CFRD que es la disponibilidad del material fluvial a poca distancia y de bajo costo. Si bien en el informe de anteproyecto elaborado por MN Ingenieros, se propone como solución buscar yacimientos en la zona del Pedregal ubicada a 10 km de distancia y en caso de ser necesario explotar una cantera ubicada a 500 m de la presa para obtener la cantidad de material suficiente. Esto implica un gran uso de recursos para generar el material, con estimaciones bastante optimistas respecto a su disponibilidad y presencia de sobre tamaños.

Debido a la disponibilidad de yacimientos e inquietudes planteadas por las comunidades nace la recomendación de reducir el volumen a embalsar, considerando que el embalse de 25 Hm<sup>3</sup> también generará un aumento en las hectáreas con riego seguro de un 85 % (actualmente 800 ha) y podrá satisfacer la necesidad de abastecer a los sistemas de APRs, que requieren de 5,86 L/s para ser distribuidos entre 2.249 beneficiarios. En la tabla 5.2 se presentan las características de los embalses a partir de cálculos teóricos realizados en los estudios de

factibilidad. Estos consideran los volúmenes de relleno requeridos con un factor de seguridad de 1,5 por pérdidas de material e incertidumbre respecto a las condiciones reales del terreno y la geología del basamento rocoso.

Tabla 5.2: Comparación tamaños de embalse; Fuente: Elaboración propia, adaptada de estudios de factibilidad.

Tamaño embalse		46 [Hm3]	25 [Hm3]
Superficie de inundación	ha	145	95
Altura muro	m	108	81
Cota coronamiento	m.s.n.m	1.202	1.183
Volumen de rellenos	m3	2.799.786	1.441.533
Hectáreas de riego (85 %)	ha	4.772	3.615

La recomendación de estudiar un volumen de embalse de 25 Hm3 está acompañada de las siguientes consideraciones.

- Se han propuesto 2 sectores de explotación de yacimientos, El Durazno y Las Barrancas que están a una distancia media de 6km del eje de la presa que presentan buenas características para ser estudiados como potenciales yacimientos. Según estimaciones de la tabla 4.10 estos pueden contribuir con el volumen necesario para llevar a cabo el embalse. Se debe tener en cuenta que estos son sectores potenciales y que su disponibilidad real debe estudiarse en terreno mediante exploraciones geotécnicas en las siguientes etapas del proyecto.
- De acuerdo con la investigación "Revisión preliminar del registro arqueológico de El Durazno" [14] Elaborado por la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile, se han encontrado 28 puntos de interés arqueológico de los cuales 10 quedarían fuera de la zona de inundación con un embalse de 25 Hm3. Respecto a los otros 18 que están en la zona potencialmente afectada, se debe contar con arqueólogos durante los trabajos para proteger los vestigios y generar planes de contingencia frente nuevos hallazgos, de acuerdo con el Reglamento De Ley 17.288 sobre Monumentos Nacionales.
- Se reduce la cantidad de familias y predios expropiados.

### 5.3.7. Ampliar abastecimiento de APRs

Una de las características más relevantes del proyecto Embalse la Tranca es su enfoque multipropósito. En este sentido, el proyecto puede aportar al progreso agrícola en la comuna y tener un impacto social positivo respecto a la disponibilidad de agua potable para los beneficiarios seleccionados. Se debe tener en cuenta que los períodos de sequía pueden durar varios años, por lo tanto es un problema que afecta a los pobladores de zonas rurales y al gobierno comunal, ya que bajo estas circunstancias se requiere invertir recursos extras para el traslado de agua mediante camiones aljibe.

De acuerdo con los estudios de factibilidad y la información expuesta en la tabla 3.6, el proyecto pretende abastecer los sistemas APR de 10 localidades de forma gravitacional, lo que se traduce en 2.249 habitantes. No obstante, los criterios de exclusión definidos en los estudios dejan fuera a 11 localidades (destacadas en la tabla 3.6), lo que en la práctica son 1.274 pobladores de la comuna de Combarbalá, que debido a las condiciones de sus localidades no son contempladas para ser beneficiadas por el embalse.

Bajo este contexto y con intenciones de que el número de beneficiarios aumente, resulta interesante analizar los criterios de exclusión propuestos en los estudios de factibilidad para ver si existe la posibilidad de flexibilizarlos. De modo que se evalúe nuevamente la inclusión de localidades en la red de apoyo de abastecimiento a APRs durante fases más avanzadas del proyecto. También se debe considerar que el uso de camiones aljibe para distribución de agua potable no es sustentable y tiene altos costos para la comuna, esto puede ser un punto de comparación importante para evaluar una mayor inversión en la red de apoyo del embalse que permita beneficiar a más pobladores de la zona rural de la comuna.

Los criterios de exclusión fueron: i) Ubicación geográfica poco exacta; ii) Ubicación aguas arriba del embalse; iii) Cota muy alta; iv) Casas aisladas; v) Pertenecer a zona urbanizada; vi) Ubicarse aguas abajo del Embalse Cogotí. Considerando estas restricciones se recomienda lo siguiente:

- Perfeccionar las localizaciones de los poblados. En los estudios de factibilidad se descartan 2 poblados, El Duraznito y Cristo pobre, por no ser localizados, no obstante este trabajo se realizó mediante “información suministrada por la comuna, así como su búsqueda en Google Earth”, en este caso se recomienda identificar estas localidades en terreno para ver si efectivamente pueden ser beneficiadas.
- Evaluar el bombeo de agua desde el embalse para cotas superiores. Esta recomendación busca incluir a los sectores con cota muy alta respecto al trazado de la red de apoyo del embalse y los que se encuentran aguas arriba. Por lo general los sistemas de APR se abastecen mediante pozos profundos donde el agua es bombeada, por lo que es interesante estudiar la posibilidad de bombear el agua desde el embalse mismo. La medida podría beneficiar a las localidades de La Saucera, Rincón Chilcas, San Lorenzo y El Durazno. Abastecer al Durazno resulta en particular ventajoso para el proyecto ya que puede ser una medida de mitigación para los pobladores de este sector que hasta el momento tienen una impresión negativa del embalse, sin recibir ningún beneficio directo.
- La visión de esta red de apoyo debe ser en el largo plazo ya que a medida que se cumplan los objetivos del embalse mejorando la superficie y seguridad de riego, potencialmente puede aumentar la población en las zonas rurales debido a la mejora en el sector agrícola, estas van a requerir un mayor abastecimiento de agua potable. La invitación es tener una visión de futuro al momento de diseñar las redes de abastecimiento a APRs, pensando en una constante mejora de la calidad de vida de los pobladores de la comuna.

# Capítulo 6

## Conclusiones

### 6.1. Cumplimientos de objetivos

En el presente trabajo de título se planteó como eje principal el análisis del proyecto Embalse La Tranca, con énfasis en los estudios de factibilidad y sus condiciones actuales. A lo largo de esta investigación se ha logrado constatar la situación crítica que viven los habitantes de la provincia de Limarí, específicamente en la comuna de Combarbalá respecto a la disponibilidad de los recursos hídricos para consumo humano y su economía. Ante esta problemática, una solución que debe ser tomada en cuenta es el avance en los estudios del proyecto presentado.

Además en el estudio se profundizó el tema de las deficiencias en plazos y ejecución de presas tipo CFRD con miras a un eventual avance de las etapas del proyecto, abordando los principales procesos constructivos e identificando prácticas que pueden generar pérdidas de eficiencia y eficacia, con el objetivo de buscar una mejora constante del flujo de procesos constructivos bajo la filosofía Lean.

Respecto a los objetivos específicos planteados en la sección 1.2.2 se destacan los siguientes resultados:

- Los impactos en la zona de inundación, producto de la construcción del embalse contemplan el desplazamiento de fauna, cabe destacar que no existen animales en la zona que se encuentren en peligro de extinción. Las especies deben ser relocalizadas de acuerdo con los protocolos y fiscalización de CONAF, SAG y COREMA. Respecto a la flora, en la zona existe vegetación nativa la cual será eliminada, se debe compensar esto reforestando una superficie de vegetación igual a la eliminada (41,2 ha) en sectores definidos por CONAF.

De acuerdo con los impactos a las poblaciones de la zona aguas arriba, hay que considerar su descontento con el proyecto. Se debe respetar el profundo sentimiento de pertenencia que tiene esta población con la tierra que habitan y el patrimonio arqueológico presente en la zona, por este mismo motivo, es fundamental hacerlos parte del proyecto incluyendo sus inquietudes en las próximas fases de estudios. Si bien el emplazamiento seleccionado tiene condiciones ideales para la construcción de una presa CFRD, esto es a nivel de factibilidad y eventualmente se pueden encontrar otras zonas que optimicen el proyecto y compatibilicen su factibilidad técnica con el descontento de la comunidad

del Durazno. No obstante, para esto se debe continuar con los estudios de ingeniería e Impacto Ambiental.

- Respecto al apoyo de sistemas de APR, resulta prioritario contar con este servicio por parte del embalse para los pobladores, teniendo en cuenta el contexto que se vive en la zona y se debe buscar maximizar el beneficio, probablemente evaluando y flexibilizando los criterios de exclusión que se han presentado en el punto 3.6.1 del presente reporte que corresponden a criterios utilizados en el estudio de factibilidad. Lo anterior, con el objetivo de ampliar el número de beneficiarios para fortalecer el enfoque multipropósito del embalse y lograr una mayor cantidad de sistemas de APR beneficiados, maximizando el beneficio social y atacando la problemática del agua para consumo humano en la zona. Sin embargo, no se logró analizar la factibilidad técnica de flexibilizar estos criterios de exclusión.
- La metodología constructiva se ha abordado de forma adecuada con las principales partidas consideradas para la construcción de la presa tipo CFRD. Para la elaboración de esta se tuvieron en cuenta experiencias a nivel nacional como las del Embalse Puclaro, Santa Juana, Valle Hermoso, el Bato y varias presas desarrolladas en Sudamérica, además de estudiar los boletines informativos del ICOLD que recopilan las experiencias a nivel mundial de construcciones de presas, con consejos para optimizar el diseño y construcción de estas.
- Se planteó estudiar cambios en la presa propuesta en factibilidad, debido a la disponibilidad de los yacimientos. Si bien, se propone reducir el tamaño del embalse recomendado por MN Ingenieros de 46 Hm<sup>3</sup> a 25 Hm<sup>3</sup>, el volumen de materiales planteado se sustenta en sitios de explotación posibles (El Durazno y Las Barrancas), que deben ser estudiados. También se podrían haber estudiado nuevos sitios para emplazar el embalse, no obstante por falta de información técnica no se profundizó en esto. Finalmente este objetivo se cumple de forma parcial.
- Se identificaron las fuentes de pérdidas e ineficiencia en los procesos de diseño y construcción de este tipo de proyectos, además de generar recomendaciones para evitarlas. A grandes rasgos se propone implementar la filosofía Lean de forma transversal en los procesos constructivos, flujos de actividades y controles en etapas tempranas del proyecto. Complementándolas con el uso de herramientas como el BIM y Last Planner System para generar una optimización de los procesos.
- Finalmente, en el desarrollo de la investigación se analizaron en profundidad los diversos tomos que componen el informe de factibilidad entregado el 2011, incluyendo planos de ante proyecto, entrevistas con pobladores, cubicaciones y algunos desafíos encontrados con sus posibles soluciones. Uno de los puntos importantes que faltó ponderar con mayor importancia en los informes de la consultora, es la reacción de las comunidades frente al proyecto. La relación con las comunidades se debió fortalecer desde un principio, tal como se hizo con los regantes. Además de confirmar un mayor volumen de rellenos disponibles para satisfacer los volúmenes requeridos por la presa propuesta. Estas 2 áreas se deben potenciar y darles solución rápidamente en caso de retomar los estudios para la construcción del embalse.

## 6.2. Comentarios finales

A estas alturas, resulta innegable la condición que se vive en la provincia de Limarí con respecto a la sequía que ha afectado la calidad de vida de los pobladores las últimas décadas. Debido a lo anterior, se observa como una buena alternativa la construcción de este proyecto hídrico que permite regularizar y optimizar el uso del recurso, dando mayor sustentabilidad a la zona. Donde se tiene que destacar el enfoque multipropósito del embalse que apoya a los sistemas de agua potable rural, lo que cambiaría radicalmente la calidad de vida de los pobladores beneficiados, logrando un mejor suministro de agua para consumo humano. El acceso a agua potable resulta cotidiano para los que viven en sectores urbanizados del país y bastante limitado para los que viven en este tipo de zonas rurales afectadas por la escasez hídrica.

El objetivo de este proyecto es mejorar la capacidad de riego en la zona para la agricultura, mejorando sus condiciones productivas y económicas, además de generar un bienestar social creando más empleos y apoyando las redes de APR deficitarias. Hay que considerar que la construcción de un embalse tiene retornos en el largo plazo, en los cuales se debe tener en cuenta un profundo sentido social, buscando el progreso y desarrollo sustentable en la comuna de Combarbalá.

Bajo este mismo contexto, se considera que los reclamos de los pobladores del Durazno son legítimos, ya que el proyecto busca beneficiar a los pobladores de forma directa e indirecta. Si bien las paralizaciones debido a estos reclamos, han retrasado el cronograma del proyecto, deben ser escuchados y vistos como una oportunidad para seguir optimizando el embalse, teniendo en cuenta la opinión de todos los agentes involucrados.

El proyecto Embalse La Tranca se considera factible, no obstante está lejos de ser perfecto, ya que se deben analizar nuevas soluciones que logren compatibilizar la necesidad de optimizar los recursos hídricos en una comuna empobrecida por la escasez de agua con las demandas de los pobladores. Por esto mismo resulta de suma urgencia seguir adelante con las siguientes fases de estudios, dado que a partir de estos se pueden plantear mejoras e identificar con mayor claridad las posibles restricciones dentro del punto de vista ambiental y de participación ciudadana.

Finalmente, en el desarrollo del presente trabajo se han detectado una serie de deficiencias que afectan el cronograma del proyecto, no solo en la etapa constructiva sino que también producto de la etapa de diseño y licitación. Esta situación no debe verse como algo negativo para las autoridades y profesionales de la construcción e ingeniería, debe verse como una excelente oportunidad para cambiar el enfoque y mejorar los procesos de construcción y gestión de las obras hidráulicas, ya que hay un amplio terreno para perfeccionar continuamente el desarrollo de embalses a nivel nacional. También es una oportunidad para aplicar metodologías y herramientas del Lean con el objetivo de reducir pérdidas y dejar precedentes con miras a optimizar la implementación de nuevos proyectos similares en Chile, aprovechando al máximo el uso de recursos con buenas gestiones y fortaleciendo la planificación.

# Capítulo 7

## Bibliografía

- [1] <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=835>
- [2] MN Ingenieros LTDA.(2011).“Estudio Factibilidad construcción Embalse la Tranca en río Cogotí TOMO II,Estudios de ingeniería"
- [3] MN Ingenieros LTDA.(2011).“Estudio Factibilidad construcción Embalse la Tranca en río Cogotí TOMO III,Estudios Agronómicos"
- [4] Ministerio de Obras Públicas. (2021).“Decreto 125, Declaración de zona de escasez a la región de Coquimbo"
- [5] <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>
- [6] MN Ingenieros LTDA.(2011).“Estudio Factibilidad construcción embalse la Tranca en río Cogotí TOMO V, Informe ambiental y participación ciudadana"
- [7] MN Ingenieros LTDA.(2011).“Estudio Factibilidad construcción embalse la Tranca en río Cogotí TOMO I, Resumen ejecutivo"
- [8] Manuel E. Espinosa. (2010). “Ingeniería de Presas de Escollera"
- [9] Buerau of reclamation(2007).“Diseño de pequeñas presas"
- [10] Humberto Grandarillas A.(2010) “Enfoque de diseño de presas de enrocado con membrana impermeable"
- [11]“Manual para Obras de Aprovechamiento Hidráulico” (2010)
- [12] <https://www.cnr.gob.cl/quienes-somos/>
- [13] ORD. N° 2200 del Director Nacional de Obras Hidráulicas en abril del 2017
- [14] Revisión preliminar del registro arqueológico de El Durazno: Cogotí; Facultad Ciencias Sociales Universidad de Chile.

[15] <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda/informacion-historica>

[16] Marulanda, A., Pinto, N. L. de S., “Recent Experience on Design, Construction, and Performance of CFRD Dams”, J. Barry Cooke Volume, Concrete Face Rockfill Dams, ICOLD, 20th Congress, Beijing, China, September, 2000.

[17] ICOLD. (2004)“Concrete Face Rockfill Dams Concepts Dor Design and constraction”

[18] B. Lombardi y D. Deere (1993)“Grouting Design and Control Using the Gin Principle”

[19] Rafael E. Guevara Briceño, Conferencia 50 aniversario S.V.G ; “Estado de la práctica”

[20] Rafael Basso. Lombardi “Diseño de CFRD en condiciones sísmicas severas”

[21] DGA, (2020),“Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Limarí”

[22] Luis Alarcón, (2021); “Proyectos de infraestructura pública: ¿Cómo evitar sobre costos y atrasos? ”

[23] Mauricio Vilches (2021); “Estudio de pérdidas en procesos de construcción de obras hidráulicas mayores.”

[24] Daniel Carvajal (2020): “Análisis y evaluación de modelos de contrato con enfoque lean en proyectos complejos de obras públicas.”

[25] Luis Alarcón (2018) : “BIM y Lean: ¿Por qué es un matrimonio necesario y conveniente en la construcción?”

[26] <https://www.autodesk.com/solutions/bim/hub/2016-entry-364>; “Designing and building tomorrow’s infrastructure”

[27] Ana Morales (2017): “ Estudio de la viabilidad en la implementación del last planner system en proyectos que adoptan la herramienta por primera vez. ”

[28] Herrenan Porras Díaz (2014); “Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual ”

[29] Alejandro Campdesuñer (2019) “ Análisis de factores técnicos que inciden en la constructibilidad de centrales hidroeléctricas en Chile”

[30] Felipe Valenzuela (2018); “Análisis y definición de estrategias ´para la implementación de las herramientas del lean constraction en Chile”