



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

ANÁLISIS DE LOS FACTORES TÉCNICOS QUE INCIDEN EN LA
CONSTRUCTABILIDAD DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

ALEJANDRO TIO CAMPDESUÑER

PROFESOR GUÍA:
ADOLFO OCHOA LLANGATO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JORGE PULGAR ALLENDES
MIGUEL A. JARAMILLO BOPP

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: ALEJANDRO TIO CAMPDESUÑER
FECHA: 2019
PROF. GUÍA: ADOLFO OCHOA LLANGATO

ANÁLISIS DE LOS FACTORES TÉCNICOS QUE INCIDEN EN LA CONSTRUCTABILIDAD DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN CHILE

Dado el potencial hidráulico que posee el país para generar energía mediante Centrales Hidroeléctricas, y que algunos de éstos proyectos se han visto afectados en los últimos años por problemas técnicos, el presente trabajo pretende contribuir con un estudio que ha permitido definir los factores técnicos relevantes que inciden en la materialización de dichas obras, considerando, además, que de acuerdo con la política pública definida por el Estado, el sistema de abastecimiento eléctrico requerirá del desarrollo de este tipo de fuente de energía en el futuro; para lo cual, entre otros aspectos, los proyectos deberán superar las dificultades técnicas que los han afectado.

El objetivo del presente trabajo se encuentra enmarcado en el concepto de Constructabilidad, que: *“es la integración óptima del conocimiento y experiencia en construcción, en la planificación, diseño, logística y operaciones de obra para alcanzar todos los objetivos del proyecto”* (CII, 1986).

A partir del análisis bibliográfico y entrevistas a profesionales expertos se buscó una descripción con respaldo cualitativo y cuantitativo de procesos que deben ser tratados con especial cuidado en el desarrollo de los proyectos hidroeléctricos. De este modo se espera que los resultados sean una base que permita emitir recomendaciones para estandarizar y mejorar la eficiencia en la ejecución o materialización de los proyectos hidroeléctricos en Chile.

Los factores relevantes obtenidos del estudio, se agruparon en las diferentes etapas que componen el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico. Así, se tiene que en la primera etapa, correspondiente a Estudios Técnicos, los más destacados fueron: estudios hidrológicos, que permiten obtener predicciones de crecidas y condiciones climáticas; estudios topográficos y geológicos-geotécnicos, que condicionan las metodologías constructivas. Para la siguiente etapa, correspondiente a Estudios Ambientales, el resultado del presente estudio indicó que el foco está en el relacionamiento comunitario. La fase de Diseño destacó por la completitud de la ingeniería de detalle, especificaciones técnicas de construcción y compatibilización de especialidades así como la presentación de un proyecto con ingeniería básica terminada para la obtención de la Resolución de Calificación Ambiental. En la etapa de Construcción resultó crítico el proceso de revisión de la ingeniería proveniente de la etapa de diseño y la identificación, control y seguimiento de riesgos, para prever desafíos, y detectar oportunidades de optimización de las obras o dificultades de materialización que deban ser enfrentadas mediante el rediseño de las mismas.

*A uno de mis pilares de inspiración,
quien aplanó el camino y empujó con fuerza.*

A mi madre Leila Campdesuñer Sarquiz.

*A mi otro pilar,
quien me acompañó desde los primeros soles y forjó mi carácter,
pero viajó a otra dimensión antes de completar esta meta.*

A la memoria de mi abuela Magali Sarquiz Tito.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre por su apoyo incondicional en este proceso, ayudándome a alcanzar mis metas. Sin su contención, motivación y su guía como la gran profesional que es, no hubiese podido lograr este sueño. A Alejandro, que siempre estuvo cuando fue necesario.

Agradezco a mi profesor guía, Adolfo Ochoa Llangato. Este trabajo surgió desde mi participación en sus cátedras, y desde ese momento nunca dejó de apoyarme, mostrar preocupación y transmitir enseñanzas que a lo largo del período me enriquecieron como persona y futuro profesional. Al profesor Jorge Pulgar, siempre con disposición a colaborar y plantear discusiones que permitieron considerar diferentes puntos de vista. Agradezco además, a Don Miguel Angel Jaramillo, por aceptar formar parte de la comisión y colaborar en gran medida a la investigación.

Agradezco a mis amigos del querido “*Team πηρα*”: Ángela, Constanza, Gonzalo, Luis, Matías, en especial a Katherine quien estuvo conmigo desde que emprendimos este viaje y a David que también sumamos muchas horas de trabajo y amistad. Sin dudas juntos aprendimos mucho y el apoyo nos contuvo en infinitas ocasiones.

A los que conformaron el glorioso equipo de Taekwondo, con el cual formamos lazos para toda la vida y formaron parte de una hermosa etapa. En particular a Bruno y Umberto, quienes hoy forman parte de mis mejores amigos. Mención especial a Bruno quien contribuyó en la edición de la presente investigación.

A mi selección de Judo, en la cual tuve la oportunidad de conocer personas maravillosas, como mi sensei Carlos Gonzáles Quiroga (QEPD), siempre transmitiendo su energía positiva y la paz para poder enfrentar mis desafíos de mejor manera. A su familia, por brindarme amistad, apoyo y continuar con la labor de mantener nuestro equipo bajo los mismos valores.

A Paula, quien participó en todo el proceso del Trabajo de Título y me apoyó incondicionalmente.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Generación	2
1.2. Costos	3
1.3. Proyección de Demanda	4
1.4. Proyección	5
1.5. Importancia	5
1.6. Objetivos	8
1.6.1. General	8
1.6.2. Específicos	8
1.7. Metodología	8
2. Marco Conceptual	10
2.1. Descripción de una Central Hidroeléctrica	11
2.1.1. Central Hidroeléctrica de pasada	11
2.1.2. Central Hidroeléctrica de embalse	12
2.2. Estudios Previos al Diseño	13
2.2.1. Estudios Preliminares	13
2.2.2. Estudios Finales	14
2.3. Consideraciones generales en el Diseño	20
2.3.1. Centrales de embalse	22
2.3.2. Centrales de pasada	22
2.4. Etapa de construcción	22
2.5. Resumen del Capítulo	23
3. Identificación de Factores Técnicos desde el análisis bibliográfico	24
3.1. Estudios Previos	24
3.2. Diseño	25
3.3. Estudio de Impacto Ambiental, RCA	25
3.4. Construcción	25
4. Entrevista a Profesionales Especializados	27
4.1. Estudios Técnicos Previos al Diseño	28
4.1.1. Hidrológicos y Ambientales	29
4.1.2. Estudio Geológico-Geotécnico	30
4.1.3. Incertidumbre	31
4.1.4. Costos	33

4.2.	Estudio de Impacto Ambiental, Comunidades	34
4.2.1.	Incidencia de la comunidad en plazos y costos.	35
4.3.	Diseño	36
4.3.1.	Ingeniería de Compatibilidad	37
4.4.	Construcción	39
4.4.1.	Impacto del proyecto en los Recursos Naturales Renovables (Suelo, Agua, Biotas) y Zonas Arqueológicas.	39
4.5.	Riesgos en la Etapa de Construcción	41
4.5.1.	Reclamaciones (Claims)	43
4.6.	Factor Humano	45
4.7.	Resumen del Capítulo	46
5.	Factores Técnicos obtenidos de entrevista a profesionales expertos	47
6.	Literatura vs Realidad	51
6.1.	Estudios Previos	52
6.1.1.	Hidrológicos y Climáticos	52
6.1.2.	Topográficos y Geológicos-Geotécnicos	53
6.2.	Diseño	54
6.3.	Estudio de Impacto Ambiental	55
6.4.	Construcción	56
7.	Comentarios y Conclusiones	57
7.1.	Definir los estudios previos relevantes para etapas de diseño y construcción.	57
7.2.	Identificar los factores técnicos implicados en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de diferentes tecnologías.	58
7.2.1.	Diseño	58
7.2.2.	Estudio de Impacto Ambiental	59
7.2.3.	Construcción	59
7.3.	Resumen de Factores	60
7.4.	Recomendaciones	61
7.5.	Estudios Geológicos-Geotécnicos	61
7.6.	Diseño	63
7.7.	Inclusión de las Comunidades	64
7.8.	Construcción	64
7.9.	Alcance del Estudio	65
	Bibliografía	65
	Anexos	67
	A. Modelo de Cuestionario Abierto	68
	B. Modelo de Cuestionario Semi Estructurado	69
	C. Profesionales Participantes	73
	D. Recomendaciones para la investigación geotécnica de proyectos hidroeléct-	

Índice de Tablas

1.1. Categorías de Investigación	9
3.1. Resumen de Factores Técnicos obtenidos del Análisis Bibliográfico.	26
5.1. Resumen de Factores Técnicos obtenidos de entrevistas a expertos.	50
7.1. Resumen de Factores Técnicos obtenidos del Análisis Bibliográfico.	60
7.2. Resumen de Factores Técnicos obtenidos de entrevistas a expertos.	60

Índice de Figuras

1.1.	Capacidad Instalada Septiembre 2018. Fuente: Coordinador Eléctrico Nacional	1
1.2.	Generación bruta total por fuente, últimos 13 meses	2
1.3.	Costo marginal promedio mensual del SEN, últimos 13 meses, Fuente: Boletín del Mercado Eléctrico Sector Generación, Octubre 2018	3
1.4.	Evolución del Costo Marginal en la barra Quillota 220 kV y Crucero 220 kV, Fuente: Boletín del Mercado Eléctrico Sector Generación, Octubre 2018	3
1.5.	Demanda estimada para el país al año 2050 en diferentes escenarios de crecimiento, Fuente: Política Energética de Chile, Energía 2050.	4
1.6.	Generación estimada para el país al año 2050 en diferentes escenarios de crecimiento, Fuente: Política Energética de Chile, Energía 2050.	4
2.1.	Esquema general de una Central de Pasada (Asociación Española de la Industria Eléctrica, UNESA).	11
2.2.	Esquema general de una Central de embalse al pie (Asociación Española de la Industria Eléctrica, UNESA).	12
4.1.	Esquema de Orientadores, Estudios Técnicos. Fuente: Elaboración propia en base levantamiento de datos de cuestionarios.	28
4.2.	Incidencia de la incertidumbre asumida en los Estudios Técnicos respecto a Plazos	31
4.3.	Incertidumbre (%) aceptable luego de estudios Geológicos-Geotécnicos según expertos.	32
4.4.	Contraste de incertidumbre asumida según tipo de obras.	32
4.5.	Costos aproximados de Estudios Técnicos respecto al costo total del proyecto. Fuente: Elaboración propia en base levantamiento de datos de cuestionarios.	33
4.6.	Consenso de profesionales sobre etapas idóneas para realizar procesos de compatibilidad entre especialidades.	38
4.7.	Consenso de profesionales sobre etapas idóneas para identificación de riesgos.	42
7.1.	Sobrecostos de proyectos hidroeléctricos subterráneos.(M. Jaramillo, 2016, p.08).	62

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad Chile se encuentra ante desafíos energéticos orientado a la sustentabilidad. Las centrales termoeléctricas a carbón son parte de una era pasada y la tendencia son las fuentes de Energía Renovables No Convencionales, ERNC de aquí en adelante. Es posible describir las ERNC como aquellas que permiten la generación eléctrica sin agotar la fuente energética en el proceso. Dichas fuentes son la hidráulica, solar, eólica, mareomotriz y geotérmica.

Al mes de septiembre de 2018 la capacidad instalada de generación en Chile equivalía a 24.095,9 MW de potencia, la cual corresponde a un 53,2% con origen térmico, 28,1% origen hídrico, 6,7% origen eólico, 10,0% de origen solar y 1,8% biomasa y cogeneración. Por otro lado, la demanda máxima total fue de 9.797 MW, con un mínimo de 6.954 MW. En consecuencia hoy existen 6.770 MW de potencia hidroeléctrica instalada.

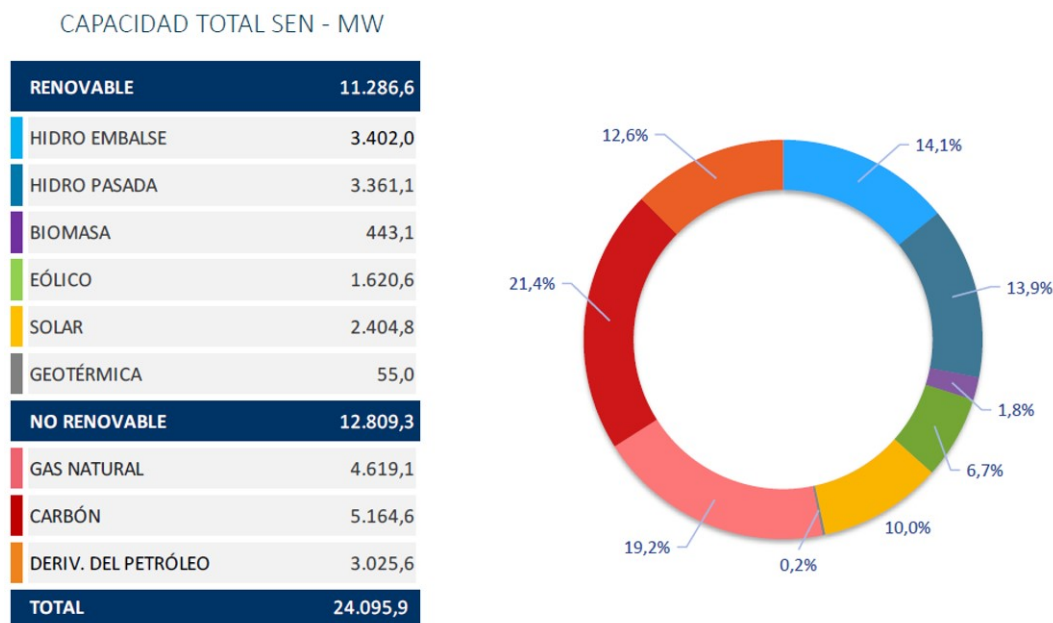


Figura 1.1: Capacidad Instalada Septiembre 2018. Fuente: Coordinador Eléctrico Nacional

La participación de las fuentes eólicas y solar va en aumento con los años; pero dado que son fuentes intermitentes, se necesita de la hidroelectricidad para dar seguridad al abastecimiento eléctrico continuo.

El potencial hidroeléctrico actualmente en Chile alcanza a 12.472MW de potencia¹; por lo cual se espera que haya un desarrollo de este tipo de proyectos; pero enmarcado en la sustentabilidad, lo que representa un desafío para la industria.

1.1. Generación

Respecto a la energía generada, el crecimiento entre el mes de julio de 2016 y julio de 2017 fue del 1,3 %, el aumento entre esa fecha de 2017 y septiembre de 2018 corresponde a 2,6 %; siendo un 46,8 % proveniente de energía renovable (ER). En particular el aporte de las hidroeléctricas fue del 28,0 % y el de centrales a carbón y derivados del petróleo un 34,0 %.².

Generación bruta SEN [GWh]				
Fuente	Acumulado 2018	sept-18	Δ% mes	
			ago-18	sept-17
Renovable	22.868	2.493	↑ 5,5%	↑ 3,8%
Hídrico	15.177	1.552	↑ 2,5%	↑ 0,3%
Biomasa	1.438	118	↓ -9,4%	↓ -29,9%
Eólico	2.728	374	↑ 11,0%	↑ 14,4%
Solar	3.372	429	↑ 19,9%	↑ 21,1%
Geotérmica	152	21	↓ -10,6%	--
Térmica	34.413	3.497	↓ -16,0%	↓ -2,6%
Total	57.281	5.990	↓ -7,7%	↓ 0,0%

En septiembre, en el SEN, la generación provino en un 41,6% de fuentes renovables. La hidroelectricidad aportó con el 25,9% de la generación total.

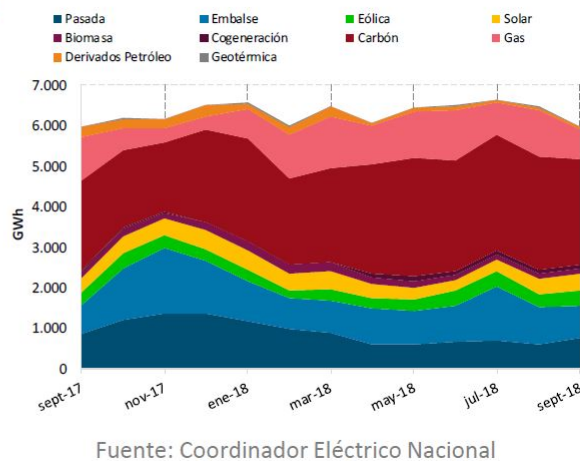


Figura 1.2: Generación bruta total por fuente, últimos 13 meses

¹El Potencial Eólico, Solar e Hidroeléctrico de Arica a Chiloé [7]

²GENERADORAS DE CHILE. Octubre 2017 y 2018. Boletín del mercado eléctrico Sector Generación. Chile.

1.2. Costos

Respecto al costo, el promedio ponderado por energía generada de costo marginal a nivel nacional fue de 54,5 US\$/MWh a la fecha (septiembre 2018), observándose un aumento del 11,3% respecto al mes de septiembre de 2017 y una baja de -9,3% respecto a agosto de 2018¹. Como pudo interpretarse de ambos Gráficos (Figuras 1.3 y 1.4) es evidente la baja en el precio de venta de energía.

El costo marginal corresponde al costo variable de la unidad más cara de generación operando en una hora determinada. En este caso se utilizó como referencia la barra³ Quillota 200 kV y la barra Crucero 200 kV por ser los centros de carga más importantes del SEN. El valor entregado para cada barra corresponde al promedio mensual de los costos marginales horarios.¹

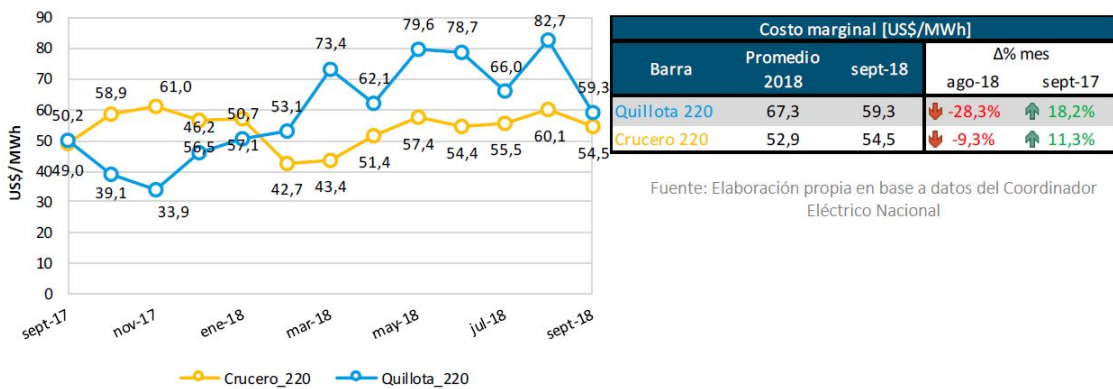


Figura 1.3: Costo marginal promedio mensual del SEN, últimos 13 meses, Fuente: Boletín del Mercado Eléctrico Sector Generación, Octubre 2018

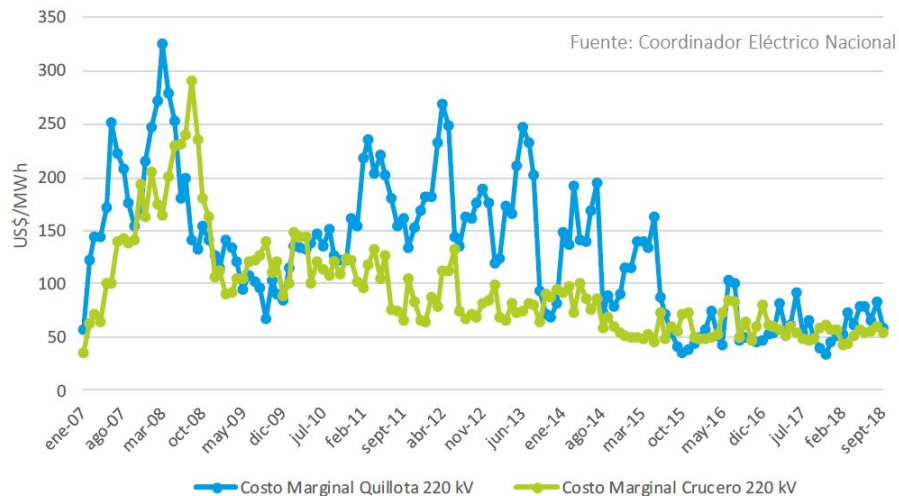


Figura 1.4: Evolución del Costo Marginal en la barra Quillota 220 kV y Crucero 220 kV, Fuente: Boletín del Mercado Eléctrico Sector Generación, Octubre 2018

³Barra Principal: Convergencia de líneas de transmisión, alimentación a bancos de autotransformadores y transformadores de poder, permitiendo el traspaso de flujos de potencias entre las líneas.

1.3. Proyección de Demanda

Por otro lado, la demanda estimada para el país al año 2050 tendrá un máximo de 200.000GWh⁴, lo que permitió prever que se duplica la generación mediante sistema hidráulico.

La demanda prevista al término del año 2017, solo para el Sistema Interconectado Central, fue de 69.456GWh⁵, lo cual mostró que el crecimiento previsto contó con pendiente positiva, teniendo en promedio un aumento histórico de 4,8% (Fuente: análisis de consumo eléctrico en el corto, mediano y largo plazo. Mercado energético consultores).

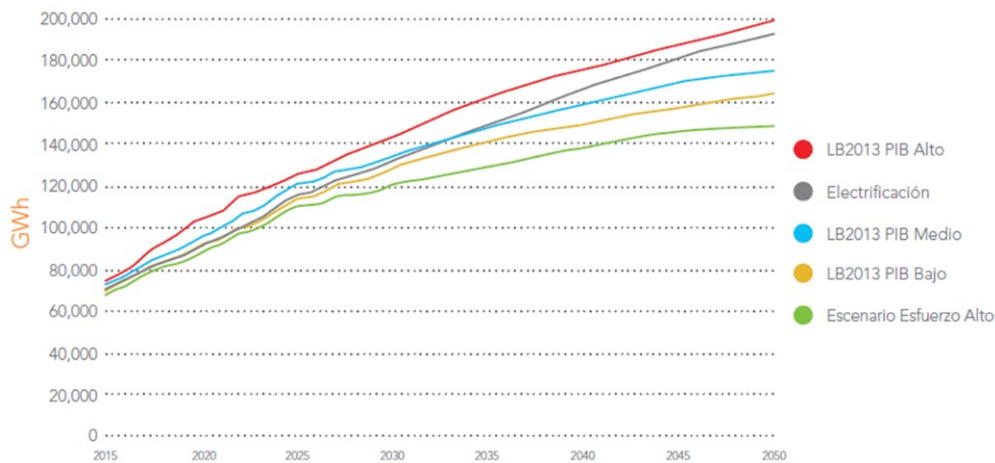


Figura 1.5: Demanda estimada para el país al año 2050 en diferentes escenarios de crecimiento, Fuente: Política Energética de Chile, Energía 2050.

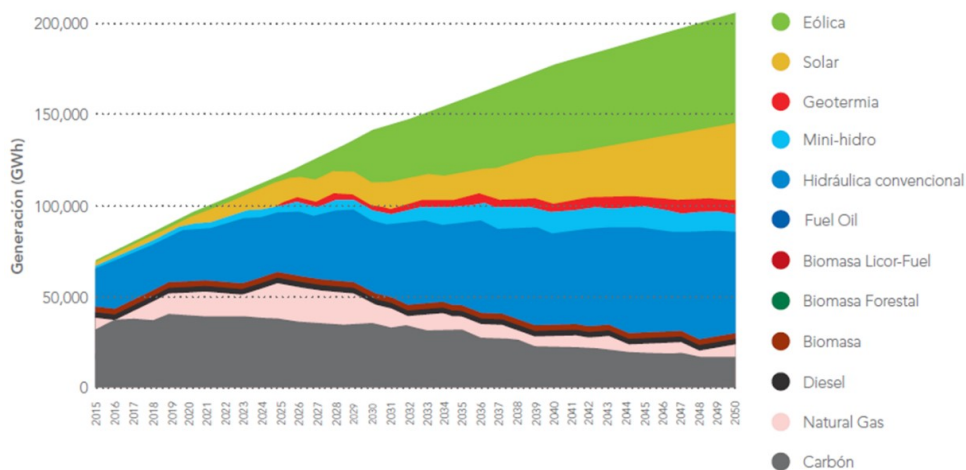


Figura 1.6: Generación estimada para el país al año 2050 en diferentes escenarios de crecimiento, Fuente: Política Energética de Chile, Energía 2050.

⁴MERCADO ENERGÉTICO CONSULTORES. Diciembre 2014. Análisis de consumo eléctrico en el corto, mediano y largo plazo, informe final-resumen ejecutivo. Preparado para Comisión Nacional de Energía. Chile.

⁵Dirección de Planificación y Desarrollo. Centro de Despacho Económico de Carga Sistema Interconectado Central (CDEC SIC). Estudio de Previsión de Demanda 2015-2035 (2050). Noviembre 2015.

1.4. Proyección

Según el proyecto ENERGÍA2050, el cual plantea las bases para la política energética en el país con vista al año 2050, plantea como meta N°6, que al 2035 al menos el 60% de la generación eléctrica nacional provenga de energías renovables, aumentando a 70% en 2050. Además, ello se encuentra alineado con el tercer pilar estratégico, nombrado: Energía Compatible con el Medio Ambiente.

Don Javier Bustos, Jefe de División Prospectiva y Política Energética del Ministerio de Energía, planteó los desafíos para Chile respecto a las ERNC en su presentación el 6 de mayo de 2016. Las metas impuestas para alcanzar el cumplimiento de los desafíos se respaldan en las siguientes Leyes:

- Ley Corta 1: Ley N°19.940, marzo 2004. Se hace mención a las fuentes no convencionales en el Artículo 71-7. - Ley 20.257, abril 2008. Expone que entre los años 2010 y 2014 deberá existir un 5% de energía proveniente de ERNC, incrementándose en un 0.5% anual a partir del 2015, alcanzándose el 10% para el año 2024.

- Ley 20.698, octubre de 2013. Mantiene el 10% para el año 2024 para los contratos celebrados con posterioridad al 31 de agosto de 2007 y anterior al 1 de julio de 2013. Se incorpora además otra escala que modifica el 10% a alcanzar en 2024 por un 20% al año 2025 para los contratos firmados con posterioridad al 1 de julio de 2013.

Al año 2016 ya se superaba el 10,0% propuesto para el 2024, siendo de 11,0% el aporte de las ERNC. La oferta proyectada al 2025 por las ERNC debe superar los 8.000GWh, siendo al 2016 de 6.000GWh. En la misma fecha, según informe de la Comisión Nacional de Energía (CNE, feb 2016) indicó que la generación eléctrica proveniente de energía hidráulica (de Embalse y Pasada) alcanzó el 34% del aporte total de ERNC.

Finalmente, en el documento “El Potencial Eólico, Solar e Hidroeléctrico de Arica a Chiloé” producido en conjunto por el Ministerio de Energía y el Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el año 2014, indicó que el potencial energético para centrales hidroeléctricas corresponde a 12.472MW. Dicha cifra representa el 51,7% de la capacidad total actual del país.

1.5. Importancia

Expuesto lo anterior se puede apreciar la importancia de la energía generada mediante Centrales Hidroeléctricas. Al mes de septiembre de 2018 se encuentran en construcción 1.782 MW (29 centrales) de los cuales el 45,9% corresponde a proyectos de centrales hidroeléctricas de tamaños mayores a 20MW, lo cual equivale a 817,94MW y deberían estar haber estado operativos entre 2018-2019, no obstante, dicha fecha de operación debió ser corregida al período 2020-2022 puesto que varios de los proyectos relevantes presentan problemas en su materialización y sufren atrasos, provocando una reducción significativa (aproximadamente el 80,0%) de potencia instalada prevista para la primera fecha.

Para entender a qué está avocada la investigación es necesario conocer el concepto de Constructabilidad: “*es la integración óptima del conocimiento y experiencia en construcción en la planificación, diseño, logística y operaciones de obra para alcanzar todos los objetivos del proyecto*” (CII, 1986)

Es entonces que los aspectos que justifican el presente Trabajo de Titulación son los siguientes:

1. El cambio que ha tenido la matriz de generación, con la incorporación de las ERNC desde hace varios años.
2. La exclusión de la termoelectricidad, fuente que, a su vez, actualmente tiene una presencia importante en la matriz de generación, con un aporte del 34,0% (Centrales a carbón y derivados del petróleo).
3. La fuerte incorporación de las fuentes eólicas y solares, y su incidencia en el bajo precio de suministro de energía, lo cual implica la presencia de un fuerte competidor que obliga a la hidroelectricidad a optimizar y mejorar el desarrollo y ejecución de los proyectos.
4. El desafío que representa lo anterior para los proyectos hidroeléctricos, los que son necesarios para dar la base de generación, debido a la intermitencia del suministro proveniente de las fuentes solares y eólicas. La visión futura muestra una complementariedad entre las fuentes hidroeléctricas, eólicas y solares.
5. Estos desafíos están relacionados con bajar los costos de construcción de centrales hidroeléctricas y así poder competir con las otras fuentes renovables; mejorar la relación con las comunidades para facilitar su instalación y ser más eficientes en el tratamiento medioambiental. Los dos últimos aspectos son fundamentales para que estos proyectos se puedan realizar. La política pública plasmada en la Hoja de Ruta 2050 le exige a la hidroelectricidad que sea sustentable con costos competitivos para que pueda desarrollarse.
6. El término del desarrollo centralizado de proyectos hidroeléctricos, radicado en Endesa Chile; lo cual pudiese significar la pérdida del *know how* chileno.
7. La realidad actual de los proyectos hidroeléctricos en construcción: Alto Maipo, Los Córdones y Ñuble, que totalizan 817 MW; los que han tenido problemas técnicos generando elevadas alzas de costos; plazos y problemas ambientales (incumplimientos y procesos sancionatorios); como no había ocurrido antes en el pasado.
8. El desarrollo de los proyectos mencionados muestra una realidad no deseable en el futuro, sus altos costos no son un buen ejemplo a seguir. En consecuencia, cuando hablamos de constructabilidad lo que se quiere decir es que los proyectos puedan ser construidos de una manera eficiente, a un costo competitivo y realizados de manera sustentable. Concretarlos de esta forma ejemplifica la tendencia a seguir y motiva las mejoras, en forma permanente, para conseguir emplear los recursos hídricos disponibles y entregar

el servicio público que el país necesita.

9. Estudios como el presente, que estén al alcance de alumnos de pregrado y no haya que esperar a años de experiencia laboral, fomentan que se pueda impulsar un nuevo enfoque de investigación en el área para lograr proyectos más eficientes y competitivos con el resto de las ERNC. Sin duda, las condiciones geográficas de Chile tienen mucho potencial para este tipo de generación.

1.6. Objetivos

1.6.1. General

Analizar los factores técnicos que inciden en la constructabilidad de centrales hidroeléctricas en Chile.

1.6.2. Específicos

1. Definir los estudios previos relevantes para etapas de diseño y construcción.
2. Identificar los factores técnicos implicados en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de diferentes tecnologías.
3. Contrastar la experiencia profesional especializada con los resultados bibliográficos.
4. Concluir sobre la relevancia de los factores técnicos identificados tomando en cuenta el costo y la temporalidad.

1.7. Metodología

Para el desarrollo del trabajo propuesto se llevó a cabo las siguientes etapas:

- Revisión bibliográfica: Se realizó búsqueda de información asociada al tema, tanto del ámbito nacional como internacional y sus respectivas fuentes bibliográficas asociadas. Se identificó a partir del estudio bibliográfico los factores relevantes en el ámbito técnico, económico y temporal del proyecto de construcción de una central hidroeléctrica.
- Entrevista a profesionales especializados y de probada experiencia, con relación a factores determinados en el paso anterior y factores que debieron agregarse.
- Comparación de los factores definidos entre la bibliografía y el resultado de las entrevistas. Identificación de diferencias y similitudes.
- Análisis, recomendaciones y conclusiones sobre los factores obtenidos en la investigación.

Las categorías definidas para guiar la investigación se exponen a continuación:

Dimensión	Categorías	Subcategorías	
<p>Factores Técnicos que inciden en la constructabilidad de Centrales Hidroeléctricas</p> <p>Son aquellos elementos o causas, relativos a las aplicaciones de las ciencias, que actúan junto con otros para alcanzar la materialización del proyecto.</p> <p>Se subdividen en las siguientes categorías:</p>	1.- Estudios Técnicos Previos	1.1.- Estudios Hidrológicos	
		2.- Factores Ambientales	1.2.- Estudios Cartográfico-Topográfico
			1.2.- Estudio Geológico-Geotécnico
	2.1.- Relacionamiento Comunitario		
	3.- Gestión de Riesgo	2.2.- Residuos y Emisiones	
		2.3.- Empréstitos y Botaderos	
		3.1.- Identificación	
	4.- Ingeniería y Compatibilidad	3.2.- Seguimiento y Control	
		3.3.- Reclamaciones (Claims)	
		4.1.- Consideraciones de Diseño	
	5.- Factor Humano	4.2.- Coordinación interdisciplinaria en etapa de Diseño	
		4.3.- Revisión de Planos y Procedimientos en etapas de Diseño y Construcción	
		5.1.- Calificación Técnica del Personal Directivo	
		5.2.- Inclusión de Personal idóneo en etapas de Diseño y Construcción.	

Tabla 1.1: Categorías de Investigación

Capítulo 2

Marco Conceptual

El presente capítulo contiene la revisión de la documentación existente relacionada con el análisis técnico y procedimientos para la implementación de un proyecto hidroeléctrico. El objetivo principal es identificar los factores relevantes así como concluir sobre su jerarquización.

Es necesario para el presente trabajo definir el objeto de estudio, el cual corresponde a Centrales Hidroeléctricas. Debe hacerse diferencia entre Minicentral Hidroeléctrica y la antes mencionada.

En términos de potencia instalada, puede definirse una Minicentral Hidroeléctrica aquellas menores a 20 MW y que no cuentan con embalse de regulación de caudales. Proyectos con mayor potencia instalada, se consideran Central Hidroeléctrica, ya sea de pasada o de embalse.

2.1. Descripción de una Central Hidroeléctrica

2.1.1. Central Hidroeléctrica de pasada

La configuración de Obras Civiles (OO.CC. en adelante) que en general componen una Central Hidroeléctrica de pasada es la siguiente (Ver Figura 2.1):

- Bocatoma: Incluye barrera (móvil o fija), canal con rejilla, obra de toma.
- Aducción: Túnel, canal, tubería, mixta.
- Desarenador: Lavado intermitente, cámara doble, lavado continuo.
- Cámara de carga.
- Obra de seguridad: Aliviadero.
- Tubería en presión (junto a sus obras de apoyo).
- Casa de Máquinas: Incluye equipo de generación.
- Sub-estación de transformadores.
- Descarga o restitución: Canal o túnel.
- Líneas de transmisión.



Figura 2.1: Esquema general de una Central de Pasada (Asociación Española de la Industria Eléctrica, UNESA).

2.1.2. Central Hidroeléctrica de embalse

En el caso de Centrales de Embalse, la configuración es similar, salvo la Casa de Máquinas que puede estar emplazada en el muro o al pie de la presa, lo cual elimina las obras de aducción (Ver Figura 2.2).

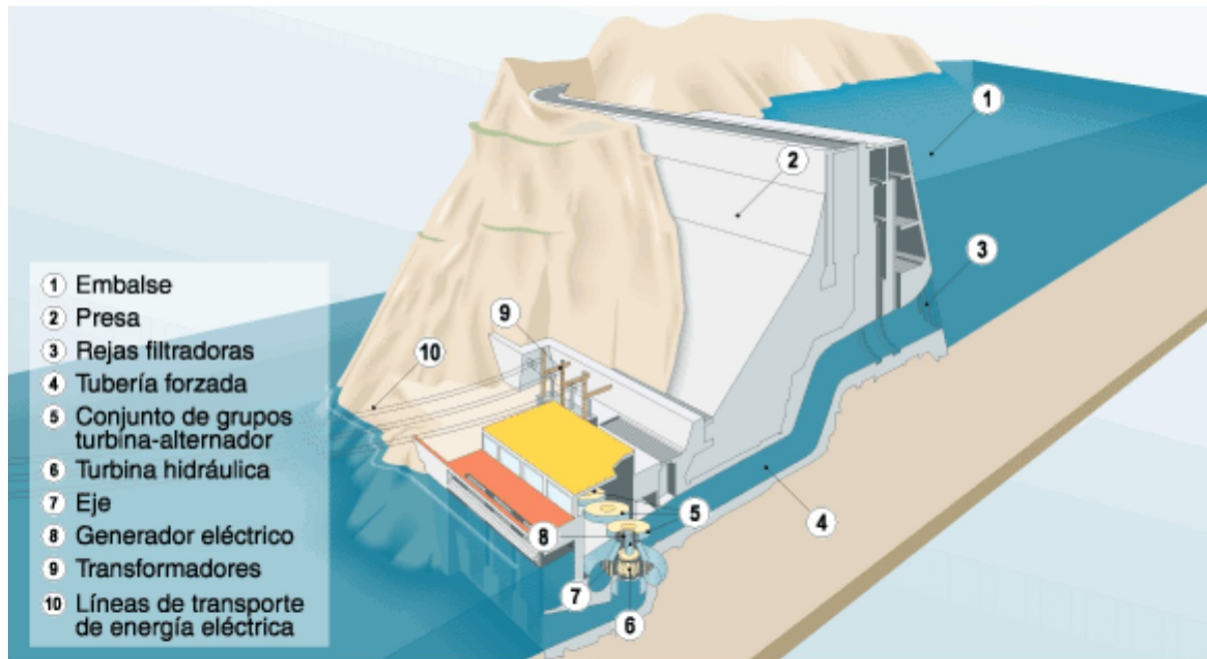


Figura 2.2: Esquema general de una Central de embalse al pie (Asociación Española de la Industria Eléctrica, UNESA).

2.2. Estudios Previos al Diseño

El presente apartado hace referencia a los estudios previos del sitio que en general deben realizarse para recopilar la información necesaria que permita desarrollar el diseño.

El alcance y extensión de los estudios depende de:

- Información preexistente.
- Naturaleza y dimensión del proyecto propuesto.
- Oportunidades y dificultades que presente la topografía y geología del terreno.

En general para los estudios en terreno y de gabinete se destacan dos etapas principales: *Estudios Preliminares y Estudios Finales*. Lo anterior puede variar en cada proyecto o empresa según sus desafíos particulares y experiencias aprendidas. Dentro de estas etapas los estudios son clasificados en cuatro áreas y se ordenan de la siguiente manera:

1. Hidrología.
2. Topografía
3. Geología-Geotecnia
4. Ambientales

2.2.1. Estudios Preliminares

El propósito de esta etapa es proveer información suficiente para confirmar la viabilidad (o practicidad) de cualquier alternativa de desarrollo propuesta, así como compararlas si existe más de una. Este proceso se alberga en la etapa de Prefactibilidad. Mediante el uso de esta información se construyen los diseños preliminares o conceptuales y se realizan estimaciones, las cuales son razonablemente confiables. Dichos estudios se describen a continuación.

(a) Estudios Hidrológicos:

- Datos generales de lluvias y escorrentía superficial.
- Datos principales del flujo del río: Superficie de la cuenca (topografía y/o batimetría), clima, régimen fluvial, vegetación, relieves y pendientes, constitución de los suelos y subsuelos, caudales.
- Características de las crecidas de caudales.

- (b) Estudios Topográficos:
 - Taquimetría.
 - Aéreos
 - Otros: Dependiendo de la información existente, mapas, etc.
- (c) Estudios Geológicos-Geotécnicos:
 - Características geológicas generales y locales.
 - Investigaciones del subsuelo mediante exploración geofísica y sondajes (pocos, solo en caso de ser estrictamente necesario).
 - Reconocimientos preliminares de materiales de construcción: identificación de posibles zonas de empréstito.
- (d) Estudios Ambientales:
 - Identificación general de los posibles impactos ambientales en los terrenos involucrados por el proyecto.
 - Inicio del relacionamiento comunitario.

2.2.2. Estudios Finales

Comprende la exploración detallada del sitio (o sitios) final(es) elegido(s). El propósito de esta etapa es eliminar, dentro de lo posible, todas las dudas o incertidumbres y probar la idoneidad de la solución elegida. Además, permite crear los diseños finales y documentos contractuales con la menor probabilidad de cambios significativos una vez se firme el contrato de construcción.

- (a) Estudios Hidrológicos: La más completa y detalladamente posible extensión de los estudios hidrológicos previos.
- (b) Estudios Topográficos: Preparación de mapas a grandes y menores escalas para los sitios donde se emplazarán las estructuras importantes.
- (c) Estudios Geológicos-Geotécnicos:
 - Estudio detallado del subsuelo mediante calicatas y sondajes.
 - Riguroso muestreo y ensayos del suelo donde se emplazan las obras y de materiales utilizados para la construcción (empréstitos).
 - Ensayos de permeabilidad, densidad y otros necesarios para obtener los parámetros característicos.
- (d) Estudio de Impacto Ambiental: Concluye en la obtención de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA en adelante).

A continuación se ahondará en lo que debe comprender cada tipo de estudio y las recomendaciones pertinentes.

Estudios Hidrológicos

Comprende lo necesario para obtener mediante mediciones in situ o predicciones estadísticas el comportamiento del cauce que condiciona el diseño de la central.

Estudios Pluviométricos: Data disponible para el flujo

Las investigaciones hidrológicas más urgentes son las necesarias para determinar la escorrentía superficial o flujo de agua disponible para la generación energía eléctrica. Normalmente se tiene mayor cantidad de información sobre las lluvias en grandes áreas de captación que de flujos en arroyos o ríos individuales.

Los estudios preliminares de gabinete se basan en el análisis de la medición de precipitaciones y su comparación entre diferentes captaciones. Sin embargo, la parte útil del estudio de las lluvias es la relacionada con las escorrentías. No obstante a lo anterior, debe hacerse énfasis en que el mejor método conocido de obtener escorrentías es midiendo el flujo directamente en el río, preferiblemente en los puntos donde se piensa intervenir.

Esta información si bien se necesita para los diseños generales tempranos, es realmente útil cuando se tienen datos de diferentes estaciones del año, de toda la variación de ser posible.¹

Estudios Fluviométricos: Data Nivel-Caudal

Una vez se tienen los detalles básicos para el desarrollo del diseño, es necesario determinar, lo más completamente posible, todo el rango de variación de las condiciones hidrológicas para las cuales deben ser diseñadas las estructuras.

Dichas condiciones se obtienen principalmente mediante la determinación de las cotas naturales del río, las cuales son propias de las diferentes condiciones del flujo. Lo anterior se ve expresado en las curvas de caudal vs nivel (o curvas de caudales, stage-discharge en inglés). Es muy relevante entender que la precisión de estas mediciones afecta en gran medida el grado de seguridad con que se diseña cada estructura, así como su costo. Junto a lo anterior, esta información permite una mejor planificación y estimación de tiempos de construcción y trabajos en general. En particular, para la construcción de presas.

Es deseable que se construya una curva de caudales por cada punto donde será emplazada una estructura colindante con los límites del río. En general, lo anterior no es posible, sobre todo para estructuras menores, lo cual hace que el diseño de estas sea menos eficiente.

En el caso de las estructuras mayores, realizar el diseño sin la información correspondiente, puede resultar costoso, tanto en seguridad como económicamente. Es por ello que el estudio hidrológico debe concluir con información confiable de los caudales de crecida.¹

Estudios de Aguas Subterráneas

Es vital identificar y controlar el nivel freático bajo el suelo donde se emplazarán obras civiles, y subterráneas. Las fluctuaciones en el nivel freático y el flujo afectan en gran medida la estabilidad del suelo y de los taludes así como los asentamientos.

Dado lo anterior se hace evidente que las estructuras involucradas más sensibles a estos cambios son los muros de contención, zonas de corte y de relleno, estructuras que deben estar sumergidas y con sobrecargas, como las fundaciones y las presas.

¹Brown, 1958.

Investigación Topográfica y Geológica-Geotécnica

Los planos (o mapas) de la zona de interés dependen de esta etapa. Más y mejor información permite optimizar los diseños en etapas tempranas, teniendo como consecuencia una mayor economía en costos y plazos.

Es deseable que la topografía de la zona de captación y zonas adyacentes sea lo suficientemente detallada para que permita estudiar diferentes alternativas para el desarrollo del proyecto y que puedan ser comparadas.

Finalmente los estudios Topográficos y Geológicos-geotécnicos que debe contener un proyecto de construcción de una central hidroeléctrica en cada etapa de desarrollo se presentan en esta sección; corresponden a lo propuesto por Jaramillo M. para ENEL.

TABLA 2.1: DESCRIPCIÓN DE FASES DE INGENIERÍA

DESCRIPCIÓN DE FASES DE INGENIERÍA PROYECTOS HIDRÁULICOS						
FASE	CONCEPTUAL / PREFACTIBILIDAD	FACTIBILIDAD	DISÑO BASICO TEMPRANO	DISÑO BASICO	PROYECTO DISÑO BASICO	DISÑO DE DETALLE
DEFINICIÓN	<p>Conjunto de documentos que presentan un proyecto a nivel de idea, con una configuración muy preliminar de obras y costos, y eventuales alternativas.</p> <p>Deben cubrir aspectos de diseño (normas aplicables, criterios, solicitudes, indicación de impactos socioambientales, disponibilidad de materiales y equipos, etc.), viabilidad (viabilidad técnica e infraestructura para asegurar la construcción de la obra, operabilidad (que contenga todos los elementos para operar conforme a lo previsto y cumpliendo con las normas y leyes aplicables), rentabilidad (que se dispone de los recursos hídricos para funcionar y producir beneficio conforme a lo previsto).</p> <p>Esta etapa debe aportar los antecedentes necesarios para la elaboración del Estudio Impacto Ambiental.</p>	<p>Conjunto de documentos que permiten la licitación de todos los estudios de terreno.</p> <p>Desarrollo de todos los estudios de terreno, supervisión e inspección.</p> <p>Optimización del diseño general sobre la base de los estudios de terreno.</p> <p>Esta etapa debe aportar todos los antecedentes necesarios para la elaboración del Estudio Impacto Ambiental.</p>	<p>Conjunto de documentos técnicos (planos, especificaciones técnicas, cublicaciones, cuadro de costos, bases de medición y pago, etc.) y administrativos (cantidad de contratos y sus límites de garantía, bases administrativas, normas ambientales, etc.) requeridos para la licitación y contratación de la construcción de las obras civiles, el diseño, adaptación, montaje y puesta en servicio de los equipos, y la solicitud del IC Investment Committee.</p>	<p>Conjunto de documentos con el nivel de detalle suficiente para materializar la construcción del proyecto. En esta etapa se debe actualizar la Ingeniería básica con los cambios sugeridos del proceso de licitación y los ajustes por permisos ambientales y de construcción, los cuales varían según la normativa de cada país.</p>		
OBJETIVO	<p>Identificación y evaluación cuantitativa de posibles alternativas para o más para concebir la obra de ingeniería.</p>	<p>Definición del proyecto desde el punto de vista técnico en todas sus partes (ingeniería, acceso, constructibilidad, presupuestos, programas de ejecución, riesgo, funcionalidad, operabilidad, etc.), para definir tipo de emplazamiento de las obras y poder realizar el reconocimiento socioambiental.</p> <p>Desarrollo de todos los aspectos para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.</p> <p>Desarrollo de todos los antecedentes necesarios a fin de sustentar las solicitudes de permisos exigidos por las normativas vigentes para llevar a cabo el proyecto, sean éstos internos del inversionista o requeridos por la autoridad.</p> <p>A partir del diseño desarrollado en esta etapa, definir los estudios de terreno a realizar en la etapa siguiente.</p>	<p>Desarrollar todos los estudios de terreno que permitan validar el diseño definido en la etapa de Factibilidad y entregar los parámetros de diseño para la etapa de Ingeniería Básica.</p>	<p>Obtener el conjunto de documentos para la licitación del proyecto.</p> <p>Realizar optimizaciones de los diseños, definir las características y dimensiones de las partes de obra (resguardos por memorias y planos), y obtener un presupuesto referencial más ajustado para licitar la construcción.</p> <p>Definir la modalidad con que se construirá el proyecto (precios unitarios, suma alzada, IPC, fave en mano).</p> <p>Contar con todos los antecedentes para la elaboración del IPP Investment Proposal (Packaging) para solicitar la aprobación del IC Investment Committee).</p> <p>A partir del diseño desarrollado en esta etapa, definir los eventuales estudios de terreno a realizar en la etapa siguiente, si se requiere.</p>	<p>Detallar las obras proyectadas en la Ingeniería básica a un nivel que permita su construcción.</p> <p>Ajustar los diseños sobre la base de lo planteado en el proceso de licitación (disponibilidad, incorporación de nuevas tecnologías, temporales o sucesiva constructiva).</p> <p>Estudiar y optimizar obras que aún cuentan con incertidumbres y que afectan de forma considerable al programa y presupuesto del proyecto desarrollado en la etapa de Ingeniería Básica (de ser necesario).</p> <p>Realizar el control y seguimiento de los compromisos y obligaciones ambientales y sociales que hayan sido planteados en el EIA y exigidos en la resolución de aprobación ambiental del proyecto (PCA en Chile).</p>	
ANTECEDENTES	<p>Información general de la obra de Ingeniería que permite identificar su tipología, ubicación y propósito.</p>	<p>Proyecto Conceptual.</p> <p>Alternativas de proyecto desarrolladas en la etapa de Prefactibilidad con sus estudios asociados.</p> <p>Lineamientos estratégicos de la empresa.</p>	<p>Proyecto de Factibilidad.</p> <p>Lineamientos estratégicos de la empresa.</p> <p>Antecedentes complementarios de la Dirección de Proyectos (actualizaciones socioambientales, catástrofes o compras de terreno, derechos o concesiones, intervenciones, etc.)</p>	<p>Proyecto de factibilidad.</p> <p>Investigación de terreno realizada en Early Basic EIA.</p> <p>Antecedentes complementarios de la Dirección de Proyectos (actualizaciones socioambientales, catástrofes o compras de terreno, derechos o concesiones, intervenciones, etc.)</p>	<p>Proyecto de Ingeniería Básica.</p> <p>Documentos Técnicos de Licitación y Resultado del Proceso de Licitación del Proyecto.</p> <p>Otros documentos operativos emitidos en el proceso de licitación y el inicio de ing. de detalle.</p> <p>Resolución de aprobación ambiental del proyecto (PCA en Chile).</p>	
METODOLOGÍA	<p>Identificación cuantitativa de posibles alternativas viables desde el punto de vista técnico, ambiental, social, legal y económico, en base a un reconocimiento general del terreno, la realidad de los antecedentes y los estudios para la licitación del proyecto.</p> <p>Obras civiles:</p> <ol style="list-style-type: none"> Estudio de antecedentes, visita de reconocimiento general. Ejecución de trabajos en terreno, seguimiento y supervisión (inspección) campañas. Informe geológico geotécnico, de yacimientos y botaderos. Diagnóstico de prefactibilidad. Cublicaciones. Identificación de incertidumbres y recomendaciones de estudios para factibilidad. <p>Obras civiles:</p> <ol style="list-style-type: none"> Estudio de antecedentes. Visita a terreno. Informe visita. 	<p>Identificación de los aspectos más importantes que permitan evaluar la viabilidad de cada una de las alternativas de la obra de Ingeniería, estableciendo las principales características de cada variante con sus ventajas y desventajas, para buscar aquellas que no conflictan con la viabilidad técnica, ambiental y social.</p> <p>Además se realiza una valoración de cada alternativa con costos actualizados de partes de obras similares conexas.</p> <p>Obras civiles:</p> <ol style="list-style-type: none"> Estudio de antecedentes, visita de reconocimiento general. Ejecución de trabajos en terreno, seguimiento y supervisión (inspección) campañas. Informe geológico geotécnico, de yacimientos y botaderos. Diagnóstico de prefactibilidad. Cublicaciones. Identificación de incertidumbres y recomendaciones de estudios para factibilidad. 	<p>Ejecución de estudios de terreno para reconocimiento de todas las variables: cartográfica, hidrotopográfica, geológica y geotécnica.</p> <p>Obras civiles:</p> <ol style="list-style-type: none"> Estudio de antecedentes, visita de reconocimiento general. Preparación de documentos técnicos para licitación de estudios de terreno y evaluación de ofertas. Ejecución de trabajos en terreno, supervisión y visitas específicas. Inspección de los trabajos en terreno. Informe geológico-geotécnico, de yacimientos y botaderos. <p>Con la información topográfica y geológica/geotécnica, se optimizará el diseño general. Se pueden analizar diferentes soluciones con el objetivo de mejorar la rentabilidad del proyecto.</p>	<p>Diseño de cada obra, planos, memorias de cálculo, cublicaciones, especificaciones técnicas, cronograma y presupuesto del proyecto.</p> <p>Obras civiles:</p> <ol style="list-style-type: none"> Estudio de antecedentes. Diagnóstico, memorias de cálculo y planos. Especificaciones técnicas. Cublicaciones. Identificación de incertidumbres y recomendaciones de estudios para diseños de detalle. <p>Obras civiles:</p> <ol style="list-style-type: none"> Estudio de antecedentes y visita de reconocimiento general. Revisión y análisis de observaciones procedentes del proceso de licitación. En caso de requerir, actualización trabajos en terreno, seguimiento y supervisión (inspección) campañas. En caso de requerir, actualización o elaboración de informes geológicos-geotécnicos complementarios. Diseños de detalle, planos y si se requieren MCA, CUB y ETE. Integración con la oficina técnica de terreno. 		
ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA	<p>Topografía</p> <p>Cartografía general escala 1:50.000.</p> <p>Compra de datos, cartas de toda la zona, en la mejor escala disponible.</p> <p>Proyectos geoplano, o con poco detalle pueden requerir mayor detalle.</p> <p>Verificación de la ubicación puntos topográficos y verificación derechos, cédulas.</p>	<p>Topografía</p> <p>Comprar topografía escala 1:10.000. Si no existe, evaluar la mejor estrategia para obtenerla.</p> <p>Evaluar la necesidad de una topografía más detallada y/o perfiles batimétricos en zona de presa.</p> <p>En alta montaña, evaluar la necesidad de una topografía más detallada para terrenos 1:5.000 a 1:1.000 en casos puntuales.</p> <p>En zonas de condiciones climáticas adversas, si se requiere levantar topografía con LIDAR, evaluar si se levanta a una escala más detallada adaptando las necesidades de obra etapa.</p> <p>Perfiles batimétricos e hidrográficos a lo largo del río (sección, descarga, zona de presa u otras obras cercanas al río).</p> <p>Inspección levantamientos.</p>	<p>Topografía</p> <p>Desarrollo de topografía para tener el detalle (a siguiente precisión en las obras:</p> <p>Enluzes: 1:5.000</p> <p>Obras superficiales y caminos: 1:1.000</p> <p>Obras temporales (reclutamiento, botaderos, campamentos, etc.): 1:2.000</p> <p>Revisar necesidad de topografía para mejoramiento o modificación de caminos existentes.</p> <p>Verificar que exista batimetría suficiente para las siguientes obras:</p> <p>Síto de presa</p> <p>Obras de captación y descarga</p> <p>Puentes</p> <p>Yacimientos y botaderos cerca de cursos de agua.</p> <p>Levantamientos relacionados con elaboración PADE.</p> <p>Topografía complementaria aguas abajo de la presa, escala según definición IH para cada proyecto.</p> <p>Perfiles batimétricos complementarios para modelo hidráulico.</p> <p>Caracterización de uso de suelo (para definir rugosidades).</p> <p>Levantamiento de singularidades (puentes u otro que afecte el flujo).</p> <p>Inspección levantamientos.</p>	<p>Topografía</p> <p>Levantamientos topográficos locales de escalas 1:500 o inferior, si es necesario.</p> <p>Zona de presa, botadero y descarga.</p> <p>Puentes.</p> <p>Puntos.</p> <p>Inspección levantamientos.</p>		
ESTUDIO DE TERRENO: GEOLOGÍA Y GEOTECNIA	<p>Geología regional existente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Compra de cartas geológicas en la mejor escala existente (botaderos 1:50.000) Visita a terreno de geólogo para reconocimiento general. <p>Geología:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reconocimiento geológico-geotécnico de superficie y cédulas de mapeo donde se pueda acceder, para identificación de unidades, litología e identificación de estructuras principales. Eventual desarrollo de estudios de bajo costo y rápidos de ejecutar como prospecciones específicas. Eventuales prospecciones hecho del río para presas > 75 m, objeto de encontrar contacto suelo-roca. Inspección y supervisión. <p>Geotécnica:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reconocimiento de superficie para identificación de sitios de yacimientos y botaderos, condiciones de accesibilidad y reconocimiento general emplazamiento obras. 	<p>Geología-Geotécnica:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reconocimiento geológico geotécnico de superficie para identificación en detalle (escala 1:5.000 a 1:2.000) de los elementos geológicos regionales relevantes en el emplazamiento y entorno de las obras del circuito hidráulico, y potenciales obras de infraestructura. * Realización de cédulas geotécnicas. * Identificación de unidades litológicas. * Identificación de estructuras principales. <p>Ejecución de la campaña de prospecciones y ensayos, para el reconocimiento de estratigrafías, litologías, estructuras, características de discontinuidades (orientaciones, constitución, etc.) permeabilidad de todas las obras.</p> <p>Ejecución de prospecciones y ensayos en los yacimientos seleccionados con el objetivo de evaluar su calidad y capacidad.</p> <p>Hidrogeología: identificación de unidades hidrogeológicas, niveles piezométricos (monitores piezométricos que queden instalados y operables).</p> <ul style="list-style-type: none"> Reconocimiento de superficie y prospecciones asociadas a estudios de peligro geológico (vulneración, neotectónica y remoción en masa). <p>Actualización de estudio geológico geotécnico e hidrogeológico para completar estudios pendientes, incertidumbres de la factibilidad y obtención de parámetros geotécnicos para todas las obras. Deben estudiarse todas las obras de: <ul style="list-style-type: none"> Captación y conducción superficial: obras de captación y descarga, barreras, botaderos, presas, canales y portales. Obras subterráneas: portales, túneles, ventosas, piques o chimeneas. Cameros o casa de máquinas. Subsección. Caminos. Yacimientos y botaderos. Otras obras temporales: obras de desvío, campamentos e instalaciones de faena, caminos y cruces de ríos temporales, puentes. </p> <p>Neotectónica:</p> <ul style="list-style-type: none"> Completar estudios de neotectónica donde se hayan identificado fallas activas como input del estudio de amenaza sísmica. 	<p>Geología-Geotécnica:</p> <ul style="list-style-type: none"> Eventual complemento de la geología y la geotécnica, si es necesario. 	<p>Geología-Geotécnica:</p> <ul style="list-style-type: none"> Eventual actualización y/o prospecciones, si son necesarias. 		

Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

El Estudio de Impacto Ambiental está regulado por la Ley 19.300 y debe hacerse cargo de los potenciales impactos ambientales significativos resultantes de la ejecución y operación de un proyecto. El documento concluyente es la Resolución de Calificación Ambiental (RCA), el cual debe ser calificado como favorable para que el proyecto sea materializado y es fiscalizado por la Superintendencia de Medio Ambiente, organismo público.

Cabe destacar que anterior al año 1994, donde fue oficializada la ley 19.300, los proyectos se ejecutaron de diferente forma respecto al factor ambiental. Las normas por las cuales se regían eran internacionales, definidas por las instituciones que participaban del financiamiento de estos proyectos, como por ejemplo, la Corporación Financiera Internacional (IFC), entidad del Grupo Banco Mundial.

La obtención de una RCA favorable implica que el proyecto presentado cumple satisfactoriamente los requisitos ambientales vigentes. Lo anterior incluye generalmente medidas de mitigación, compensación, restauración así como la permisología necesaria y respalda a la empresa mandante de que no será posible, para cualquier organismo estatal, denegar las autorizaciones ambientales que hayan sido aprobadas. Sin perjuicio de lo anterior, en caso del no cumplimiento de lo estipulado se puede incurrir en causal de revocación de la RCA. Además, dicho documento tiene fecha de caducidad, cuando han transcurrido más de 5 cinco años contados desde su notificación, sin que se haya dado inicio a la ejecución del proyecto o actividad, entendiéndose por inicio cuando se realicen gestiones, actos u obras de modo sistemático, ininterrumpido y permanente.

El artículo 3° del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA en adelante) define los proyectos o actividades que deberán someterse al SEIA. En particular los incisos a), b) y c) incluyen inmediatamente un proyecto hidroeléctrico.

Los proyectos sometidos al SEIA deben presentar, dependiendo de su impacto, una Declaración de Impacto Ambiental (DIA en adelante) o un EIA. Según lo define el SEA, todo proyecto que genere uno de los siguientes efectos deberá presentar un EIA:

1. Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones y residuos.
2. Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluido el suelo, agua y aire.
3. Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de los grupos humanos.
4. Localización en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos, glaciares, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.

5. Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.
6. Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

En general, un proyecto de construcción de central hidroeléctrica, por su magnitud, debe entregar un EIA.

Parte importante del EIA es la construcción de la Línea de Base consistente en la descripción detallada del área de influencia de un proyecto o actividad en forma previa a su ejecución. Es por ello que el SEIA expone en el artículo 18 literal e) de su Reglamento los elementos del medio ambiente que debe considerar una Línea de Base:

- El medio físico, incluyendo, entre otros, la caracterización y análisis de los aspectos asociados a atmósfera (como clima y meteorología, calidad del aire, ruido, luminosidad, entre otros); a la litósfera (como geología, geomorfología, áreas de riesgo geomorfológico, caracterización del suelo, entre otros); la hidrósfera; los glaciares, calidad y cantidad del agua.
- Ecosistemas terrestres.
- Ecosistemas acuáticos continentales.
- Ecosistemas marinos.
- Elementos naturales y artificiales que componen el patrimonio histórico, arqueológico, paleontológico, religioso y en general, los que componen el patrimonio cultural, incluyendo la caracterización de los Monumentos Nacionales.
- El paisaje, incluyendo su visibilidad, calidad y tipo.
- Las áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación.
- Los atractivos naturales o culturales y sus interrelaciones, que atraen flujos de visitantes o turistas.
- El uso del territorio y su relación con la planificación territorial.
- El medio humano, incluyendo información y análisis de sus dimensiones geográfica, demográfica, antropológica, socioeconómica y de bienestar social básico. De existir presencia de grupos humanos pertenecientes a pueblos indígenas, se describirán con particular énfasis los usos y valoración de los recursos naturales; sus prácticas culturales; estructura organizacional; apropiación del medio ambiente; su patrimonio cultural; identidad grupal; ritos comunitarios.
- Los proyectos o actividades que cuenten con Resolución de Calificación Ambiental vigente, aun cuando no se encuentren operando

Finalmente, el resumen de los requisitos para cumplir con la evaluación de impacto ambiental, se encuentra en la guía creada por el SEA, la cual se muestra a continuación:

- Descripción de Proyecto.
- Artículo 11 de la Ley 19.300 (Ley sobre bases generales del medio ambiente).
- Aplicación de Norma/Reglamento.

- Descripción del área de influencia.
- Participación Ciudadana (PAC).
- Metodología/Modelo.
- Permisos Ambientales Sectoriales.
- Resoluciones de guías vigentes.

Unos de los mayores cambios que sufrió la realización de proyectos de construcción de centrales en Chile es la privatización de las empresas. A partir del año 1987, a través de una serie de ofertas públicas de acciones comenzó el proceso, y fue completado en 1989.²

Lo anterior implica que los proyectos no cuentan con el respaldo del estado en cuanto al factor ambiental, en particular cambia la estrategia del enfoque social a la privada, es decir, maximizar utilidades. En esta nueva era, los desafíos para los dueños de proyectos respecto al gran impacto social que implican no es el costo monetario, sino la búsqueda de soluciones factibles teniendo en cuenta que el estado no es la autoridad responsable de reubicar comunidades o expropiar terrenos afectados por la construcción y operación. Ello trae como consecuencia que la participación ciudadana pasa a ser un factor técnico crítico a considerar para lograr la materialización de los proyectos hidroeléctricos.

Avalando lo anterior, Don Alejandro Marín Ulloa³ expone que dentro de los impactos ambientales en el proceso de construcción, el de solución más compleja es referido al factor humano, destacando que debe distinguirse el impacto social real que produce el proyecto de los intereses creados por la sociedad. Por otro lado, los que requieren soluciones menos complejas son: el impacto a la vegetación, la eficiencia en el uso del recurso (agua) y el control de polución. La colocación de barreras en el río lo interpreta como un problema en la operación y no en el proceso de construcción, lo cual es un punto de vista diferente a cómo lo consideran los ingenieros de proyecto.

2.3. Consideraciones generales en el Diseño

El problema base que se busca resolver en la etapa de diseño de una central hidroeléctrica puede entenderse en la definición de Oscar Elsdén (M.Sc., Ingeniero Jefe de Diseño, Departamento de Hidroeléctricas, Sir Alexander Gibb and Partners): *“Diseñar una instalación, o un grupo de instalaciones, que proveerán energía eléctrica cuando y como se desee, a un precio económico, y en la forma que se haga el uso más eficiente del caudal disponible (Brown, 1958, p.161)”*

Entre las consideraciones básicas que condicionan el diseño se tienen:

²ENEL Generación, <http://www.enelgeneracion.cl/es/conocenos/conozcanos/Paginas/historia.aspx>

³Alejandro Marín Ulloa: Jefe de la especialidad de medio ambiente de la Gerencia de Ingeniería de Endesa Chile. Geógrafo de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con estudios de Magister en Derecho Ambiental en la Universidad de Chile. Profesional que cuenta con 15 años de experiencia en evaluación de impacto ambiental, evaluando proyectos, proporcionando soluciones técnico-jurídicas, coordinando y dirigiendo, el Departamento de Evaluación y Seguimiento Ambiental de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente

- El costo de instalación por KW generado tiende a decrecer a medida que la altura de caída aumenta. Esto puede variar en la medida que la ubicación del sitio sea más o menos accesible, en la ruta de la línea de transmisión (longitud y acceso) y en el dimensionamiento de los túneles (sección y longitud).
- Cuando no es posible tener control sobre el nivel del flujo, teniendo en cuenta las superficies de inundación y el uso del agua, es recomendable utilizar sistemas del tipo run-of-river. Debe tenerse en cuenta que lo anterior implica una pérdida considerable de caudal para generar en períodos de alto flujo.
- Las mediciones del río (Caudales y Niveles) son esenciales y no pueden ser sobre estimadas. Es necesario que se realicen lo más temprano posible en la etapa de estudios, para contar con la mayor cantidad de registros posibles.
- El reconocimiento de terreno para emplazar un túnel debe incluir las ventanas de acceso y la preparación que debe tener el terreno (por ejemplo, el escarpe).
- El sistema de toma de aguas en el cauce debe ser estudiado en etapas tempranas, pues ello define el uso o no de barreras en la bocatoma. Esto implica el caudal a recaudar y por ende el diseño de los reservorios de almacenamiento y regulación, así como el dimensionamiento de los ductos de aducción.
- El nivel de las aguas en los reservorios (o embalse regulador) debe ser controlado y registrado. Lo anterior tiene implicancia directa en la altura de caída y por ende en la potencia generada.
- Debe considerarse la coexistencia de tres especialidades involucradas en el diseño: Civil, Mecánica, Eléctrica.

El diseño apropiado de las estructuras que componen un proyecto no termina con los cálculos teóricos, probablemente el aspecto más importante de esta etapa radica en asegurar que todos los supuestos asumidos sean materializables en la práctica. Lo anterior es alcanzable prestando la debida atención al detalle tanto en los planos como en las especificaciones de construcción.

Para destacar los factores técnicos relevantes que inciden en la constructabilidad debemos identificar las partes principales que componen cada tipo de central y los desafíos en la etapa de diseño que deben ser considerados.

2.3.1. Centrales de embalse

Tal como se describió en la Sección 2.1, este tipo de centrales cuenta con una presa (o muro). Las principales obras que deben completarse para su materialización son las siguientes:

- Túnel de desvío provisorio.
- Ataguías.
- Fundaciones.
- Estribos.
- Muro (o presa).
- Casa de Máquinas.
- Obra de Seguridad.

2.3.2. Centrales de pasada

En el caso de las centrales de pasada las OO.CC donde se debe tener especial detalle son:

- Obra de toma.
- Aducción.
 - Túnel.
 - Tubería.
 - Canal.
 - Mixto
- Pique en presión.
- Casa de Máquinas.

2.4. Etapa de construcción

Revisión de Ingeniería de Diseño, oportunidad de Optimización y Planificación

Es de vital importancia que los profesionales involucrados en la toma de decisiones cuenten con experiencia y conocimientos suficientes que le permitan visualizar el proyecto antes de ser materializado. Lo anterior permite considerar posibles imprevistos que no hayan sido estudiados en la etapa de diseño y desarrollar una adecuada planificación de los trabajos constructivos.

Es por ello que la primera tarea en esta etapa sea la revisión minuciosa de la ingeniería de diseño. El estudio debe comprender los planos, descripción y especificaciones de construcción de todas las OO.CC a construir, ya sean permanentes o provisorias. El resultado debe permitir al equipo de ingenieros tener una amplia visión del proyecto que sirva como herramienta para analizar objetivamente el diseño hacia su concepción práctica.

El ingeniero civil, una vez completada la etapa de estudio, debe ser capaz de emitir recomendaciones-en caso de que las hubiese-al equipo de diseño para optimizar las obras propuestas, así como evidenciar posibles riesgos o desafíos que agreguen incertidumbre al momento de construir. Finalmente se obtiene una planificación robusta que permita ajustarse a los tiempos y costos proyectados.

Por último, es de gran utilidad que se registren las experiencias aprendidas durante el período de construcción. Todo problema con o sin solución, eficientemente o no, es la base de posteriores estudios para nuevos proyectos.

La poca información bibliográfica sobre la etapa de construcción reveló que la industria carece de investigación al respecto. El conocimiento está albergado en la experiencia profesional y no se extiende a la academia, lo cual va en desmedro del desarrollo y realentiza los procesos de mejora que permiten completar proyectos menos costosos que sean competitivos con el resto de las fuentes de generación.

2.5. Resumen del Capítulo

El presente capítulo abordó el análisis de factores relevantes desde la investigación bibliográfica. Revisando los antecedentes por etapas se tuvieron los siguientes resultados:

- Estudios Previos:
 - Hidrológicos.
 - Topográficos.
 - Geológicos-Geotécnicos.
- Estudio de Impacto Ambiental:
 - Relación con las comunidades.
- Diseño:
 - Coexistencia de especialidades.
 - Detalle de planos y especificaciones técnicas de construcción.
- Construcción:
 - Revisión de Ingeniería de diseño.

Capítulo 3

Identificación de Factores Técnicos desde el análisis bibliográfico

Una vez concluida la revisión del Capítulo 2 , es posible resumir los factores técnicos relevantes en el proyecto de construcción de una central hidroeléctrica teniendo como criterio de selección el concepto de constructabilidad. Para ello se agrupan en cuatro categorías.

3.1. Estudios Previos

Los estudios previos contienen la información necesaria y vital para la concepción del proyecto. Es muy relevante que estos provean la información necesaria, para que al momento de materializar la incertidumbre sea poca (idealmente menor o igual al 15 %), especialmente en las zonas donde se emplazan obras mayores, tales como fundaciones y estribos del muro con su respectiva obra de seguridad, túneles, piques, casa de máquina, etc.

Los factores son:

- **Proyección de Crecidas.** Correspondiente a los Estudios Hidrológicos y enfocado en el proceso constructivo, es el factor más relevante a tener en cuenta. Una determinación errónea de este valor afecta en gran medida la seguridad del personal presente y las comunidades vecinas así como la economía del proyecto en cuanto a tiempos y costos.
- **Topografía.** Completa descripción de la superficie del terreno que permita un diseño óptimo así como ser una herramienta para que el equipo de ingeniería en la etapa construcción pueda anticipar desafíos.
- **Estudios Geológicos-Geotécnicos.** La incertidumbre en la etapa de diseño se evidencia exponencialmente en la construcción. Una vez que se encuentran diferencias importantes entre lo previsto y lo real sin haber considerado una estrategia para ello, son inevitables las pérdidas considerables en costos y plazos.

3.2. Diseño

- **Coexistencia de especialidades: Civil, Mecánica, Eléctrica.** En la etapa de diseño, es necesario contar con instancias que permitan a los especialistas revisar en conjunto el trabajo, con el objetivo de optimizar y asegurar una completa compatibilidad del producto a materializar.
- **Detalle de planos y especificaciones técnicas de construcción.** La completitud y calidad de estos documentos es fundamental en la etapa de construcción. Asegurar que todos los supuestos asumidos sean materializables en la práctica es alcanzable solamente cuando se presta la debida atención al detalle.

3.3. Estudio de Impacto Ambiental, RCA

Para lograr un EIA completo y que la RCA aprobada no necesite futuras modificaciones-lo cual va en desmedro de costos y plazos del proyecto-es necesario completar el estudio una vez terminada la etapa de diseño básico.

- **Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de los grupos humanos.** En general para los proyectos que involucren comunidades es el factor de mayor relevancia. Dado lo anterior es deseable que los acuerdos o conflictos que se generen sean resueltos antes de la construcción. Deben generarse además, estrategias por parte de las empresas mandante y contratista para lidiar con nuevos conflictos o petitorios producto de las externalidades en la etapa constructiva.

3.4. Construcción

- **Revisión de Ingeniería de Diseño, oportunidad de Optimización y Planificación.** El ingeniero civil, una vez completada la etapa de estudio, debe ser capaz de emitir recomendaciones-en caso de que las hubiese-al equipo de diseño para optimizar las obras propuestas, así como evidenciar posibles riesgos o desafíos que agreguen incertidumbre al momento de construir. Finalmente se obtiene una planificación robusta que permita ajustarse a los tiempos y costos proyectados. Esta metodología forma parte del concepto de constructabilidad; se torna imprescindible que los conocimientos en construcción sean vertidos como retroalimentación para etapas anteriores del proyecto.

La Tabla 3.1 muestra el resumen de los Factores Técnicos identificados desde el análisis bibliográfico.

Etapa	Factores
Estudios Previos	Hidrológicos: Proyección de Crecidas.
	Topografía.
	Geológicos -Geotécnicos.
EIA	Comunidades.
Diseño	Coexistencia de especialidades.
	Detalle de planos y especificaciones técnicas de construcción.
Construcción	Revisión de Ingeniería de Diseño.

Tabla 3.1: Resumen de Factores Técnicos obtenidos del Análisis Bibliográfico.

El siguiente capítulo abordó el análisis de factores desde la experiencia de profesionales expertos, la cual fue contrastada con lo descrito según la bibliografía utilizada en la investigación.

Capítulo 4

Entrevista a Profesionales Especializados

El presente capítulo tiene como objetivo identificar factores técnicos relevantes en la construcción de centrales hidroeléctricas en Chile mediante la recopilación de información proveniente de profesionales especializados en el área. Para ello se realizaron cuestionarios de tipo abierto y semi estructurado (Ver Anexos A y B) donde el profesional expone sus vivencias y criterios adquiridos a lo largo de su carrera.

El criterio de selección de la muestra es que los involucrados se encuentren (o se hayan encontrado) desempeñando cargos directivos en la etapa de construcción de proyectos hidroeléctricos en Chile. Por consecuencia, lo anterior implica que estos poseen suficientes años de experiencia permitiéndoles conocer profundamente el rubro y sus particularidades (Ver Anexo C).

4.1. Estudios Técnicos Previos al Diseño

Los expertos consultados, destacaron la relevancia de los estudios técnicos; a saber, *estudios con la comunidad, estudios ambientales, estudios de clima*, etc., todos los estudios previos que contemplen el desarrollo de una obra; ya que en su opinión, son fundamentales para estimar el trabajo, su factibilidad, los costos y los plazos destinados para la ejecución de un proyecto que implica la construcción de una central hidroeléctrica.

- *La totalidad de los expertos consideró que los estudios técnicos son relevantes en la etapa de construcción de un proyecto hidroeléctrico.*

Los estudios técnicos son relevantes en la etapa de construcción, porque estos son orientadores, mejoran los tiempos y uso de recursos, mejora el trabajo con las comunidades y la interacción con el medio ambiente (Ver Figura 4.1).



Figura 4.1: Esquema de Orientadores, Estudios Técnicos. Fuente: Elaboración propia en base levantamiento de datos de cuestionarios.

4.1.1. Hidrológicos y Ambientales

Para los expertos, existió consenso en que los estudios técnicos de mayor nivel de importancia son los hidrológicos y ambientales. Destacaron que en muchos proyectos han terminado condicionando su desarrollo; como se reflejó en las siguientes citas:

los estudios de línea base ambiental también identifican potenciales riesgos ambientales que podrían condicionar el desarrollo del proyecto. (Luis Uribe Crisóstomo)

Tomaría Hidrológicos y Ambientales pues si no son aceptables nada se puede hacer. El resto casi siempre tiene solución, pero con incidencia en el Costo y Plazo. (Osvaldo Richards Abans)

Desde el punto de vista de la seguridad de la obra, de los trabajadores y del entorno los estudios hidrológicos son fundamentales. (Ezequiel Camus Hayden)

Sobre el estudio de factores climáticos, resolvieron que son relevantes para definir los recursos a utilizar en la construcción de un proyecto de central hidroeléctrica, por ejemplo, la elección del hormigonado; así se reflejó en la siguiente cita:

Las informaciones sobre clima le permitirán definir, por ejemplo, las mejores oportunidades de hormigonado o bien los recursos que deberá tener disponibles para hormigonar en tiempos fríos. (Ezequiel Camus Hayden)

Considerando a las comunidades como parte importante del impacto ambiental de un proyecto, lo cual será abordado en detalle más adelante, pudo evidenciarse un primer acercamiento en la siguiente cita:

El contacto temprano con las comunidades aledañas entrega la visión de la comunidad con respecto al proyecto, adecuando su diseño para lograr una mayor aceptación o validación del mismo previo a su tramitación ambiental. (Luis Uribe Crisóstomo)

La razón de existencia de una central hidroeléctrica es el aprovechamiento de la energía potencial contenida en el agua producto de cambios de elevación entre la obra de toma y el paso por el (o los) equipo(s) de generación. Este motivo, junto a las condiciones climáticas de trabajo hace evidente la relevancia de los estudios hidrológicos. Los resultados de estos estudios avalan la factibilidad del proyecto, dando paso a una solución final única y a la planificación de la construcción bajo condiciones de trabajo predichas. Sin estos sería muy difícil concebir un diseño optimizado que sea factible económicamente y más aún materializar el proyecto bajo condiciones seguras para los participantes.

Por otra parte, la consideración de las comunidades en proyectos de esta índole debe ser obligatorio en la actualidad y considerado como el factor técnico relevante de mayor complejidad en el ámbito ambiental. El presente tema será abordado con mayor completitud más adelante.

4.1.2. Estudio Geológico-Geotécnico

Sin ser los de mayor relevancia, los expertos también destacaron estudios geológicos y geotécnicos; que permiten orientar, mejorar tiempos y recursos en un proyecto de construcción. Así lo expusieron:

Los estudios geológicos y geotécnicos permiten estimar la cantidad y tipo de recursos a utilizar en la construcción (maquinaria, explosivos), métodos de trabajo, definir alternativas de diseño en caso necesario. (Ezequiel Camus Hayden)

Estudios de mecánica de suelos y geología de roca. También ambientales y levantamiento de los stakeholders del proyecto. (Luis Uribe Crisóstomo)

Así como pueden ser causales de imprevistos: Aumento de plazo de 2 meses, producto de la aparición de un mayor volumen de bolones a los presupuestados originalmente en la excavación de la Casa de Máquinas. (Adolfo Ochoa Llangato)

Condiciones geológicas desfavorables, pueden impactar los costos y plazos hasta en un 100 %, o incluso más dependiendo de las zonas geográficas. Las otras causales pueden tener efectos combinados de hasta un 30 % (valor estimativo no calculado) (Ezequiel Camus Hayden)

Proyecto Ralco (hidro 690 MW): Problema que afectó al Proyecto: Fallas y condiciones geológicas adversas en el túnel de aducción, lo que retrasó su construcción. Impacto en plazos y costos. (Luis Eduardo Ruiz)

Los estudios geológicos-geotécnicos están relacionados con la cantidad de recursos que deben destinarse a la construcción. Desde la concepción del diseño, donde las obras se adaptan al entorno, hasta la determinación de la maquinaria idónea, materiales de relleno externos, seguridad de los trabajadores y estimación de plazos; todo lo anterior teniendo incidencia directa en el costo.

Los cambios producto de estudios deficientes tienen grandes impactos en la etapa de materialización. Es por ello que no pueden ser subestimados los recursos invertidos y no debe jerarquizarse lo económico sobre lo técnico.

4.1.3. Incertidumbre

La incertidumbre asumida en los estudios técnicos y su impacto respecto a los plazos, fue considerada de mucha incidencia en la planificación asumida para un proyecto (Ver Figura 4.2), tres de cada cuatro expertos (75 %) lo consideraron así.

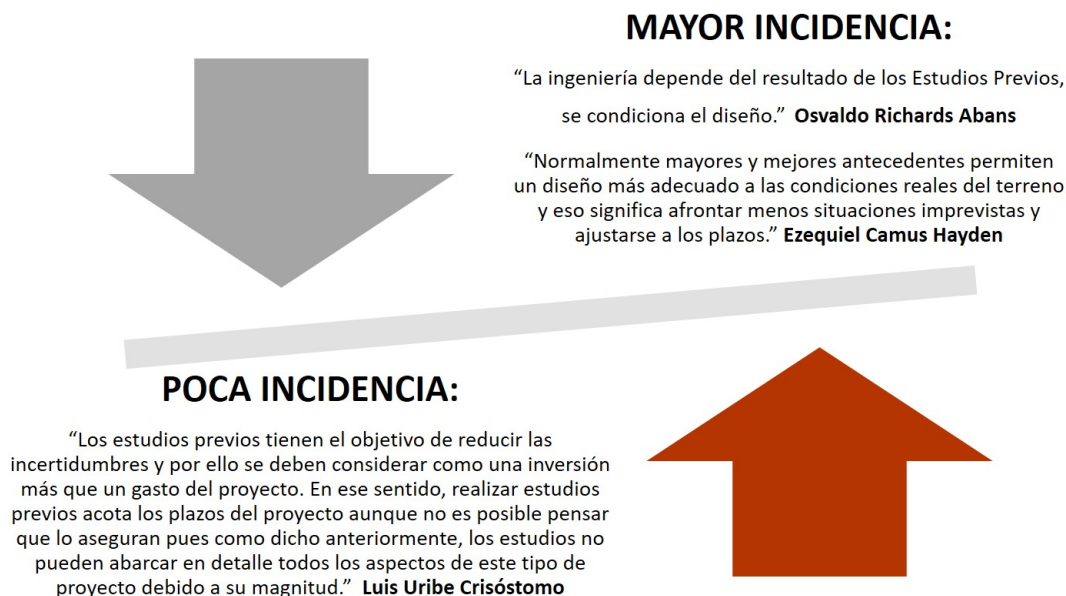


Figura 4.2: Incidencia de la incertidumbre asumida en los Estudios Técnicos respecto a Plazos

Porque si no existen estudios previos o estos son insuficientes, el constructor no sabe lo que va a encontrar. Así no se tiene claro qué recursos emplear y se pueden sobre dotar o dotar de manera inadecuada. Si no se cumple lo previsto, hay que hacer diseños sobre la marcha, con la respectiva detención o esperas para que dichos diseños sean aprobados, etc. (Adolfo Ochoa Llangato)

Como se desprende de lo indicado, la incertidumbre en la materialización de un proyecto de construcción de una central hidroeléctrica es un tema importante a tener en consideración. En este sentido, no existió consenso por parte de los expertos en cuanto un valor específico. Por ejemplo, para algunos, el nivel aceptable obtenido de los estudios geológico-geotécnicos que permite desarrollar el proyecto dentro de los costos y plazos predefinidos fue de máximo un 15 %, para otros, entre un 20 y un 25 %. (Ver Figura 4.3)

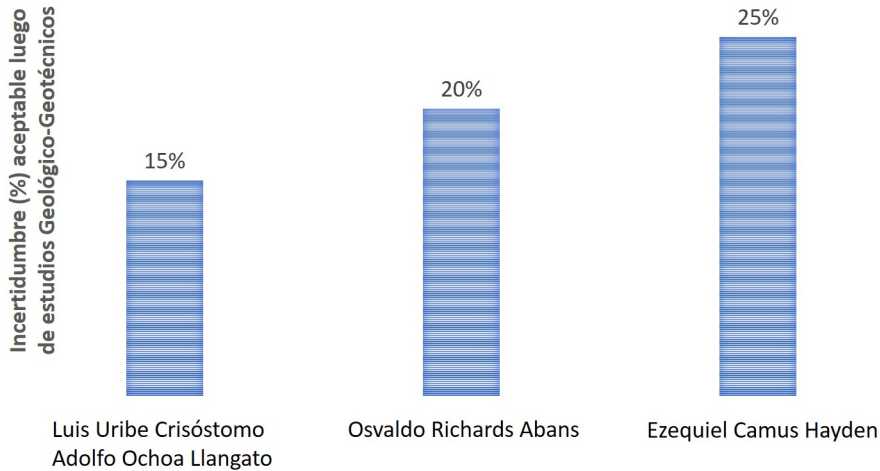


Figura 4.3: Incertidumbre (%) aceptable luego de estudios Geológicos-Geotécnicos según expertos.

Esta falta de acuerdo se debió principalmente al tipo de obra que se lleve a cabo; ya que no es lo mismo realizar obras subterráneas, que obras superficiales, pues los costos y los riesgos difieren significativamente; tal como fue señalado:

En ese tipo de proyecto no es posible eliminar totalmente los riesgos, ya que las obras son normalmente de gran extensión y los estudios no pueden abarcar la totalidad de las áreas, sino más bien permiten tener una visión general del área de emplazamiento del proyecto. Además, los costos de los estudios en terreno para estos proyectos que están ubicados en zonas aisladas, en altura y con condiciones climáticas relevantes, no son despreciables y los presupuestos no son ilimitados. (Luis Uribe Crisóstomo)

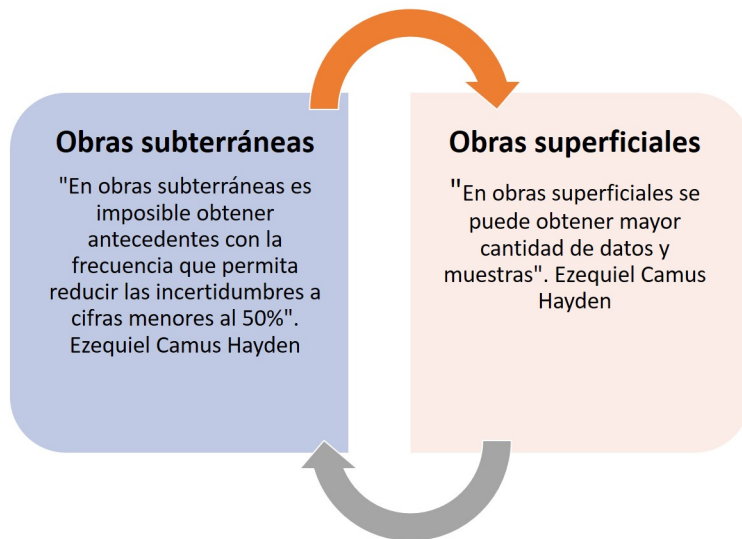


Figura 4.4: Contraste de incertidumbre asumida según tipo de obras.

4.1.4. Costos

El consenso existente en la importancia que tienen los estudios técnicos para la construcción de un proyecto de construcción de una central hidroeléctrica invitó a conocer los costos asociados a este tipo de estudios. En este sentido, no existió consenso por parte de los expertos; ya que, para algunos esto refleja el 5% del costo total del proyecto, mientras que otros indican un 15%, todos valores estimativos a partir de la experiencia de los informantes (Ver Figura 4.5).

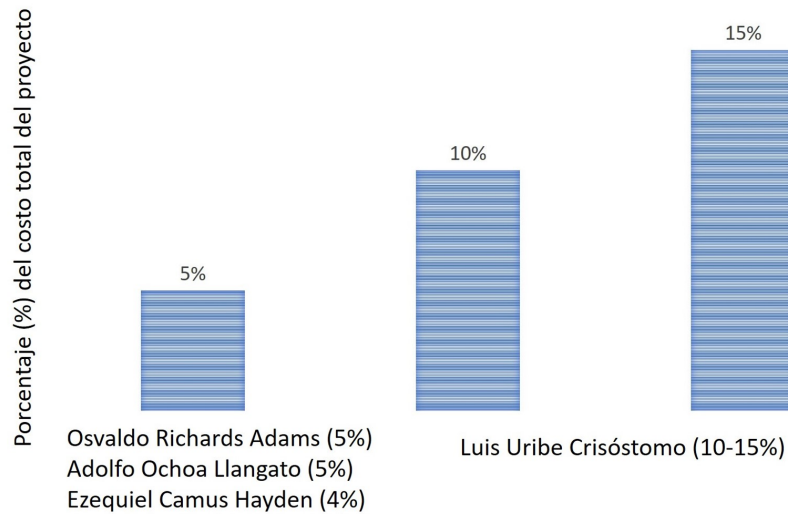


Figura 4.5: Costos aproximados de Estudios Técnicos respecto al costo total del proyecto. Fuente: Elaboración propia en base levantamiento de datos de cuestionarios.

Los principales costos, en orden de magnitud, son en las obras civiles, en el equipamiento, en el trabajo en terreno, con la comunidad y el medio ambiente. Esto estaría dependiendo del tipo de proyecto, puesto que como es señalado, habría proyectos que requieren mayor inversión.

El costo principal de un proyecto hidroeléctrico son las obras civiles y equipos, luego están terrenos, comunidad y medio ambiente, proyecto, gastos legales y otros. En esa cifra se incluyen levantamientos topográficos, estudios hidrológicos, climatología, geología y geotecnia, estudios medioambientales y sociales. En este porcentaje no se incluye la ingeniería de diseño dado que no es un estudio técnico. (Ezequiel Camus Hayden)

Es la media que se destina en los proyectos a este tipo de estudios. Hay proyectos que requieren mayor inversión dependiendo de los resultados que se van obteniendo de los estudios o también el proyecto se va encareciendo en función de cómo influyen los estudios en el diseño del mismo. (Luis Uribe Crisóstomo)

4.2. Estudio de Impacto Ambiental, Comunidades

La comunidad y el trabajo que se pueda realizar con ella donde se pretende materializar un proyecto hidroeléctrico, es de suma importancia para su ejecución; saltarse este paso, podría implicar aumento de costos y expansión de los plazos de un proyecto de esta magnitud. Expuesto lo anterior, fue relevante que dos de cuatro consultados (50%), señalaron que históricamente se ha considerado poco a las comunidades para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Sin embargo, existió un acuerdo generalizado en que la relación con la comunidad debe ser asumida como un factor técnico primordial en el análisis, que garantice el desarrollo exitoso de un proyecto hidroeléctrico.

Con base en lo anterior, tres de cuatro consultados (75%) señalaron que en la actualidad se considera mucho a las comunidades para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Esta importancia es vital, ya que es la comunidad quien vive con la parte poco atractiva de los proyectos. En contraste, se realizó una crítica a la autoridad:

Estoy de acuerdo con darle importancia a aquello que tiene relación con efectos que puedan ser perjudiciales para la comunidad, pero las autoridades no han sabido distinguir el aspecto anterior de temas que no tiene relación directa con las comunidades y en algunos casos no han sabido poner límites claros a dicha intervención. (Ezequiel Camus Hayden)

Lo anterior se alineó con lo expuesto en el capítulo anterior sobre la inclusión de las comunidades como estudio técnico en el EIA. Debe entenderse que, además de los impactos creados por un proyecto hidroeléctrico, se generan intereses particulares por parte de cada persona afectada, los cuales no necesariamente pueden tener base en la externalidad misma de la construcción. La aparente incongruencia de resultados pudo interpretarse como el reconocimiento reciente de la importancia de las comunidades para el desarrollo del proyecto, demostrando que en la actualidad aún no existe la conciencia social que merece, pero existe el proceso de internalización. Las razones expresadas, pusieron en evidencia un cambio cultural en la elaboración de estos proyectos; señalando que con anterioridad solo se entregaba importancia a otros aspectos de los temas ambientales:

Es un asunto cultural. Antiguamente se consideraba parcialmente sólo la flora y la fauna. (Osvaldo Richards Abans)

Desde hace unos 30 años aproximadamente las comunidades son consideradas en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Antes no tenían el poder que detentan actualmente ni la información que les permite conocerlo en detalle. Adicionalmente los estudios de impacto ambiental incorporan a las comunidades, lo que les permite vigilar el cumplimiento de las obligaciones adquiridas. (Ezequiel Camus Hayden)

Parte del mecanismo del cambio de visión, es que en la actualidad las comunidades se encuentran con mayor empoderamiento frente a estas temáticas, los medios de comunicación son fundamentales para la organización y sus demandas. En este sentido, como señalaron los expertos, durante los últimos años han ejercido un papel de influencia relevante en el desarrollo de los proyectos. Caso ejemplar es HidroAysen:

Las comunidades se han ido empoderando con el tiempo, haciendo que su papel e influencia sea cada vez más relevante. Caso emblemático que cambió el escenario fue HidroAysen. Como decía anteriormente, hoy es imposible llevar a cabo el desarrollo de un proyecto hidro si no hay una aceptación por parte de la comunidad aledaña, por ello es tan importante el contacto temprano y trabajo conjunto con las comunidades. (Luis Uribe Crisóstomo)

Otro ejemplo de la relevancia de la comunidad se ejemplificó con el caso de la central Angostura de Colbún, en cuanto a solución de una problemática:

Un caso de estudio interesante es el proyecto Central Angostura de Colbún, donde se trabajó en desarrollar un parque turístico entorno al lago que generó la central de embalse, lo que fue muy bien recibido por la comunidad y permitió pavimentar el desarrollo del proyecto. Esa es una buena señal de los caminos que se deben seguir, como desarrollar un proyecto que genere beneficios claros a la comunidad. Hoy existe el concepto denominado Valor Compartido (...) todas las empresas están trabajando en base a ese concepto más que en generar únicamente aportes a las comunidades. (Luis Uribe Crisóstomo)¹

4.2.1. Incidencia de la comunidad en plazos y costos.

Quedó en evidencia a partir de lo mencionado, que las problemáticas con las comunidades implican el incremento de los plazos y costos en la materialización de un proyecto.

En relación los plazos, la totalidad de los expertos consideró que el riesgo es elevado para la materialización de un proyecto hidroeléctrico; mientras que, en el caso de los costos, tres de cuatro lo consideraron de esta forma. Las razones de lo anterior se expresan en los cambios culturales con la toma de conciencia. Las comunidades, en la actualidad, reconocen sus derechos sociales y tienen conocimiento de los efectos que podrían tener para su diario vivir el producto de la intervención de este tipo de proyectos. Esto implica una condicionante en la ejecución de los mismos, ya que deben contar con la aceptación de los afectados.

Las comunidades han adquirido importancia creciente en la materialización de un proyecto y están conscientes del poder que tienen. Cualquier situación que se escape de los límites impuestos en los estudios y que pueda afectar a las comunidades es denunciada por éstas y representa un riesgo de detención del proyecto, con las consecuencias de costo y plazo. (Ezequiel Camus Hayden)

Es muy necesario generar un contacto temprano con las comunidades para conocer su parecer con el proyecto y trabajar en conjunto por diseñar un proyecto que sea aceptado por las comunidades. Si no se hace este trabajo previo y se presenta al SEIA un proyecto no validado previamente por la comunidad, el riesgo de rechazo es muy alto. (Luis Uribe Crisóstomo)

¹ El concepto de valor compartido se refiere a la gestión por parte de la empresa para identificar y solucionar los problemas sociales que se crucen con sus líneas de negocios.

Teniendo en cuenta que aumento en los plazos suele conllevar el mismo efecto en los costos, es una razón más para que los estudios previos necesarios en el desarrollo de un proyecto se realicen de buena forma. El monto aproximado de inversión destinado a las comunidades que generalmente se ha tenido en proyectos hidroeléctricos, según mencionó Don Don Alejandro Marín Ulloa en entrevista, se encuentra entre el 10 y el 15 % del presupuesto total.

Cualquier detención de un proyecto significa que el constructor debe detener las obras y seguir pagando a sus trabajadores. Además, si se alarga el plazo de la obra también significa atraso en la generación de ingresos del proyecto. (Ezequiel Camus Hayden).

Expuesto lo anterior es consecuente que tres de cuatro expertos (75 %) consideraron de mucha importancia incluir competencias u/o habilidades en los profesionales que se involucren el relacionamiento con la comunidad como parte de un proyecto. Es por ello que sugirieron incorporar programas de este tipo en las carreras de ingeniería.

Creo que es necesario ilustrar al profesional en la importancia de las relaciones entre el proyecto y la comunidad pero para el éxito de ellas es necesario un especialista en el tema. El administrador de la obra requerirá probablemente un asesor especializado. (Ezequiel Camus Hayden)

Porque los profesionales técnicos, principalmente los ingenieros civiles, están llamados a liderar estos proyectos y parte del nuevo perfil profesional debe incluir algún conocimiento sobre este aspecto tan básico que es saber cómo relacionarse con los pares, con los vecinos, con las autoridades vecinales y locales; basado principalmente y en primer lugar, en una relación transparente y respetuosa. (Adolfo Ochoa Llangato)

Como pudo evidenciarse, el factor comunidad tiene impactos de gran magnitud en los proyectos. La inversión económica de la solución desde etapas tempranas es necesaria, no tener en cuenta esto, implica resultados que pueden poner en peligro la viabilidad en la etapa de construcción.

4.3. Diseño

En cuanto a las complejidades que se encuentran en los proyectos de construcción hidroeléctricos, muchas de estas se relacionan a la etapa de diseño y la contingencia que afecta un proyecto de esta magnitud. Como fue señalado, uno de los principales problemas pasa por contar con proyectos con ingenierías incompletas y la calidad deficiente de las especificaciones técnicas, un resumen de ello lo muestra Ricardo Mutis ante la interrogante sobre las problemáticas frecuentes en la etapa de construcción:

Muy relevantes son: I) No disponer de la ingeniería detallada del Proyecto lo que impide cumplir con el presupuesto y plazo (por claims); II) tener una RCA aprobada por un proyecto distinto al que se construye; III) no valorizar ni estimar adecuadamente los riesgos del proyecto; (...). (Ricardo Mutis M)

De las experiencias mencionadas es destacable la relevancia de contar con ingenierías

completas. Los plazos que se acorten en la etapa de diseño y como consecuencia tengan dichos efectos, producen atrasos de mayores dimensiones en la etapa constructiva.

4.3.1. Ingeniería de Compatibilidad

En cuanto a la existencia de instancias de revisión de planos y procedimientos para la compatibilización de diseños entre las diferentes disciplinas presentes en los proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas. Dos de cuatro expertos, consideraron su existencia; dos de cuatro no conocían sobre esta información. En los comentarios se expresó lo siguiente:

Deben existir, porque esta es la mayor fuente de reclamos durante la construcción. (Osvaldo Richards Abans)

No sé la magnitud del proceso pero sí sé que existe y es indispensable para todas aquellas obras civiles que alojan equipos. (Ezequiel Camus Hayden)

Esto es muy relevante para evitar potenciales interferencias entre especialidades o rehacer trabajos durante la construcción. En la actualidad se están implementando en los proyectos la metodología BIM, que a través del diseño 3D de los proyectos, se facilita la detección de interferencias a poder tener una visión en tres dimensiones de las obras. Este aspecto es más relevante en las obras donde existen equipos electromecánicos como casa/caverna de máquinas, obras de toma, vertederos, etc. (Luis Uribe Crisóstomo)

No sé si hoy existen esos procesos; pero en los proyectos pasados sí los había. (Adolfo Ochoa Llangato).

En el caso de los expertos que señalaron la existencia de revisión de planos y procedimientos para la compatibilización de diseños entre las diferentes disciplinas presentes en los proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas; estos en su totalidad indicaron que deben existir en la etapa de ingeniería básica; dos de cuatro en ingeniería de detalle, y uno de cuatro en la etapa de construcción (Ver Figura 4.6).

Respecto a sus elecciones, comentaron:

En las etapas preliminares no aparecen estos problemas. Deben visualizarse desde los documentos de licitación. (Osvaldo Richards Abans)

Tal como las palabras lo dicen en ingeniería básica es necesario una primera compatibilización de diseños entre obras civiles y equipos y esta debe ser afinada en la etapa de ingeniería de detalles. Normalmente se debe esperar información de los equipos para completar el diseño de detalles de la obra civil. (Ezequiel Camus Hayden)

Principalmente durante el diseño de las obras para detectar interferencias y corregir los diseños, como también durante la etapa de construcción donde las metodologías de construcción o montaje también pueden ocasionar problemas de interferencia. Para ambos procesos, el BIM es una buena herramienta que Chile está adoptando y capacitando a sus profesionales (hoy no hay muchos especialistas en el tema), ya que con la modelación 3D se puede añadir la metodología de construcción (plazos) con sus secuencias, generando un 4D del proyecto. Esto también ayuda a mejorar las estimaciones de los plazos constructivos al detectar detalles de las secuencias de las obras que normalmente en el desarrollo de proyectos en 2D (CAD) no se observan. (Luis Uribe Crisóstomo)

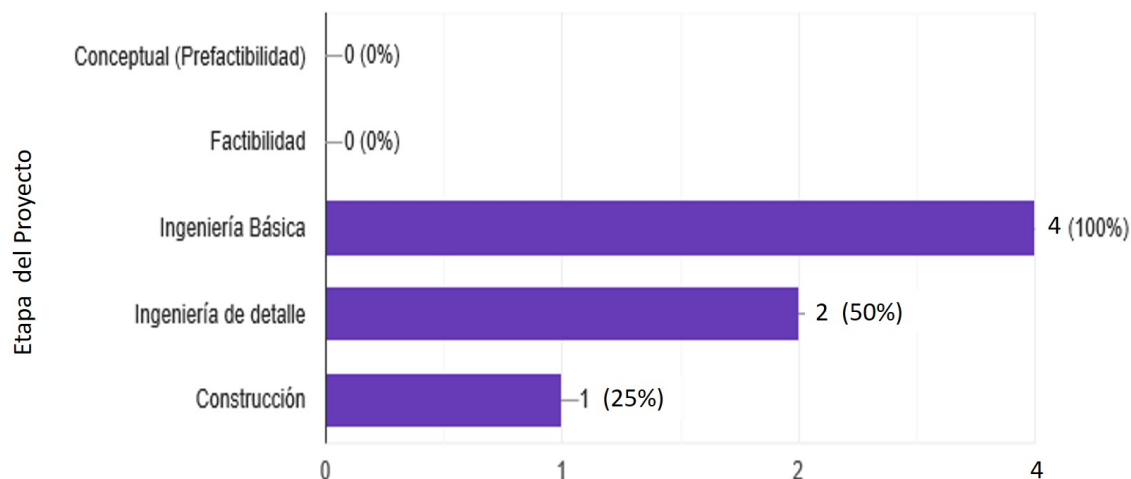


Figura 4.6: Consenso de profesionales sobre etapas idóneas para realizar procesos de compatibilidad entre especialidades.

Finalmente, en cuanto a la frecuencia con la que se encuentran discrepancias entre los planos de diferentes especialidades en la etapa de construcción; dos de cuatro expertos señalaron que esto ocurre en pocas ocasiones, solo un experto consideró que esto ocurre mucho; y el efecto que tendría para los plazos estas diferencias podría conllevar a la reconstrucción o demolición. . . Porque de no detectarse anticipadamente dan origen a demoliciones y reconstrucciones. (Osvaldo Richards Abans). La misma proporción en las respuestas fue señalada para los costos.

Pudo notarse mediante los hechos narrados, que hay discrepancia entre la frecuencia de ocurrencia que los expertos creen individualmente y la revisión del total de respuestas; siendo realmente común que ocurra en diferentes proyectos. Lo anterior demuestra que este factor toma relevancia y debe ser considerado como tal.

4.4. Construcción

Durante la construcción, los problemas frecuentes narrados tienen que ver con la eficacia de los contratos y licitaciones, capacidad de las empresas contratistas seleccionadas para desarrollar la construcción y el personal técnico por parte del mandante para administrar las obras.

(...) IV) adjudicar contratos confusos y producto de negociaciones directas; V) adjudicaciones de contratos relevantes a empresas no idóneas que hacen incumplibles los contratos; VI) disponer de organizaciones muy reducidas e insuficientes para administrar el proyecto; VII) generación de programas y presupuestos deficientes. (Ricardo Mutis M)

En la etapa de construcción, dada la naturaleza única de cada proyecto, no hubo consenso en las soluciones aplicadas; sin embargo, se pudieron identificar patrones en la búsqueda de estas:

En esta industria no existe una receta para solucionar cada problema técnico. Debe ser resuelto de acuerdo a cada problema en particular. Por eso es muy importante la experiencia del equipo que desarrolle, construye y opere una central hidroeléctrica. Mientras mayor experiencia, mayor es la posibilidad de haber enfrentado problemas técnicos o de otro tipo. (Tomas Barrueto Vergara)

En general no existen recetas tipo para estos de proyectos, siendo fundamental el trabajo en equipo, con personas con conocimiento y experiencia en el área y el apoyo de especialistas reconocidos. Las soluciones específicas tienden a ser únicas, aunque habitualmente con adaptación o en base a soluciones exitosas implementadas en otros proyectos. (Ezequiel Camus Hayden)

Cada problema se resolvió rehaciendo la ingeniería en caso de errores de diseño y en casos de fallas, desarrollando la ingeniería para la solución específica que cada caso requería. Con las soluciones de ingeniería debidamente aprobadas, se construyeron las obras especificadas. (Luis Eduardo Ruiz)

I) Generando ingeniería de detalles y renegociando los contratos; II) asumiendo los riesgos enfrentados, III) enfrentando los arbitrajes consecuencia de adjudicaciones inadecuadas y volviendo a licitar los contratos relevantes; IV) reestructurando el proyecto". (Ricardo Mutis M.)

4.4.1. Impacto del proyecto en los Recursos Naturales Renovables (Suelo, Agua, Biota) y Zonas Arqueológicas.

El efecto que pueda tener en el medio ambiente realizar una central hidroeléctrica, es un tema clave en el desarrollo de un proyecto. En este sentido, hablar de residuos y emisiones, cobra relevancia. Existió acuerdo en la importancia del manejo de residuos y emisiones en la etapa de construcción. Un actuar deficiente o nulo, genera efectos adversos, afectando direc-

tamente a las comunidades aledañas al proyecto. Es por esto que también cobra relevancia en los estudios previos relacionados con este ítem tomar en cuenta comunidades.

La comunidad cercana es la directamente afectada por un mal manejo de los residuos y emisiones que se generan durante la construcción. (Osvaldo Richards Abans)

(...) el primer paso es lograr la RCA del proyecto que permite una validación por parte de la comunidad pero si no hay un buen manejo de los temas ambientales durante la construcción del proyecto, se puede originar un rechazo muy importante si no se respetan las exigencias que se le establecieron al proyecto en la RCA". (Luis Uribe Crisóstomo).

Respecto a la elección de sitios empréstitos, si bien no se mostró acuerdo generalizado en las opiniones, dos de cuatro expertos consideraron que es fundamental la adecuada selección y tratamiento de los mismos (uno de cada cuatro los considera nada importante).

Tanto en empréstitos como en botaderos no deben quedar evidencias de la actividad desarrollada y debe restituirse la naturaleza porque no hay razones para dañar el paisaje, que es uno de los aspectos ambientales muy importante. (Ezequiel Camus Hayden)

el SEA es muy exigente y los impactos asociados a los empréstitos y botaderos quedan establecidos en la RCA y por ello no se pueden cambiar esos lugares así como así. La ubicación de estos sitios tiene asociado impactos relativos al transporte de los materiales que igualmente generan externalidades como tráfico, ruido, emisiones de partículas en suspensión y de CO₂, etc....si se quiere cambiar estos lugares, se cambia toda la modelación de las externalidades y por ello la relevancia de que sean definidos en la etapa previa y establecidos en la EIA". (Luis Uribe Crisóstomo).

Los riesgos en plazos y costos producto de la ubicación de sitios, pasa por la búsqueda de las alternativas para su ejecución. En este sentido, tres de cuatro expertos lo consideraron poco relevante y la solución parece ser simple.

Si no son razonables y aceptados, se deberán buscar sitios alternativos que pueden estar lejos de las obras (afecta el plazo de la construcción) (Osvaldo Richards Abans)

Normalmente existen alternativas de empréstitos y botaderos y son seleccionados por el constructor de acuerdo con sus estudios. Las actividades que requieren empréstitos y botaderos generalmente no son las primeras y otorgan un plazo razonable a los constructores para seleccionarlos y negociarlos. (Ezequiel Camus Hayden).

En contraste, se tuvo la siguiente opinión:

Puede afectar el plazo de tramitación de la RCA si es que no hay un estudio adecuado de línea base y manejo de estos sitios en la presentación de la EIA, lo que puede ocasionar consultas de parte de los organismos que participan en el proceso de evaluación ambiental. Como se dijo anteriormente, una vez aprobados los sitios en la RCA y se garantiza que se cumplirán las exigencias de la misma, no se deberían generar problemas. Eso sí, si los volúmenes de materiales necesarios o los materiales inertes que van a botadero no son bien calculados y se agota los sitios declarados, si habrá un problema grave pues implicará tramitar nuevos sitios con una nueva DIA o EIA, lo que podría afectar en forma muy importante los

plazos del proyecto por el tiempo de tramitación que ello implica, que incluso podría generar oposiciones de la comunidad por incorporar temas que no eran parte de la línea base original del proyecto. En el caso de los botaderos, es muy importante el estudio de la potencialidad de lixiviación de los materiales de excavación al momento de acopiarlos, ya que si a futuro se generan problemas de lixiviación, se puede complicar el manejo de los botaderos por la contaminación asociada. (Luis Uribe Crisóstomo)

En el caso de los costos, las opiniones estuvieron divididas, dos de cuatro señalaron que el riesgo para los costos es alto, y dos de cuatro indicaron que es bajo, esto se debe a que depende de cada proyecto en particular. *En realidad dependerá del proyecto a construir: si se trata de un muro de presa, la ubicación del empréstito es muy relevante por los materiales y distancias. Si se trata de excavaciones de gran volumen también es relevante la ubicación del botadero. Normalmente se intentará compensar volúmenes, aunque no siempre es posible lograrlo. (Ezequiel Camus Hayden)*

4.5. Riesgos en la Etapa de Construcción

Los riesgos asociados a la etapa de construcción de un proyecto hidroeléctrico son un elemento que se debe tener en consideración en los estudios previos; siempre existen y podrían afectar al proyecto en los plazos y costos. Los más comunes pueden ser geológicos, hidrológicos, de clima, de seguridad laboral, entre otros. Los factores de mayor riesgo que fueron señalados en proyectos de esta magnitud son los hidrológicos y climáticos.

Hidrología. Las crecidas más allá de lo previsto pueden afectar seriamente el plazo y el costo de la construcción de un proyecto hidroeléctrico. (Osvaldo Richards Abans)

Riesgos climáticos que pueden afectar los plazos y costos de construcción e influir en el comportamiento del río sobre el cual se va a trabajar, cuyas crecidas podrían provocar destrucción de obras con los impactos asociados. (Luis Uribe Crisóstomo)

Otros factores, que no son solamente propios de la etapa de construcción, pero quedan evidenciados en esta cuando los procedimientos poseen deficiencias, son producto de cálculos o diseños erróneos. Estos no son particulares de proyectos hidroeléctricos, sino transversales a toda industria que involucre construcción. Cuando se combinan las deficiencias en diseño y construcción, los resultados son negativos, pero también muy difundidos, lo cual afecta, además, la reputación del ejecutante en gran medida.

Proyecto Cóbún Machicura (hidro 570 MW): Problema que afectó al Proyecto: Filtraciones muy altas en Pretil El Colorado, lo que obligó a detener el llenado del Embalse. Impacto en plazos y costos. (Luis Eduardo Ruiz)

La forma más adecuada, entonces de considerar estos riesgos, se encontró, a visión de los expertos, en la etapa de desarrollo de un proyecto de esta magnitud. Para los consultados, el 75 % de los riesgos deben calcularse en la ingeniería básica del proyecto; el 50 % considera que también debe realizarse en la etapa de factibilidad; un 25 % agrega la etapa de prefactibilidad o conceptual; mientras que un 25 % indica también en la etapa de construcción (Ver Figura 4.7).

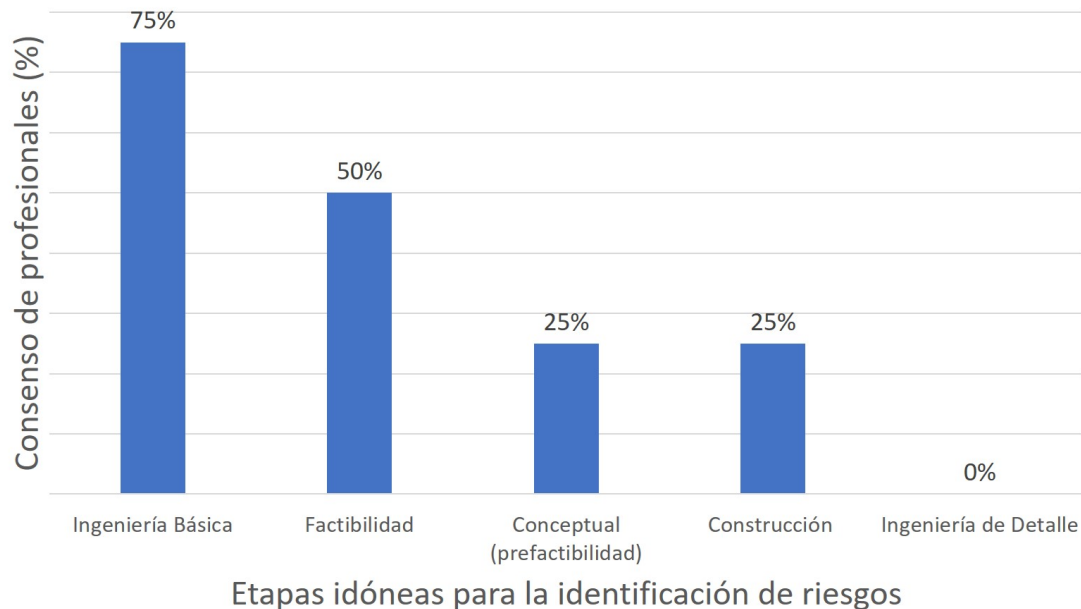


Figura 4.7: Consenso de profesionales sobre etapas idóneas para identificación de riesgos.

La importancia de identificar los riesgos en etapas idóneas reside en la estimación adecuada de costos y plazos. El mayor acuerdo se encontró en las etapas de Ingeniería Básica y Factibilidad, pero no excluyó, por ejemplo, la fase de construcción. Deben considerarse los métodos de trabajo más adecuados para evitar los riesgos para los propios trabajadores, los cuales son generados en base a la experiencia del ingeniero constructor. Lo anterior indicó que los riesgos no deben ser evaluados solo en etapas previas a la construcción, sino que debe hacerse un seguimiento a lo largo de todo el proyecto.

La identificación y la definición de la estrategia para considerar adecuadamente los riesgos, es determinante de los plazos y costos de la construcción. (Osvaldo Richards Abans)

En la etapa de ingeniería básica se identifican principalmente los riesgos de proyecto y evidentemente deben quedar solucionados. También es necesario abordar los riesgos de construcción y diseñar soluciones adecuadas. Los riesgos de construcción también debe identificarlos el constructor y definir los métodos de trabajo adecuados para proteger sus trabajadores y equipos, de acuerdo con su experiencia". (Ezequiel Camus Hayden)

En esa etapa (Factibilidad) se pueden incorporar los costos y plazos asociados a cada riesgo, así como las medidas de mitigación que se pueden adoptar. Ello también puede incidir en modificaciones al diseño de la ingeniería básica (Seguimiento en Ingeniería Básica). Hacer la matriz de riesgos en etapa posterior podría incrementar los costos y plazos de los proyectos.

Eso sí, la matriz de riesgos igualmente se debe ir actualizando en cada etapa de desarrollo del proyecto, ya que pueden aparecer nuevos riesgos con los estudios previos que se hacen entre la factibilidad y la ingeniería básica” (Luis Uribe Crisóstomo).

Es conveniente que expertos en prevención de riesgos con experiencia, junto cada profesional encargado de un frente de trabajo analicen las actividades a desarrollar e identifiquen los riesgos y soluciones adecuadas para cada etapa de construcción. (Ezequiel Camus Hayden)

Cada frente de obra está sujeto a determinados riesgos y se deben revisar permanentemente las condiciones de esas obras para prever la ocurrencia de algún hecho imprevisto”. (Adolfo Ochoa Llangato)

Tres de cuatro expertos señalaron que la incidencia del seguimiento y control de riesgo en la etapa de construcción afecta directamente en los plazos y costos de un proyecto. Pero también exponen su visión sobre la prevención:

La solución anticipada a un riesgo evita accidentes, improvisaciones, permite disponer de los recursos necesarios en forma anticipada y eso se traduce en trabajos de acuerdo con los plazos previstos. (Ezequiel Camus Hayden)

Es fundamental disponer de un equipo de riesgos que maneje este concepto, el cual es abastecido por todas las unidades que participan en el desarrollo del proyecto. Si se van generando los riesgos, se deben ir tomando acciones para mitigarlos y evaluar planes de contingencia para actuar. De la misma forma, controlar los costos reales versus los montos que fueron evaluados en la matriz de riesgos como contingencias, de lo contrario será necesario ajustar el presupuesto total del proyecto o aumentar el mismo”. (Luis Uribe Crisóstomo)

Las soluciones pensadas y adoptadas con tiempo permiten mejores asignaciones de recursos y evitan pérdidas de tiempo que finalmente se traducen en mayores costos. (Ezequiel Camus Hayden)

4.5.1. Reclamaciones (Claims)

Para hacer frente a las reclamaciones se deben tener bases de licitación claras, contratos bien preparados, precisos y claros para evitar la ambigüedad. Además, deben existir los profesionales que cuenten con la experiencia del trabajo en el área y prevencionistas de riesgo. No considerar este tema como posible imprevisto en la etapa de construcción tiene como consecuencia cambios en los plazos y costos del proyecto.

Bases de licitación y contrato de construcción deben ser cuidadosamente preparados, evitando ambigüedades. Durante la construcción misma se deben tener profesionales atentos a prevenir en lo posible estas situaciones. (Osvaldo Richards Abans)

Últimamente se piensa que el trabajo mancomunado entre mandante y constructor permite reducir el riesgo de reclamaciones. Eso no significa que deban ser socios sino que el mandante debe tener acceso a las informaciones del constructor para verificar que aquellas eventuales reclamaciones tengan asidero. (Ezequiel Camus Hayden)

En la actualidad las empresas han implementados unidades de reclamos o Claims para ir monitoreando la relación con terceros e intentar anticiparse a potenciales reclamaciones. En ese sentido, un buen análisis de la matriz de riesgos del proyecto permite definir una guía de ruta de los temas que serán más relevantes a la hora de potenciales reclamos. En este aspecto es muy importante tener contratos robustos que puedan cubrir la mayor cantidad de situaciones, antes de que estas se produzcan. (Luis Uribe Crisóstomo).

Tres de cuatro expertos consideraron que contratar personal especializado para atender las reclamaciones en la etapa de construcción es muy necesario y una buena medida de inversión para ahorrar costos asociados a los riesgos que se producen en proyectos de esta magnitud.

Es una buena inversión para el proyecto ya que un buen equipo a cargo de la matriz de riesgos y de las reclamaciones puede ahorrar importantes cifras al proyecto, con un costo asociado que puede ser insignificante para este tipo de proyectos. (Luis Uribe Crisóstomo).

Se buscó valorizar las soluciones a los problemas presentados, teniendo en cuenta las particularidades de cada proyecto, las narrativas tuvieron la misma tendencia, mostrando que resulta difícil prever con exactitud cuánto debe destinarse: *Es difícil señalar puntualmente cuánto implicó cada problema (...) los aumentos de costos en los contratos de construcción estaban en el rango 10 a 25 % del valor de cada contrato; sin superar los presupuestos previstos; y los proyectos grandes, como Pehuenche y Pangué, terminaron seis meses antes de lo previsto, generando con ello el beneficio de ingresos anticipados por venta de energía. Esto no es comparable a lo que ocurre hoy, porque actualmente los proyectos, en general, como Ñuble y Alto Maipo, más que duplican el costo del proyecto. (Luis Eduardo Ruiz)*

Es muy complejo asignar un correcto valor a los problemas. Por ejemplo, antiguamente uno podía estimar a groso modo (para un proyecto de gran tamaño) en torno a un 3 - 5 % de la inversión el costo medioambiental y social. Hoy este valor resulta no solo bajo, sino que incierto, dada la expectativa que genera un proyecto hidroeléctrico. Esta incertidumbre afecta directamente la posibilidad de financiar un proyecto de estas características. (Tomas Barraeto Vergara)

Pudo entenderse entonces que la etapa de construcción de proyectos de gran envergadura es un sistema complejo; puede ser caracterizado de esta forma dado que depende de muchos procesos para su correcta materialización, la cual nunca estará libre de riesgos. Es posible adjudicar al diseño algunos de estos problemas, pero será finalmente evidenciado, necesitará una solución y afectará costos y plazos en la fase constructiva. Es por ello que la experiencia de los ingenieros a cargo debe ser vasta, permitiéndoles anticiparse y manejar de la mejor forma posible dichos imprevistos.

4.6. Factor Humano

El factor humano es un elemento clave para llevar a cabo un proyecto de construcción de una central hidroeléctrica; en este caso, la totalidad de los expertos consultados consideró que el personal directivo en la etapa de construcción de un proyecto de esta magnitud debe ser clasificado técnicamente; los parámetros de esta clasificación de personal son la experiencia en proyectos similares y en el manejo de contingencias.

En este caso, los tiempos de experiencia con que deben contar los profesionales en el área para adquirir una capacidad directiva en la etapa de construcción; fluctúan entre los 10 y 15 años dedicado al mismo rubro.

Para dirigir la construcción de una central hidroeléctrica se requiere haber trabajado en diferentes actividades y diferentes frentes para empaparse de conocimientos y experiencia durante al menos 15 años. (Ezequiel Camus Hayden)

Al menos 10 años pero depende del tipo de proyecto. (Luis Uribe Crisóstomo)

Sobre la relevancia de la nacionalidad del personal directivo en la etapa de construcción de centrales hidroeléctricas en Chile, dos de cuatro entrevistados señalaron que no tiene ninguna incidencia.

Las empresas constructoras seleccionan al personal que se desempeña mejor en un determinado cargo haciendo caso omiso de la nacionalidad de éste. (Ezequiel Camus Hayden)

No tiene relevancia, la experiencia es lo importante a la hora de formar el equipo. En nuestro país, como en otros, tenemos profesionales con la experiencia para llevar a cabo este tipo de proyectos. Podría influir en el caso de implementar nuevas técnicas constructivas que sea necesario introducir en un determinado proyecto. (Luis Uribe Crisóstomo)

En cambio, los que si lo consideraron importante, lo relacionaron con la idiosincrasia chilena...*Deben conocer la idiosincrasia de los trabajadores chilenos. (Osvaldo Richards Abans)*

En el caso de la importancia de la institución de formación del personal directivo; dos de cuatro expertos consideraron que es poco importante; pero también dos de cuatro lo consideraron relevante.

Lo más importante es el criterio y la experiencia (Osvaldo Richards Abans)

Es la base pero los profesionales para este tipo de proyectos se forman en terreno. (Luis Uribe Crisóstomo)

Es importante contar con una formación sólida y un criterio adecuado para enfrentar los múltiples desafíos que a diario impone dirigir una construcción de esta índole. No puedo decir cuáles instituciones la entregan y cuáles no, pero sí es necesaria. Además de conocimientos técnicos se requiere formación ética y moral adecuada. (Ezequiel Camus Hayden)

Hay formaciones académicas más rigurosas que otras. (Adolfo Ochoa Llangato)

Finalmente, dada la experiencia en proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas, los expertos consideraron (tres de cuatro) que es poco frecuente que participen profesionales especializados en construcción como parte del equipo de diseño.

Al ser especialidades distintas, no es común que se vacíe la experiencia de construcción en los criterios de diseño. (Osvaldo Richards Abans)

En general son ramas de actividad diferentes y tienen contacto muy ocasionalmente. En general los proyectistas diseñan (normalmente con buen criterio) y el constructor debe proveer los recursos necesarios para materializar la obra. Son pocos los casos en que materializar el diseño es imposible y en esos casos se acuerdan modificaciones. (Ezequiel Camus Hayden)

Es relevante para que el proyecto desarrollado en gabinete sea posible de construir. Además, para el proceso de evaluación ambiental, en la actualidad se requiere una adecuada descripción del proceso de construcción y sus impactos/mitigaciones asociadas, lo que es fundamental para lograr una RCA favorable en plazos acotados. (Luis Uribe Crisóstomo)

La evidencia plasmada indicó que en la actualidad no existe colaboración efectiva entre los profesionales especialistas en construcción y la oficina de diseño. Ante ello surgió la interrogante del motivo, siendo contestada con argumentos que justifican con costumbre nacional más que dificultad para lograrlo. La conclusión más evidente es que falta desarrollo tecnológico en el país y la integración de conocimientos aún no es valorada como factor crítico.

4.7. Resumen del Capítulo

El presente capítulo abordó el análisis de factores relevantes desde la aplicación práctica mediante cuestionarios a profesionales expertos. Revisando los antecedentes por etapas se tuvieron los siguientes resultados:

- Estudios Previos:
 - Hidrológicos.
 - Geológicos-Geotécnicos.
- Estudio de Impacto Ambiental:
 - Relación con las comunidades.
- Diseño:
 - Integración de especialidades.
 - Completitud de ingeniería para obtención de la RCA.
 - Detalle de planos y especificaciones técnicas de construcción.
- Construcción:
 - Revisión de Ingeniería de diseño.

Capítulo 5

Factores Técnicos obtenidos de entrevista a profesionales expertos

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, es que todos los elementos listados a continuación tienen incidencia en los plazos y costos en la construcción de un proyecto hidroeléctrico.

- Completitud de las ingenierías-Grado de desarrollo del proyecto, calidad de las especificaciones técnicas: De esto depende la redacción de los contratos y la claridad con el que ingeniero constructor puede planificar el trabajo y anticipar desafíos. Deficiencias en este factor incide en plazos y costos durante la etapa de construcción, puesto que pueden generarse reclamos o bien pueden existir obras que necesiten rediseño para poder ser materializadas.
- Integración con las ingenierías chilenas por parte de los profesionales extranjeros: La privatización de las empresas nacionales por capital extranjero, y la llegada de profesionales de diferentes nacionalidades, tiene como consecuencia cambios en los procedimientos respecto de los nacionales y metodologías que difieren de la idiosincrasia de los trabajadores chilenos. Este efecto debe ser anticipado por los profesionales expertos nacionales en el proceso de revisión de ingeniería durante la etapa de construcción, y deben proponerse los cambios pertinentes, puesto que si los contratistas no son capaces de materializar las obras producto de estas diferencias, se da pie a reclamos, pudiendo terminar en aumento de costos y plazos.
- Estudios técnicos de suelo y aguas: Relacionados con la estimación de crecidas y la caracterización del suelo, toman gran relevancia en la construcción de centrales hidroeléctricas. A partir de ellos se diseñan las obras de contención y desvío de las aguas, así como las obras de seguridad y las especificaciones que deben cumplir las fundaciones y excavaciones. Si las condiciones reales difieren negativamente de lo estudiado el impacto en plazos y costos puede ser inevitable, poniendo a su vez en peligro a los trabajadores, las comunidades cercanas y las obras ya construidas.

- Condiciones geológicas: Pueden ser favorables o desfavorables en la etapa constructiva. Es por ello que los estudios geológicos-geotécnicos toman gran relevancia. Un comportamiento imprevisto del suelo o el macizo rocoso puede provocar accidentes o detenciones en la construcción para resolver el problema, ya sea con nuevos diseños o metodologías; esto afectando plazos y costos.
- Caminos de acceso remotos, con alto riesgo de circulación: Es importante que sea contemplado en el proceso de revisión del proyecto por parte de los profesionales especialistas en construcción. Deben tomarse medidas que aseguren tanto la seguridad de los trabajadores como de lo que necesita transportarse. La identificación de estos aspectos permite idear soluciones confiables con sistemas redundantes y acciones anticipadas de control que permitan mantener una programación en tiempo y costo.
- Ubicación de centrales en lugares con alta complejidad logística: Debe tenerse en cuenta para la planificación los imprevistos que este aspecto puede provocar. La demanda de materiales de construcción, tales como hormigones, enfierraduras, elementos de contención prefabricados y otros debe ser servida oportunamente. Para ello los especialistas en construcción deben considerar la instalación de fábricas, lugares de acopio y bodegas. La detención en el suministro provoca detención en el avance, significando aumento de costos y plazos.
- Actividades constructivas de alto riesgo de accidentes laborales: Este aspecto debe estar presente en la identificación de riesgos (matriz de riesgos). Es necesario que profesionales especialistas en seguridad generen procedimientos adecuados para garantizar la seguridad de los trabajadores en este tipo de actividades, teniéndose además un programa de seguimiento y control. La omisión de este ítem puede generar resultados que afecten a los trabajadores, repercutiendo además en plazos y costos por la detención de los trabajos.
- Condiciones climáticas: La presencia de nieve, lluvias intensas y temporales afecta la seguridad laboral y la planificación de la faena constructiva. Se debe tener información confiable y hacer seguimiento y control de riesgos puesto que cambios climáticos pueden implicar la detención del trabajo con su debido aumento en costos y plazos.
- Restricciones operacionales debido a exigencias medioambientales: En el proceso de evaluación de impacto ambiental, el proyecto debe contar con medidas de compensación y mitigación, siendo estas últimas las referidas a restricciones en la etapa de materialización. Fue descrito por los expertos que el incumplimiento de estas tiene consecuencias en plazos y costos puesto que la influencia de las comunidades logra paralizar los proyectos.
- Marcos contractuales entre propietarios y contratistas: Los contratos deben ser revisados por profesionales expertos previo el inicio de obras, las ambigüedades o falencias en estos da pie a reclamaciones que inciden mayormente en los costos del proyecto. Es por ello que se debe contar con un equipo de especialistas dedicados a la revisión y control de dichos documentos.

- Estudios y tramitación de impacto ambiental: Relacionado con la aprobación de la RCA, es necesario presentar el proyecto con la ingeniería básica completa. La aprobación con estudios menos detallados, y que una vez se avance en las etapas del proyecto implique cambios, provoca que deban agregarse pertinencias en la etapa de construcción, las cuales pueden ser o no aprobadas tanto por el organismo competente como por las comunidades, impactando negativamente en los plazos y costos.
- Relación con la comunidad: La falta de visión social que aún se evidencia en las empresas del rubro, optando por soluciones que priorizan la obtención de utilidades en desmedro de la calidad de vida de los afectados por el proyecto. Esto trae como consecuencia la desaprobación en la etapa de construcción por las comunidades, lo cual puede ocasionar detenciones en la obra extendiendo los plazos y aumentando los costos.

Lo anterior se vio respaldado por las siguientes experiencias:

Los principales problemas que he detectado, son la falta de integración con: ingeniería chilena (generalmente se ha tenido que rehacer mucha ingeniería), falta de apoyo local en la construcción (desconocen el modo constructivo de empresas locales) y la falta de conocimiento de la institucionalidad chilena. Por parte del mercado chileno, esta misma institucionalidad a veces no está preparada para importar experiencia internacional. (Tomas Barraeto Vergara).

Otros apuntaron netamente a las condiciones naturales que en ciertas ocasiones son inmejorables.

Durante la construcción suelen suceder situaciones o comportamientos de la naturaleza que difieren de los supuestos; así puede suceder con la hidrología, la calidad de la roca, el comportamiento de la roca, la calidad del suelo, etc. En hidrología ocurren crecidas que superan las mejores estimaciones, con factores de seguridad adecuados para el periodo de construcción. Esto puede traducirse en mayores costos y/o mayores plazos. (Osvaldo Richards Abans)

Además, señalaron que las expectativas en el desarrollo hidroeléctrico y los costos de la energía son fundamentales.

Hoy existe un problema fundamental para el desarrollo hidroeléctrico, la expectativa. Todos los altos estándares que la comunidad le asocia a los proyectos hidroeléctricos y que no pueden ser resueltos debido a los bajos precios de la energía, inciden directamente en la dificultad de desarrollar proyectos y dar soporte a la comunidad vecina. (Tomas Barraeto Vergara)

En este momento, la incertidumbre respecto al precio esperado de venta de la energía y potencia eléctrica afecta la decisión de firmar los contratos de suministro de equipos y de ejecución de las obras civiles. (Héctor Maulén)

El análisis permitió agrupar los factores de mayor relevancia y resumirlos por etapa (Ver Tabla 7.2)

Etapa	Factores
Estudios Previos	Proyección de Crecidas.
	Predicciones Climáticas.
	Geológicos -Geotécnicos.
EIA	Comunidades.
Diseño	Integración de especialistas en Construcción
	Complejidad de Ingeniería para obtención de RCA
	Detalle de planos y especificaciones técnicas de construcción.
Construcción	Revisión de Ingeniería de Diseño.
	Control y seguimiento del riesgo (Matriz de Riesgos).

Tabla 5.1: Resumen de Factores Técnicos obtenidos de entrevistas a expertos.

Capítulo 6

Literatura vs Realidad

En el presente capítulo se identificaron y analizaron las diferencias y similitudes entre la información obtenida desde la bibliografía y los cuestionarios a profesionales expertos. Los resultados obtenidos son de utilidad para siguiente capítulo donde se emitieron recomendaciones para contribuir a la correcta materialización de proyectos hidroeléctricos en el país.

El ordenamiento de las materias presentadas sigue el mismo patrón de lo expuesto anteriormente, partiendo por los estudios previos, luego diseño y finalmente la etapa de construcción.

6.1. Estudios Previos

Los estudios previos son la herramienta principal para validar la factibilidad del proyecto y lograr su materialización. Estos respaldan el diseño y permiten al constructor diseñar estrategias constructivas eficientes y seguras para el personal involucrado. En este sentido están alineados tanto el criterio de expertos como los textos bibliográficos. Los más destacados fueron hidrológicos y climáticos, geológicos-geotécnicos, topográficos y ambientales. A continuación se realizó el análisis siguiendo el mismo orden lógico.

6.1.1. Hidrológicos y Climáticos

Proyección de Crecidas

Los expertos destacaron la importancia de los estudios hidrológicos por la relevancia que tiene la proyección de crecidas. Los procesos constructivos cuentan con obras temporales que permiten el desvío del río en las obras de toma, siendo válido tanto para centrales de pasada como de embalse. En el caso de centrales de embalse el tiempo de permanencia de las obras temporales es mayor, debido a que deben construirse el túnel de desvío y el muro de la presa, para ello se emplean ventanas de tiempo prolongadas, alcanzando varios años. En este caso también se mencionó en la bibliografía la importancia y justificación de estos resultados. Se destacó que, de existir un mal pronóstico, la probabilidad de una catástrofe no solo afecta las obras, sino a los trabajadores que las construyen y a las comunidades vecinas al proyecto, lo cual puede significar peligro a la vida de los mismos.

Expuesto lo anterior se concluye que, enfocado en la constructabilidad, los estudios de crecidas son el factor técnico de mayor relevancia en un proyecto de construcción de una central hidroeléctrica. Siendo reconocido así, es justificado que han ocurrido pocos eventos conocidos de crecidas no pronosticadas; no obstante, siempre existe un porcentaje de incertidumbre que no es posible eliminar. Ejemplo de ello es el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, en la ciudad de Limón, Costa Rica. Considerado el más grande de Centroamérica al año 2016 con una potencia instalada de 305.5MW, la central de embalse vio afectadas obras de construcción tales como: fundación de la presa, obras de desvío (preataguía, ataguía, contraataguía), casa de máquinas, caminos de acceso, un puente peatonal, líneas de suministro eléctrico, instalaciones provisionales, maquinaria, equipo y material¹. En el acontecer nacional se tienen casos que no se relacionan con proyectos hidroeléctricos pero ejemplifican lo planteado, tal como el desborde del río Copiapó afectando severamente sectores de la ciudad de Copiapó el 26 de enero de 2017.

¹Diario La Nación <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/crecida-afecta-sitio-de-presa-y-casa-de-maquinas/SB4GQGAGARGRNIVJVTFG32LLQA/story/>

Predicciones Climáticas

Las predicciones del clima afectan directamente los procesos productivos en la etapa de construcción. En Chile los proyectos hidroeléctricos suelen estar emplazados en zonas de la pre cordillera y cordillera de Los Andes. Esto trae como consecuencia estaciones del año muy marcadas con inviernos que imposibilitan, en la mayoría de los casos, las jornadas laborales de las obras mayores. Es por ello que se necesita la mayor precisión para definir las ventanas de tiempo donde se puede construir.

La conclusión de mayor relevancia que se obtuvo de este ítem es que fue solo destacado por los profesionales entrevistados y no en la bibliografía. De ello se desprende que no hay en la actualidad, suficiente investigación pública dedicada a plasmar los aprendizajes de la etapa de construcción. Es de esperar que profesionales con experiencia tengan internalizados estos factores, pero ello no implica que ingenieros sin experiencia o académicos cuenten con esa formación.

6.1.2. Topográficos y Geológicos-Geotécnicos

Topográficos

Por parte de los expertos no se hace mención explícita de la importancia de la topografía para la materialización del proyecto, pero basado en el documento *Recomendaciones para la investigación geotécnica de proyectos hidroeléctricos* por M. Jaramillo para ENEL, se apreció su consideración en el desarrollo de los mismos. De lo anterior se interpretó que este factor tiene mayor relevancia en la etapa de estudios previos y orientado al diseño que en la fase de construcción. En el mismo sentido la bibliografía destacó la relevancia para la etapa de diseño, donde la información es utilizada para la creación de los planos. Se concluyó que los estudios topográficos toman relevancia de forma implícita, la representación del terreno en los planos le permite al profesional de diseño proyectar obras que puedan ser construidas sobre los accidentes geográficos así como a los de construcción visualizar los posibles desafíos en cuanto al uso de la maquinaria y la creación de accesos para alcanzar las zonas de emplazamiento de las OO.CC.

Geológicos-Geotécnicos

Los estudios Geológicos-Geotécnicos son uno de los factores críticos destacados por los expertos, aunque no el de mayor relevancia. En este sentido se generó un contraste muy marcado con la literatura. Es de esperarse que la conclusión de estos cuente con la menor incertidumbre posible, pero no sucede en la realidad. Las investigaciones muestran las metodologías y resultados que deben obtenerse para caracterizar un sitio de forma correcta, pero la supeditación de estos a los plazos y/o costos en las etapas de evaluación e ingeniería básica temprana provoca que, en general, no existan proyectos de gran magnitud sin deficiencias en este sentido.

Los expertos indicaron que en muchas ocasiones, no fue posible realizar estudios con mayor profundidad. La causa frecuente suele ser la abrupta geografía nacional, donde las elevaciones cordilleranas dificultan el acceso de maquinarias y personal para llevarlos a cabo.

Como resultado de estudios que no permiten contemplar con poca incertidumbre las características de la zona se tienen proyectos con gran número de imprevistos. La consecuencia de esto es, generalmente, aumento de plazos y/o costos.

La problemática presentada mostró un denominador común junto a las anteriores, el desarrollo de investigación orientada a la constructabilidad en este tipo de proyectos es deficiente.

6.2. Diseño

El estudio publicado en la Revista Ingeniería de Construcción, *Diagnóstico de la gestión de la construcción e implementación de la constructabilidad en empresas de obras civiles*, por Zulay Giménez Palavicini y Carlos Suárez Isea en el año 2008, arroja resultados que se alinean con la presente investigación. Según los autores, el cuarto síntoma con mayor frecuencia que actúa como barrera para la implementación de la constructabilidad es: “El personal de construcción no revisa el proyecto durante el proceso de diseño, es imprescindible que la experiencia constructiva revise el diseño, antes que culmine la secuencia para evitar modificaciones posteriores en las obras, que resultan mucho mas costosas que en los planos”.

En este sentido el total de los expertos acordaron que no existen instancias en las cuales los profesionales de la construcción viertan su experiencia en la etapa de diseño. En particular si hay compatibilidad entre las especialidades propias de esta etapa (civil, mecánica, eléctrica) pero aún así se encuentran discrepancias en los planos de cada área al momento de materializarlos, lo cual indica que existen deficiencias en el proceso.

Por otro lado, la completitud del detalle en los planos y las especificaciones técnicas de construcción obtuvo consenso entre las partes. La bibliografía encontrada con foco en la visión de constructabilidad en mega obras civiles fue prácticamente nula. Los aspectos a favor que exponen es que debe considerarse la coexistencia de especialidades y el detalle en los planos y especificaciones, pero no ahondan en detalles sobre ello.

Nuevamente se evidenció que la innovación en el desarrollo de proyectos de esta índole depende en su mayoría de las experiencias adquiridas por profesionales en el rubro y resulta de difícil aplicación en la academia.

6.3. Estudio de Impacto Ambiental

El EIA en Chile es un proceso obligatorio y está legalmente regulado por la Ley 19.300. En este sentido, el factor de mayor relevancia fue el relacionado con los asentamientos humanos afectados por la realización del proyecto. Las comunidades a partir de la implementación efectiva de la ley, estimado a partir del año 1996, pasaron a formar parte crítica de la complejidad de proyectos hidroeléctricos. Los expertos coincidieron en que siempre que hubo comunidades involucradas con el proyecto, este se vio afectado en los plazos y por consecuencia en los costos.

Las causas de que surjan estos conflictos es la carencia de consciencia social en toda la escala jerárquica del proyecto. Previo a la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, la cual incluye a las comunidades como factor técnico dentro del estudio, las soluciones otorgadas consideraban reasentamientos, compensaciones y mitigación, pero de forma unilateral, es decir, la empresa tenía el poder de negociación. En ello contribuía el estado, pues ENDESA Chile fue estatal hasta el año 1989. Con el cambio, las balanza se equilibró y se incluyó la consulta ciudadana como parte de la RCA y para que esta fuese aprobada, los partícipes de las externalidades del proyecto deberían estar de acuerdo con las soluciones, dentro del contexto que se procediera con actos de buena fe.

Los expertos reconocieron que antes de este proceso de cambio las comunidades no eran un factor relevante en los proyectos, pero en la actualidad suelen ser una de las mayores causas de detención. Dentro de las causas principales de la falta de acuerdo, se encuentra que los proyectos se presentan a evaluación ambiental con ingenierías inconclusas (antes de culminar la etapa de ingeniería básica), esto con la justificación del tiempo que demora el proceso de calificación. La consecuencia de esto, es que con las iteraciones del proceso de diseño ocurren cambios en el producto final, lo cual provoca que construya un proyecto diferente al que se aprobó; generando los conflictos con los afectados.

Teniendo en cuenta lo expuesto, pudo concluirse que la literatura expone claramente los procesos que deben llevarse a cabo para que el proyecto sea exitoso en ese ámbito, pero la práctica indica que no se cumplen a cabalidad. Los motivos se basan en acciones deficientes de la empresa o bien por la complejidad de lograr acuerdos que pueden involucrar intereses creados ajenos a las externalidades; con lo cual se pierde la voluntad de las partes por llegar a una solución óptima.

6.4. Construcción

La bibliografía orientada a la etapa de construcción tuvo como aporte el proceso de revisión de la ingeniería de diseño, con el propósito de prever posibles desafíos complejos e imprevistos. Esta tarea obliga al ingeniero constructor hacer uso de su experiencia para detectar incongruencias que impidan la materialización o proponer optimización en las obras, en cuyos casos debe existir una instancia de coordinación con la oficina de cálculo. El proceso, además, debe incluir la revisión de la planificación y control en aras de asegurar una correcta implementación.

Los expertos no mencionaron el proceso antes descrito, más sí relataron que la existencia de los problemas está dada por la generación de contratos deficientes, selección de empresas contratistas no idóneas para desarrollar los trabajos, especificaciones técnicas con falencias, estudios geológico-geotécnicos con mucha incertidumbre y la importancia de contar con personal especializado en reclamos (claims) para atender las problemáticas mencionadas.

Por otro lado la selección de profesionales que ocupen cargos directivos en la etapa de construcción de proyectos hidroeléctricos debe ser evaluada en primer lugar por la experiencia en el rubro, siendo de al menos 10 años, siendo menos importante la casa de estudios y la nacionalidad. La relevancia de estas afirmaciones permitió asegurar que la formación académica en esta materia no alcanza niveles que generalmente permitan a profesionales jóvenes tomar decisiones de esta índole en proyectos complejos. Sumado a que ninguno de los aspectos narrados por los profesionales fue encontrado en la literatura, se concluyó que la administración de la construcción de este tipo de proyectos, en la actualidad, depende en gran parte de la experiencia adquirida.

Capítulo 7

Comentarios y Conclusiones

El presente Trabajo de Título tuvo como objetivo principal analizar los factores técnicos que inciden en la constructabilidad de centrales hidroeléctricas en Chile y emitir recomendaciones para mejorar los procesos relacionados a los factores de mayor relevancia. El objetivo fue completado con éxito y el desafío de mayor complejidad para el desarrollo del trabajo fue la falta de investigación respecto al tema en el país.

Para guiar la investigación en vistas de alcanzar el objetivo principal se plantearon objetivos específicos, de los cuales se concluirá particularmente sobre los resultados obtenidos. El contraste de la experiencia profesional especializada con los resultados de la literatura fue agregado a cada resultado de forma independiente en este apartado para lograr mejor síntesis y entendimiento del lector.

7.1. Definir los estudios previos relevantes para etapas de diseño y construcción.

El estudio bibliográfico permitió identificar los factores de mayor importancia que inciden en el diseño y bajo la filosofía de constructabilidad:

- **Proyección de Crecidas:** Correspondiente a los estudios hidrológicos, la determinación de crecidas condiciona el diseño de obras permanentes y provisorias; impactando en la seguridad de las comunidades vecinas al proyecto y del personal involucrado en la etapa de construcción. Este factor también fue destacado por los expertos entrevistados como el más relevante.
- **Climáticos:** Los estudios para la predicción de condiciones climáticas fueron destacados por los profesionales y son relevantes en la etapa de construcción pues condicionan la planificación de las tareas. Este factor no fue determinado como relevante en la bibliografía.

- **Topográficos y Geológicos-Geotécnicos:** Los estudios topográficos toman mayor relevancia para la etapa de diseño, mediante estos se obtiene la descripción superficial del terreno en la cual se emplazan las obras civiles.

Los estudios geológicos-geotécnicos no fueron categorizados como críticos por los expertos, aunque si destacaron su importancia. Fueron una de las mayores causas de imprevistos en la etapa de construcción producto de la incertidumbre asumida. Lo anterior se vio condicionado por la supeditación de estos estudios a los plazos y/o costos en las etapas de evaluación e ingeniería básica temprana.

7.2. Identificar los factores técnicos implicados en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de diferentes tecnologías.

El primer factor fue identificado en la etapa anterior, siendo los estudios técnicos de mayor relevancia. Posteriormente se estudiaron las etapas de Estudio de Impacto Ambiental, Diseño y construcción.

7.2.1. Diseño

El diseño de una central hidroeléctrica, transversal a la tecnología, debe estar condicionado por su posibilidad de ser materializado. Es por ello que los factores identificados apuntan a este objetivo, siendo estos:

- **Coexistencia de especialidades:** Fue descrito en la bibliografía y por los expertos que es de vital importancia para evitar posteriores discrepancias, contar con procesos que permitan revisar la compatibilidad de los diseños de las diferentes especialidades involucradas en el desarrollo (Civil, Eléctrica, Mecánica). La ausencia de estas acciones provoca detenciones en el proceso de construcción afectando plazos y costos. Por otro lado, se encontró durante las entrevistas a profesionales que no existen instancias donde el personal de construcción revise el proyecto durante el proceso de diseño.
- **Detalle de planos y especificaciones técnicas de construcción:** La completitud de estos documentos fue reconocida por expertos y los textos analizados como un factor clave. Deficiencias en este aspecto provoca la creación de contratos deficientes que dan pie a posteriores reclamos así como a procesos iterativos entre la oficina de cálculo y la de terreno para solucionar dichos problemas, los cuales afectan plazos y/o costos.

7.2.2. Estudio de Impacto Ambiental

El factor de mayor relevancia en cuanto al impacto ambiental, y actualmente tema latente en la mayoría de los proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas en el país, es la **Relación con las Comunidades**: Las narrativas de experiencias lo destacaron como uno de los más complejos de abordar; encontrar soluciones óptimas que beneficien a ambas partes (comunidad y empresa) parece imposible en la realidad actual del acontecer nacional. Lo expuesto en la Ley 19.300 es bien claro en cuanto a los procedimientos que deben considerarse y el peso que tiene la participación ciudadana en la aprobación de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA).

Otro factor que tuvo relevancia fue la **Complejidad de la ingeniería con la cual se realiza el Estudio de Impacto Ambiental**: Este documento es presentado para solicitar la RCA y debe contener los diseños de ingeniería que serán materializados, puesto que cambios posteriores pueden significar diferentes impactos a los aprobados y genera conflictos legales, sociales y éticos.

7.2.3. Construcción

- **Revisión de Ingeniería de Diseño**: Los profesionales y la literatura destacaron que la relevancia de este factor está dada por la anticipación a posibles imprevistos, desafíos para materializar obras e identificar elementos que no puedan ser materializados en base al diseño propuesto.
- **Control y seguimiento del riesgo** Únicamente propuesto por los expertos, se encontró la necesidad de contar con un equipo de profesionales destinados a identificar y controlar los riesgos asociados a la etapa de construcción, tales como problemas contractuales y de seguridad. Los reclamos (claims) son parte cotidiana de proyectos con contratos ambiguos o deficiencias en la identificación de imprevistos (por consiguiente mala estimación de plazos y/o costos de contingencia) o eventos de fuerza mayor.

7.3. Resumen de Factores

A continuación se presentan los factores identificados desde el análisis bibliográficos y las entrevistas a profesionales expertos.

Etapa	Factores
Estudios Previos	Hidrológicos: Proyección de Crecidas.
	Topografía.
	Geológicos -Geotécnicos.
EIA	Comunidades.
Diseño	Coexistencia de especialidades.
	Detalle de planos y especificaciones técnicas de construcción.
Construcción	Revisión de Ingeniería de Diseño.

Tabla 7.1: Resumen de Factores Técnicos obtenidos del Análisis Bibliográfico.

Etapa	Factores
Estudios Previos	Proyección de Crecidas.
	Predicciones Climáticas.
	Geológicos -Geotécnicos.
EIA	Comunidades.
Diseño	Integración de especialistas en Construcción
	Complejidad de Ingeniería para obtención de RCA
	Detalle de planos y especificaciones técnicas de construcción.
Construcción	Revisión de Ingeniería de Diseño.
	Control y seguimiento del riesgo (Matriz de Riesgos).

Tabla 7.2: Resumen de Factores Técnicos obtenidos de entrevistas a expertos.

7.4. Recomendaciones

Basado en los factores técnicos identificados en el análisis bibliográfico y cuestionarios a profesionales expertos así como en el conocimiento adquirido en la academia y en terreno por el autor, en el presente apartado se propusieron recomendaciones u oportunidades de mejora para contribuir al desarrollo de proyectos hidroeléctricos en Chile.

7.5. Estudios Geológicos-Geotécnicos

Correspondiente a la etapa de estudios técnicos previos, los geológicos-geotécnicos tomaron gran relevancia según las narrativas de expertos. Se pudo concluir que está subvalorado en los proyectos nacionales la necesidad de suficiencia en la caracterización de los sitios de trabajo.

La actual tecnología permite instalar maquinaria para recolección de muestras en terrenos de geografía abrupta. Sin embargo, es usual contar con justificaciones que apuntan a la imposibilidad de ello. Caso ejemplar fue el Rescate de los 33 mineros producto del derrumbe en la mina San José en el año 2010, donde se realizaron sondajes a 700m de profundidad y se logró acertar al pequeño refugio donde se encontraban atrapados. En proyectos que requieren túneles con varios kilómetros de largo, es imprescindible, según la tecnología que se emplee para su concepción, eliminar la mayor incertidumbre posible.

En el caso de la excavación mediante métodos convencionales y utilizando la metodología NATM¹, existe mayor flexibilidad y posibilidad de adaptación respecto a las propiedades geotécnicas del macizo, pero las condiciones geológicas tales como fallas inclinadas, estratigrafía o presencia de agua representan un potencial riesgo a la estabilidad de la obra y por consiguiente a los trabajadores presentes. La orientación de las diaclasas paralelas al eje del túnel y la existencia de suelos arcillosos en estas es otro de los potenciales riesgos que son causales de falla.

Si se utiliza excavación mecanizada, el nivel de incertidumbre es una de los principales aspectos a considerar. Las máquinas tuneleras (TBM²) son fabricadas específicamente para cada proyecto y se diseñan según las especificaciones del suelo o roca a excavar. El uso de este tipo de maquinaria es muy eficiente cuando se tienen condiciones favorables en cuanto a homogeneidad del macizo, alcanzando rendimientos de hasta tres o cuatro veces mayor al método convencional con NATM. El mayor inconveniente del uso de TBM es la poca flexibilidad de adaptación ante cambios en la estratigrafía. En Chile, dada la alta probabilidad de variación que presentan los macizos, presenta un desafío para este tipo de tecnología.

El aumento en el presupuesto final del proyecto producto de estudios insuficientes, puede alcanzar niveles tan altos que pondría en duda su factibilidad económica. Es por ello que no debe haber supeditación de estos estudios ante los plazos y costos de ejecución de los mismos (Ver Figura 7.1). Un ejemplo a ser citado es la construcción de la central hidroeléctrica

¹NATM: Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles

²Tunnel Boring Machine

Los Córdoros, situada en San Clemente, región del Maule. La exploración finalizó con un valor de 0.33 en la relación propuesta por Hoek y Palmieri (1998). Producto de el nivel de incertidumbre y que el método de excavación utilizado fue mecanizado, se encontró material que no fue previsto y hubo atrasos considerables (años) y paralelamente aumento en los costos. Mismo caso sucedió con el proyecto Alto Maipo, cuya excavación también es mecanizada y donde la diferencia entre estudios hidrogeológicos y la realidad resultó en un desafío que terminó en aumentos significativos en el presupuesto, necesitando la integración de nuevos inversionistas.

En la actualidad no existen metodologías estándar para realizar los estudios, por ello es necesario incorporar las presentes problemáticas a la academia y enriquecer la formación de los nuevos profesionales para impulsar la innovación en el tema. Un buen acercamiento es el documento realizado por M. Jaramillo para Enel (Ver Anexo D), donde el autor expuso recomendaciones para las investigaciones geotécnicas dedicadas a proyectos hidroeléctricos.

No existe una regla estandarizada de la cantidad de exploración a ejecutar para tener una buena caracterización geológica-geotécnica, pero existe una recomendación de Hoek y Palmieri (1998) que indica que para tener un nivel de certeza en el CAPEX entre 15 % al 5 %, se debe explorar entre un 50 % a un 100 % de la longitud del túnel respectivamente. (M. Jaramillo, 2016, p.08)

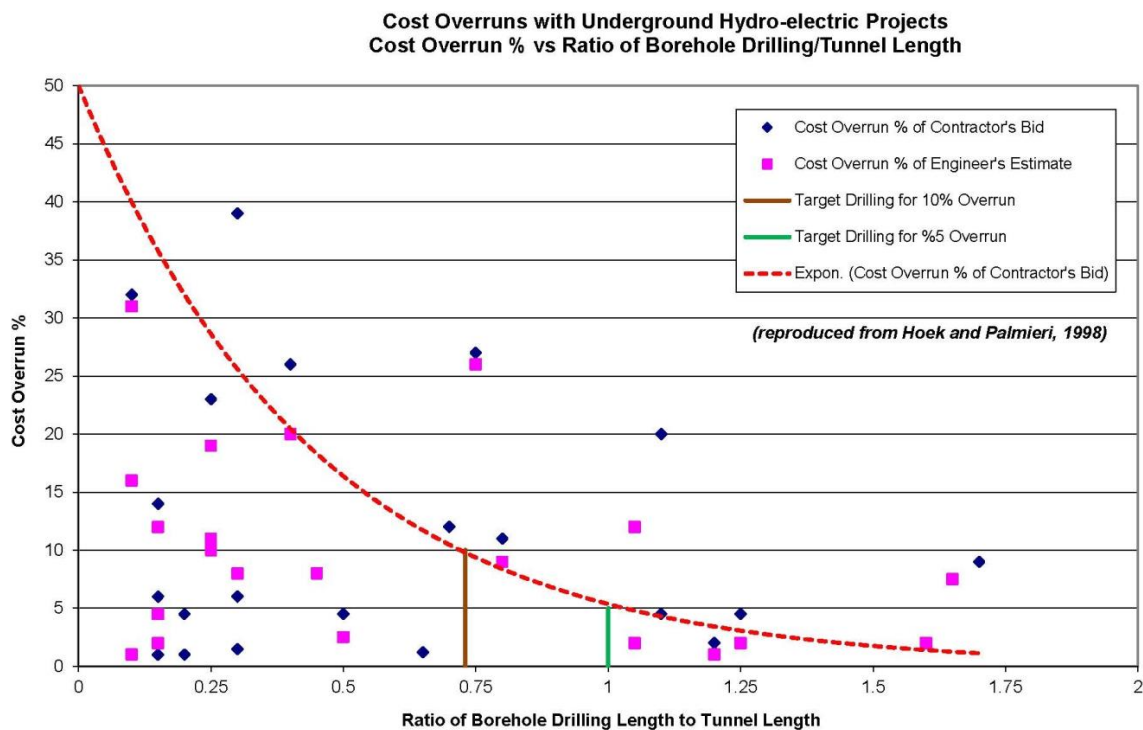


Figura 7.1: Sobrecostos de proyectos hidroeléctricos subterráneos.(M. Jaramillo, 2016, p.08).

7.6. Diseño

En la etapa de diseño, verter la experiencia obtenida del proceso de construcción es una herramienta que permite identificar riesgos, optimizar el volumen de obras y diseñarlas bajo el criterio de constructabilidad. Es por ello que se propone crear instancias dedicadas a esta tarea durante este proceso. El costo de contar con profesionales expertos en construcción que asesoren el diseño no es relevante respecto al costo total del proyecto.

Los cuestionarios a profesionales dejaron en evidencia que en la actualidad se desarrolla esta fase del proyecto de forma individual y sin tener en cuenta lo antes mencionado. La argumentación mencionada fue que los profesionales dedicados al diseño tienen experiencia suficiente que les permite considerar en el diseño los aspectos constructivos. La práctica demuestra que actualmente esa afirmación no es correcta, hay deficiencias en la ingeniería de detalle y especificaciones técnicas de construcción que pasan a los contratistas. En repetidas ocasiones se deben realizar iteraciones entre la oficina en terreno y la de cálculo para solucionar dichas incongruencias, lo cual significa extensión de los plazos y en muchos casos, aumento en los costos.

Relacionado a lo anterior, durante la experiencia en terreno del autor realizando la tercera práctica profesional en el proyecto de construcción de la central hidroeléctrica Los Cóndores, se encontró en reiteradas ocasiones diferencias entre los planos de distintas especialidades, los cuál queda en evidencia en el proceso de materialización. Un ejemplo común de ello es cuando deben interactuar las tres especialidades principales: ingeniería civil, mecánica y eléctrica, donde al superponer los diseños de cada una para lograr el mismo objetivo, en ocasiones no son compatibles. Esto mostró que hay falencias en los procesos de compatibilización y deben revisarse para lograr un producto con el correcto acabado, que evite las iteraciones antes mencionadas entre las diferentes oficinas. En la actualidad está comenzando a implementarse el uso de la metodología BIM³ con lo cual se espera que en el mediano plazo queden solucionadas estas problemáticas, no obstante, aún no está oficializado y por ello deben encontrarse soluciones diferentes.

Otro fenómeno encontrado en esta etapa es la solicitud de la RCA con ingenierías incompletas. Se interpretó que la causa está dada por el tiempo que toma por parte del SEA completar el proceso. Esta solución no justifica que un proyecto se construya de forma diferente a lo aprobado, o que durante la construcción deban agregarse Pertinencias a la RCA y que surjan posibles conflictos con la comunidad, lo cual incide en gran medida en los plazos. La recomendación asociada es que debe culminar la etapa de ingeniería básica antes que el proyecto sea sometido a la evaluación ambiental; para ello la empresa mandante debe contar con el personal adecuado que asesore el diseño en pos de cumplir con los requerimientos de la Ley 19.300 y que finalmente sea aprobado satisfactoriamente.

³BIM: Building Information Modeling. Metodología que permite crear modelos en varias dimensiones (todas las especialidades involucradas) del diseño, manejando coordinadamente toda la información que conlleva en tiempo real.

7.7. Inclusión de las Comunidades

Dada la problemática que existe en los proyectos actuales, donde las comunidades no los aceptan como un aporte al desarrollo energético del país sino como un desmedro en su calidad de vida, es necesario que se incorpore la estrategia de *valor compartido* en las compañías dedicadas al rubro. Se mostró en el documento suficiente evidencia del impacto en plazos y costos que puede resultar de la oposición de la sociedad, incluso evitando que nuevas ideas sean aprobadas.

El Instituto de Estrategia y Competitividad (FSG)⁴ de la Universidad de Harvard durante casi dos décadas se ha dedicado a asesorar organizaciones ideando nuevas estrategias para lograr resultados exitosos en base a equidad y sostenibilidad frente a los complejos desafíos que presenta la sociedad. En la presentación realizada en Chile por sus directores generales Mark Kramer y Dane Smith (2012), explicitaron que el país no puede prosperar de forma sostenible sin mejorar las condiciones sociales:

“El valor compartido es la clave para dar rienda suelta a la próxima ola de innovación y crecimiento empresarial. La exploración de las necesidades de la sociedad llevará a las empresas a descubrir nuevas oportunidades . . . Y reconocer el potencial de mercados nuevos no considerados antes.”

Mientras la generación de energía mediante el resto de las fuentes de ERNC ha tenido aceptación social producto de los menores impactos ambientales las centrales hidroeléctricas han tomado el camino opuesto, con decisiones reactivas debiendo ser proactivas. Es entonces que la recomendación para el desarrollo competitivo de grandes proyectos de generación hidráulica es que la visión y misión de las empresas generadoras incorpore estrategias de valor compartido.

7.8. Construcción

La complejidad del proceso constructivo parte desde la selección del personal idóneo tanto para administrar como para ejecutar la materialización de las obras. Las experiencias narradas expusieron que en reiteradas ocasiones se seleccionan de erróneamente o con un número insuficiente. A esto se suma la deficiencia en la creación de los contratos, que dan pie a reclamaciones (claims) por parte del contratista y que puede terminar en aumento de plazos y costos. La causa de ocurrencia de estos fenómenos no pudo explicarse con hechos concretos, pero no quedó exento de observación y debe ser tomado en cuenta al momento de licitar la construcción.

Con el objetivo de identificar imprevistos y planificar de forma oportuna las soluciones a estos es de vital importancia que el personal directivo lleve a cabo una etapa de revisión de ingeniería y estudios previos para formular planes de seguimiento de riesgos antes de comenzar el proceso constructivo. Esta etapa puede tardar plazos menores a un mes y quedó

⁴Institute For Strategy And Competitiveness

demostrado en los relatos que su eficacia evitó atrasos y mayores costos posteriores.

Finalmente, quedó en evidencia la necesidad de involucrar a la academia en el desarrollo de métodos constructivos. Textos que con antigüedad mayor a 50 años indican procedimientos similares a los actuales y problemas que hacen inviable la aplicación de innovación-ejemplo de ello la construcción de las centrales Los Cóndores y Alto Maipo-muestran que el acontecer nacional carece de investigación al respecto para desarrollar proyectos competitivos en plazos y costos respecto al resto de las fuentes de generación renovables no convencionales.

7.9. Alcance del Estudio

El presente Trabajo de Título tuvo un alcance investigativo. Esto se justificó dada la carencia de información previa sobre el tema de interés revisado en la literatura. El tipo de metodología flexible utilizada, mediante el uso de cuestionarios abiertos y semi estructurados, permitió guiar una investigación exploratoria y descriptiva para identificar conceptos prometedores a estudiar en futuras investigaciones. Es importante que se abra una nueva línea de estudios afines al tema como aporte al desarrollo de la construcción en el país, programas de estudio como el de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile debe incluir en su formación las herramientas necesarias para generar profesionales con perfil orientado a la construcción, sin necesidad de adquirirlas únicamente mediante el aprendizaje en la práctica.

Bibliografía

- [1] Pablo Camus and Ernst R. Hajek. *Historia Ambiental de Chile*. Andros Impresores, Santiago, 1998.
- [2] University of Texas Construction Industry Institute. *Constructability: A Primer*. Construction Industry Institute [CII], Austin, 1986.
- [3] Mercado Energético Consultores. *Análisis de consumo eléctrico en el corto, mediano y largo plazo, informe final-resumen ejecutivo*. Comisión Nacional de Energía, Chile, 2014.
- [4] Centro de despacho económico de carga sistema interconectado central (CDEC SIC). *Estudio de Previsión de Demanda 2015-2035 (2050)*. Dirección de Planificación y Desarrollo, Santiago, 2015.
- [5] Ministerio de Energía. *Política Energética de Chile, Energía 2050*. Ministerio de Energía, Santiago, 2015.
- [6] Asociación de Generadoras de Chile. *Boletín del Mercado Eléctrico Sector Generación*. Generadoras de Chile, Santiago, Octubre 2017 y 2018.
- [7] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GMBH. *El Potencial Eólico, Solar e Hidroeléctrico de Arica a Chiloé*. Ministerio de Energía, Santiago, 2014.
- [8] Zulay Giménez Palavicini and Carlos Suárez Isea. Diagnóstico de la gestión de la construcción e implementación de la constructabilidad en empresas de obras civiles. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23:04 – 17, 04 2008.
- [9] J. Guthrie Brown. *Hydro-electric engineering practice Vol1*. Blackie Son Limited, London, 1st edition, 1958.
- [10] M. Jaramillo, R. Troiani, and P. Fagnoli. *Recomendaciones para la investigación geotécnica de proyectos hidroeléctricos*. ENEL, Santiago, primera edición, 2016.
- [11] Mark Kramer and Dane Smith. Valor compartido. *Revista Capital*, Contenido Digital, <http://www.capital.cl/wp-content/uploads/2012/09/presentacion-mark-kramer.pdf>, 09 2012.
- [12] M. Loyola, L. Goldsack Jarpa, and Universidad de Chile. *Constructividad y arquitectura*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Santiago, 1a.ed., version digital. edición, 2010.

Anexos

Anexo A

Modelo de Cuestionario Abierto

Orientaciones

Estimadas y estimados,

Con el objetivo de desarrollar el Trabajo de título para optar al grado de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, le invito a a participar de la presente encuesta. El trabajo es dirigido por el profesor Adolfo Ochoa Ll.

La información obtenida será utilizada para analizar los factores técnicos relevantes que inciden en la constructabilidad de centrales hidroeléctricas en Chile, resumiendo su importancia dada la influencia en tiempos y costos para la etapa de construcción.

Le agradezco de antemano su colaboración

Saludos cordiales

Alejandro Tió Campdesuñer.

El cuestionario es de carácter abierto, por lo cual usted es libre de responder las preguntas sin el uso de una estructura determinada. Además, puede completar sus respuestas utilizando diferentes ventanas de tiempo (no es necesario que lo haga todo de una vez).

Preguntas:

1. Desde su experiencia: ¿Qué problemas técnicos o de otro tipo fueron relevantes e incidieron en los costos, plazos o calidad del (los) proyecto(s) en que trabajó? (Para cada uno de los proyectos en que estuvo).
2. En caso de encontrarse actualmente desarrollando un proyecto, ¿Qué problemas técnicos o de otro tipo han sido relevantes e incidieron en los costos, plazos o calidad?
3. Indique cuánto incidió cada problema en costos, plazos, calidad u otro aspecto; afectando al proyecto en cuanto a su competitividad. (De qué orden, como % del valor del contrato o del proyecto).
4. ¿Cómo fue resuelto cada problema técnico o de otro tipo que tuvo que afrontar?

Anexo B

Modelo de Cuestionario Semi Estructurado

Orientaciones

Estimadas y estimados,

Con el objetivo de desarrollar el Trabajo de título para optar al grado de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, le invito a a participar de la presente encuesta. El trabajo es dirigido por el profesor Adolfo Ochoa Ll.

La información obtenida será utilizada para analizar los factores técnicos relevantes que inciden en la constructabilidad de centrales hidroeléctricas en Chile, resumiendo su importancia dada la influencia en tiempos y costos para la etapa de construcción.

Le agradezco de antemano su colaboración

Saludos cordiales

Alejandro Tió Campdesuñer.

Las respuestas en este cuestionario corresponden a las selección de las opciones:

- Mucho
- Poco
- Nada
- No lo se.

Salvo en casos de selección múltiple o del tipo:

- Si
- No
- No lo se.

Complementario a cada pregunta se pide justificación con carácter abierto de respuesta.

Preguntas:

1. Entendiendo Estudios Previos por ejemplo: Topográficos, Geológicos - Geotécnicos, Sociales, Hidrológicos y Ambientales.
 - (a) ¿Considera los Estudios Previos un Factor Técnico relevante en para la etapa de construcción de proyectos hidroeléctricos?
 - (b) ¿Cuál considera de mayor relevancia y por qué?
 - (c) ¿Qué nivel (%) de incertidumbre considera aceptable para lograr la materialización de un proyecto hidroeléctrico dentro de Costos y Plazos predefinidos respecto a los estudios Geológico-Geotécnicos?
 - (d) ¿Cuánto porcentaje (%) del Costo Total de inversión estima que se destina a los Estudios Técnicos Previos?
 - (e) ¿Cuánto incide respecto a PLAZOS la incertidumbre asumida luego de los Estudios Técnicos Previos?
 - (f) ¿Cuánto incide respecto a COSTOS la incertidumbre asumida luego de los Estudios Técnicos Previos?
2. En relación a las comunidades.
 - (a) ¿Cuánto riesgo con relación a PLAZOS representa la influencia de las comunidades en la materialización de un proyecto hidroeléctrico?
 - (b) ¿Cuánto riesgo con relación a COSTOS representa la influencia de las comunidades en la materialización de un proyecto hidroeléctrico?
 - (c) ¿Históricamente se ha considerado a las comunidades para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos?
 - (d) En caso de ser POCO o NADA su respuesta, ¿Desde cuándo empezó a tomar relevancia? ¿Por qué?
 - (e) ¿Cuán de acuerdo está con la importancia que se da en el presente al relacionamiento comunitario para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos?
 - (f) ¿Cuán de acuerdo está en que deben ser incluidas dentro de la formación Técnica del Profesional habilidades para internalizar el relacionamiento comunitario como parte de un proyecto?
 - (g) ¿Cuán de acuerdo está en que el relacionamiento comunitario debiese ser considerado cómo un Factor Técnico a analizar para garantizar el desarrollo exitoso del proyecto?
3. Teniendo en cuenta los efectos en recursos naturales renovables (suelo, agua, biota) y zonas arqueológicas.
 - (a) ¿Cuán relevante como Factor Ambiental considera el manejo de Residuos y Emisiones en la etapa de construcción de proyectos hidroeléctricos?
 - (b) ¿Considera la selección de sitios de empréstitos y botaderos como Factor Ambiental relevante en la etapa de construcción de proyectos hidroeléctricos?
 - (c) ¿Cuánto riesgo con relación a PLAZOS representa la selección de estos sitios?
 - (d) ¿Cuánto riesgo con relación a COSTOS representa la selección de estos sitios?
4. En relación con los riesgos asociados a la construcción: Geológicos, Seguridad Laboral y Reclamaciones.

- (a) ¿Qué otro riesgo añadiría? ¿Por qué?
 - (b) ¿En qué etapa de desarrollo del proyecto considera que se debe hacer la identificación y caracterización de riesgos? Puede seleccionar más de una.
 - Conceptual (Prefactibilidad)
 - Factibilidad
 - Ingeniería Básica
 - Ingeniería de detalle
 - Construcción
 - (c) ¿Cómo considera que se debe hacer seguimiento y control de riesgos en la etapa de construcción? Comente.
 - (d) ¿Cuánto considera que influye en los PLAZOS el seguimiento y control de riesgos en la etapa de construcción?
 - (e) ¿Cuánto considera que influye en los COSTOS el seguimiento y control de riesgos en la etapa de construcción?
 - (f) ¿Qué acciones deben tomarse para evitar reclamaciones? Comente
 - (g) ¿Cuán necesario considera contratar personal especializado para atender reclamaciones en la etapa de construcción?
5. Ingeniería de Compatibilidad
- (a) ¿Existen procesos de revisión de planos y procedimientos para la compatibilización de diseños entre las diferentes disciplinas presentes en los proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas?
 - (b) Si existen, ¿En qué etapa (o etapas) se ubica este proceso? Puede seleccionar más de una.
 - Conceptual (Prefactibilidad)
 - Factibilidad
 - Ingeniería Básica
 - Ingeniería de detalle
 - Construcción
 - (c) ¿Cuán frecuente se encuentra con discrepancias entre planos de diferentes especialidades en la etapa de construcción?
 - (d) ¿Cuánto afecta en los PLAZOS las diferencias entre planos de diferentes especialidades en la etapa de construcción?
 - (e) ¿Cuánto afecta en los COSTOS las diferencias entre planos de diferentes especialidades en la etapa de construcción?

6. Factor Humano

- (a) El personal directivo en la etapa de construcción de centrales hidroeléctricas, ¿Es clasificado técnicamente?
 - Si
 - No
 - No lo se.
- (b) Si su respuesta anterior es SI. ¿Mediante qué parámetros es clasificado el personal directivo? Comente
- (c) ¿Cuán relevante es la Nacionalidad del personal directivo en la etapa de construcción de centrales hidroeléctricas en Chile?
- (d) ¿Cuán relevante es la institución de formación (casa de estudios) del personal directivo en la etapa de construcción de centrales hidroeléctricas en Chile?
- (e) ¿Cuánto tiempo de experiencia en el área cree usted que debe tener el profesional para adquirir capacidad directiva en la etapa de construcción?
- (f) Dada su experiencia en proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas en Chile, ¿Cuán frecuente es que participen profesionales especializados en construcción como parte del equipo en la etapa de diseño?

Anexo C

Profesionales Participantes

Tomás Barrueto Vergara

Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María (1972-1979). Profesional con 38 años de experiencia en Administración de Contratos, Programación y Costos, Supervisión de Obras, Jefatura de Inspección Técnica de Proyectos Hidroeléctricos, Subgerencia de Operación y Mantenimiento de proyectos Hidroeléctricos, Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos. Se ha desempeñado en empresas tales como: CODELCO Chile, Gordo Atkinson y CÍA, Eugenio Gordo y CÍA., Endesa S.A, y Colbún S.A. En la actualidad se desempeña como Gerente de Proyectos Alto Maule, correspondiente a la compañía Colbún S.A.

Héctor Maulén Alcantar

Ingeniero Civil Hidráulico y Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad de Chile con más de 17 años de experiencia en el sector industrial y energético de Chile. Gerente de Desarrollo y de Proyectos Hidroeléctricos por más de 12 años. Cuatro de ellos en la compañía australiana HydroChile S.A y siete años en la compañía brasileña Atiaia Energia SpA. Dentro de su carrera profesional se ha desempeñado en cada una de las etapas de desarrollo y construcción de proyectos hidroeléctricos, ya sean en etapas técnico-ambientales, financieras, comerciales y comunitarias, liderando estas actividades a través de equipos multidisciplinarios. En la actualidad se desempeña como Gerente Técnico y de Proyectos y segundo ejecutivo a cargo de la empresa de generación Atiaia Energía Chile.

Oswaldo Richards Abans

Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, titulado 1965. Fellow del EDI (Banco Mundial), Project Management Course 1977, Washington D.C. Experiencia en diversas fases de ingeniería de proyectos, desempeñándose desde Ayudante de ingeniero hasta Jefe de Proyecto en ENDESA S.A por 25 años. Gerente de Dirección de Proyectos por 6 años en INGENDESA, Gerente de Proyecto en la Central Costanera (Buenos Aires) por tres años. Administrador e

Inspector Fiscal de la Concesión Vial Santiago–Talca para la Coordinación General de Concesiones del MOP. Jefe de Proyecto Línea 4 primero y Línea 1 Oriente después En METRO S.A, Actualmente Gerente de Ingeniería de Inversiones La Frontera del Biobío para compañía Energía Llama SpA.

Ezequiel Camus Hayden

Ingeniero Civil Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile (1969-1974). Ingeniero Civil. Experiencia en administración de contratos de construcción de obras civiles, coordinación de estudios y proyectos, construcción e inspección técnica de obra. Participación como Asesor del Departamento de Estudios del Ministerio del Interior. Jefe División Contratos Empresa Eléctrica Pehuenche S.A.. Gerente de Construcción en GasAtacama Generación Ltda por siete años. Administrador de Contrato para CMPC Celulosa, Jefe de Control de Contratos empresa CGE Generación S. A. Subgerente de Proyecto compañía Colbún S.A durante 6 años. Actual asesor independiente para proyectos de Ingeniería.

Hector Llanos S.

Ingeniero Civil en Obras Civiles de la Universidad de Santiago de Chile. Profesional con 18 años de experiencia en proyectos de Centrales Hidroeléctricas. Consultor independiente para empresas: Jacobs, Baquedano Energía y Compañías de Seguros. Gerente de Proyecto para ALSTOM Chile S.A. Director de Proyecto para: SN Power- Pacific Hydro, SELI Chile LTDA. Y SELI SPA (ITALIA) y Jacobs Chile. Ingeniero Jefe Residente del Servicio de Inspección de Obras para Consorcio Cruz Y Dávila – Zañartu. Gerente de Construcción compañía Alto Maipo SPA (AES GENER). Actual Gerente de Calidad en Proyecto Central Hidroeléctrica Alto Maipo perteneciente a compañía Alto Maipo SPA (AES GENER).

Ricardo Mutis Magagnato

Ingeniero Civil en Obras Civiles de la Universidad de Santiago de Chile. Profesional con 22 años de experiencia en proyectos hidroeléctricos. Desempeño en cargos de Administrador de Contratos y Analista de Contratos, Jefe de Contratos para Sudamérica, Gerente de Contratos y Jefe de Proyecto. Participación en empresas: Empresa Eléctrica Pangué S.A, INGENDESA, ENDESA Chile, SKM, HidroAysén S.A, HydroChile S.A.. Actual Jefe de Proyecto en HidroÑuble SPA.

Luis Uribe Crisóstomo

Ingeniero Civil Mención en Construcción. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción Pontificia Universidad Católica de Chile (1994). Grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Especialidad en Materiales. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción Pontificia Universidad Católica de

Chile (1998). Cuenta con 24 años de experiencia profesional. Durante su carrera profesional se ha desempeñado como ingeniero de terreno en la construcción de cinco plantas de generación energética: Central Hidroeléctrica Pangué (467 MW), Central Hidroeléctrica Loma Alta (40 MW), Central Térmica de Ciclo Combinado San Isidro (370 MW), Central Hidroeléctrica Ralco (690 MW) y Central Hidroeléctrica Palmucho (32 MW); en ésta última ocupando cargo de Director de Proyecto y en paralelo en la jefatura de la nueva Área de Desarrollo de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) de Ingendesa. Participación como Project Manager y Site Manager de la Central Hidroeléctrica Los Cóndores hasta principios de 2018.

Luis Eduardo Ruiz Cantillana

El profesional no aportó su Currículum Vitae, aunque respondió las encuestas. Actualmente se desempeña en la empresa Enel y posee una larga trayectoria y experiencia en el área hidroeléctrica.

Adolfo Ochoa Llangato

Ingeniero Civil, mención Estructuras, Universidad de Chile. Magíster en Administración de Empresas (MBA), Universidad de Talca. Profesional con una extensa experiencia en el desarrollo de proyectos y construcción de obras civiles. En sus primeros 9 años de trabajo participó en el desarrollo de proyectos y construcción de embalses, para relaves y para generación hidroeléctrica, consistentes en presas de tierra. Luego se ha desempeñado, durante 24 años, en el desarrollo de proyectos y construcción de obras hidráulicas con fines de generación eléctrica. Durante ese período alcanzó grados gerenciales en empresas privadas, desempeñándose actualmente como asesor independiente. Ha trabajado además en construcción de obras para el Metro de Santiago y en construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas; además de haber ejercido el cargo de gerente general de la Junta de Vigilancia del Río Maule. Ha adquirido su experiencia desarrollándose en empresas tales como: HydroChile S.A., CGE Generación S.A., Degremont Ltda., Besalco Construcciones S.A., Pangué S.A, Pehuenche S.A y Consultora MN Ingenieros Ltda.

Anexo D

Recomendaciones para la investigación
geotécnica de proyectos hidroeléctricos.
M. Jaramillo




GUÍA

RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS


16XXX-03-01-IIA-ITE-001 Versión A

A	Enero 12, 2016	Primera Edición	M. Jaramillo	R.Troiani / P.Fagnoli	R.Troiani
Version	Date	Modifications	Prepared by	Reviewed by	Approved by

	GUÍA	Page 1 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

ÍNDICE

1	ALCANCE	2
2	DEFINICIÓN DE LAS FASES DE INGENIERÍA	2
3	INVESTIGACIÓN DE OBRAS CIVILES.....	4
3.1	Presa de rellenos o de concreto	7
3.2	Barrera	7
3.3	Ataguías	7
3.4	Túnel	7
3.5	Chimenea de equilibrio	10
3.6	Cámara de carga.....	10
3.7	Tubería	10
3.8	Ventanas o túneles auxiliares.....	10
3.9	Canal.....	10
3.10	Casa de máquinas.....	11
3.11	Caverna.....	11
3.12	Taludes.....	11
3.13	Caminos	11
3.14	Línea de Transmisión	12
3.15	Subestación Eléctrica	12
3.16	Yacimientos.....	12
3.17	Botaderos	13
3.18	Obras temporales	13

	GUÍA	Page 2 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

1 ALCANCE

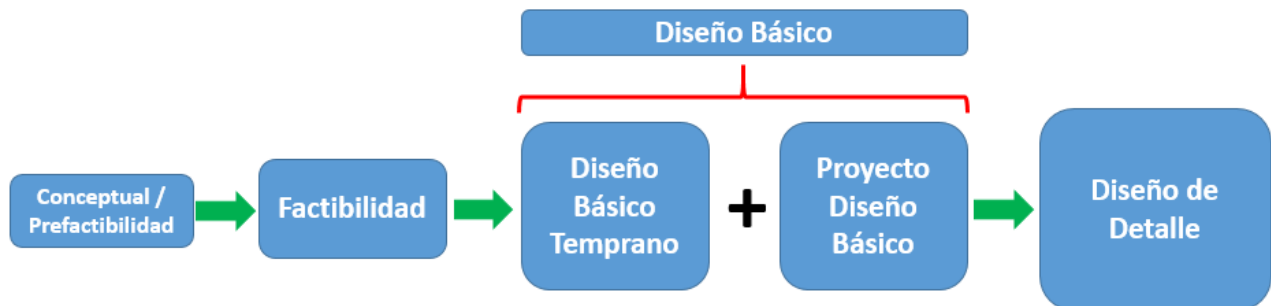
El propósito de esta Guía es entregar recomendaciones sobre los estudios de terreno a realizar en el desarrollo de la ingeniería de proyectos hidráulicos. El objetivo de estos estudios es obtener suficientes datos del sitio del proyecto para proporcionar información confiable, que será la base de los diseños de ingeniería. Estas recomendaciones tienen en cuenta las experiencias recientes de construcción de proyectos hidroeléctricos.

Además, la magnitud de esta información permitirá reducir las incertidumbres del diseño y la construcción, proporcionando un costo de las obras más fiable.

Estas recomendaciones son una guía de referencia para la determinación y cuantificación de la investigación necesaria a ejecutar, que también dependerá del tamaño y tipo de las obras civiles a ser proyectadas.

2 DEFINICIÓN DE LAS FASES DE INGENIERÍA

Este capítulo define las fases de ingeniería relativa al desarrollo típico de proyectos hidroeléctricos.




En la tabla 2.1, cada fase de ingeniería es descrita en términos de su definición, objetivo y metodología.

Además, se describen las definiciones generales de las investigaciones geotécnicas y topográficas para cada fase de diseño.

TABLA 2.1: DESCRIPCIÓN DE FASES DE INGENIERÍA

DESCRIPCIÓN DE FASES DE INGENIERÍA PROYECTOS HIDRÁULICOS						
FASE	CONCEPTUAL / PREFACTIBILIDAD	FACTIBILIDAD	DISÑO BASICO TEMPRANO	DISÑO BASICO	PROYECTO DISEÑO BASICO	DISEÑO DE DETALLE
DEFINICIÓN	<p>Conjunto de documentos que presentan un proyecto a nivel de idea, con una configuración muy preliminar de obras y costos, y eventuales alternativas.</p>	<p>Conjunto de documentos que certifican la posibilidad de materialización del proyecto desde el punto de vista técnico (diseño), económico (presupuesto) y evaluación (económica) y socioambiental (identificación de impactos y mitigación).</p> <p>Deben cubrir aspectos de diseño (normas aplicables, criterios, solicitudes, indicación de impactos socioambientales, disponibilidad de materiales y equipos, etc.), viabilidad (viabilidad técnica e infraestructura para asegurar la construcción de la obra, operabilidad (que contenga todos los elementos para operar conforme a lo previsto y cumpliendo con las normas y leyes aplicables); funcionalidad (que se dispone de los recursos técnicos para funcionar y producir beneficio conforme a lo previsto).</p> <p>Esta etapa debe aportar los antecedentes necesarios para la elaboración del Estudio Impacto Ambiental.</p>	<p>Conjunto de documentos que permiten la licitación de todos los estudios de terreno.</p> <p>Desarrollo de todos los estudios de terreno, supervisión e inspección.</p> <p>Optimización del diseño general sobre la base de los estudios de terreno.</p> <p>Esta etapa debe aportar todos los antecedentes necesarios para la elaboración del Estudio Impacto Ambiental.</p>	<p>Conjunto de documentos técnicos (planos, especificaciones técnicas, cotejos, cuadros de datos, bases de medición y pago, etc.) y administrativos (cantidad de contratos y sus límites de garantía, bases administrativas, normas ambientales, etc.) requeridos para la licitación y contratación de la construcción de las obras civiles, el diseño, adaptación, montaje y puesta en servicio de los equipos, y la actividad del IC (Investment Committee).</p>	<p>Conjunto de documentos con el nivel de detalle suficiente para materializar la construcción del proyecto. En esta etapa se debe actualizar la Ingeniería básica con los cambios surgidos del proceso de licitación y los ajustes por permisos ambientales y de construcción, los cuales varíen según la normativa de cada país.</p>	
OBJETIVO	<p>Identificación y evaluación cualitativa de posibles alternativas para o más para concebir la obra de ingeniería.</p>	<p>Definición del proyecto desde el punto de vista técnico en todas sus partes (ingeniería, acceso, constructibilidad, presentaciones, programas de ejecución, riesgo, funcionalidad, operabilidad, etc.), para dejar fijo el emplazamiento de la obra y poder realizar el reconocimiento socioambiental.</p> <p>Desarrollo de todos los aspectos para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.</p> <p>Desarrollo de todos los antecedentes necesarios a fin de sustentar las solicitudes de permisos exigidos por las normativas vigentes para llevar a cabo el proyecto, sean éstos internos del inversionista o requeridos por la autoridad.</p> <p>A partir del diseño desarrollado en esta etapa, definir los estudios de terreno a realizar en la etapa siguiente.</p>	<p>Desarrollar todos los estudios de terreno que permitan validar el diseño definido en la etapa de Factibilidad y entregar los parámetros de diseño para la etapa de Ingeniería Básica.</p>	<p>Obtener el conjunto de documentos para la licitación del proyecto.</p> <p>Realizar optimizaciones de los diseños, definir las características y dimensiones de las partes de obra (resguardos por memorias y planos), y obtener un presupuesto referencial más ajustado para licitar la construcción.</p> <p>Definir la modalidad con que se construirá el proyecto (precios unitarios, suma alzada, IPC, fave en mano).</p> <p>Contar con todos los antecedentes para la elaboración del IPP (Investment Proposal Package) para solicitar la aprobación del IC (Investment Committee).</p> <p>A partir del diseño desarrollado en esta etapa, definir los eventuales estudios de terreno a realizar en la etapa siguiente, si se requiere.</p>	<p>Detallar las obras proyectadas en la Ingeniería básica a un nivel que permita su construcción.</p> <p>Ajustar los diseños sobre la base de lo planteado en el proceso de licitación (disponibilidad, incorporación de nuevas tecnologías, temporales o secuencia constructiva).</p> <p>Estudiar y optimizar obras que aún cuentan con incertidumbres y que afectan de forma considerable al programa y presupuesto del proyecto desarrollado en la etapa de Ingeniería Básica (si se requiere).</p> <p>Realizar el control y seguimiento de los compromisos y obligaciones ambientales y sociales que hayan sido planteados en el EIA y exigidos en la resolución de aprobación ambiental del proyecto (PCA en Chile).</p>	
ANTECEDENTES	<p>Información general de la obra de Ingeniería que permite identificar su tipología y propósito.</p>	<p>Proyecto Conceptual.</p> <p>Alternativas de proyecto desarrolladas en la etapa de Prefactibilidad con sus estudios asociados.</p> <p>Lineamientos estratégicos de la empresa.</p>	<p>Proyecto de Factibilidad</p> <p>Lineamientos estratégicos de la empresa.</p> <p>Antecedentes complementarios de la Dirección de Proyectos (actualizaciones socioambientales, catástrofes o compras de terreno, derechos o concesiones, intervenciones, etc.)</p>	<p>Proyecto de factibilidad</p> <p>Investigación de terreno realizada en Early Basic</p> <p>EIA</p> <p>Antecedentes complementarios de la Dirección de Proyectos (actualizaciones socioambientales, catástrofes o compras de terreno, derechos o concesiones, intervenciones, etc.)</p>	<p>Proyecto de Ingeniería Básica</p> <p>Documentos Técnicos de Licitación y Resultado del Proceso de Licitación del Proyecto.</p> <p>Otros documentos operativos emitidos en el ámbito de la Ingeniería básica y el inicio de ing. de detalle.</p> <p>Resolución de aprobación ambiental del proyecto (PCA en Chile).</p>	
METODOLOGÍA	<p>Identificación cualitativa de posibles alternativas viables desde el punto de vista técnico, ambiental, social, legal y económico, en base a un reconocimiento general del terreno, la realidad de los antecedentes y los estudios para la licitación del proyecto.</p> <p>Obras civiles</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio de antecedentes 2. Visita a terreno 3. Informe visita 	<p>Identificación de los aspectos más importantes que permitan evaluar la viabilidad de cada una de las alternativas de la obra de Ingeniería, estableciendo las principales características de cada variante con sus ventajas y desventajas, para descartar aquellas que no concuerdan con la viabilidad técnica, ambiental y social.</p> <p>Además se realiza una valoración de cada alternativa con costos actualizados de partes de obras similares conexas.</p> <p>Obras civiles</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio de antecedentes, visita de reconocimiento general. 2. Ejecución de trabajos en terreno, supervisión y supervisión inspección topográfica. 3. Informe geológico-geotécnico, de yacimientos y botaderos. 4. Estudios de prefactibilidad 5. Cotejos 6. Identificación de incertidumbres y recomendaciones de estudios para factibilidad. 	<p>Ejecución de estudios de terreno para reconocimiento de todas las variables: cartográfica, hidrotopográfica, geológica y geotécnica.</p> <p>Obras civiles</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio de antecedentes, visita de reconocimiento general. 2. Preparación de documentos técnicos para licitación de estudios de terreno y evaluación de ofertas. 3. Ejecución de trabajos en terreno, supervisión y visitas específicas. 4. Inspección de los trabajos en terreno. 5. Informe geológico-geotécnico, de yacimientos y botaderos. <p>Con la información topográfica y geológica/geotécnica, se optimizará el diseño general. Se pueden analizar diferentes soluciones con el objetivo de mejorar la rentabilidad del proyecto.</p>	<p>Diseño de cada obra, planos, memorias de cálculo, ubicación, especificaciones técnicas, cronograma y presupuesto del proyecto.</p> <p>Obras civiles</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio de antecedentes. 2. Difusión, memorias de cálculo y planos. 3. Especificaciones técnicas 4. Cotejos 5. Identificación de incertidumbres y recomendaciones de estudios para diseños de detalle. 	<p>Elaboración de planos de detalle de la totalidad de las obras del proyecto, memorias de cálculo, especificaciones técnicas particulares e instrucciones y procedimientos para la construcción y montaje.</p> <p>Complementación de los estudios de terreno, si corresponde, que permita definir con mayor precisión algunas obras que conforman el proyecto. Si fuese necesario, realización de actualizaciones o modificaciones al proyecto.</p> <p>Monitoreo de los compromisos y obligaciones ambientales y sociales, aplicables a la etapa de construcción del proyecto que hayan sido planteados en el EIA o en sus respectivas actas y que hayan sido exigidos por la resolución de aprobación ambiental del proyecto (PCA en Chile).</p> <p>Obras civiles</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio de antecedentes y visita de reconocimiento general. 2. Revisión y análisis de observaciones procedentes del proceso de licitación 3. En caso de requerir, actualización trabajos en terreno, seguimiento y supervisión inspección campañas. 4. En caso de requerir, actualización elaboración de informes geológicos-geotécnicos complementarios. 5. Diseños de detalle, planos y si se requieren MCA, CUB y ETE. 6. Integración con la oficina técnica de terreno. 	
ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA	<p>Topografía</p> <p>Cartografía general escala 1:50.000</p> <p>Compra de datos, cartas de toda la zona, en la mejor escala disponible.</p> <p>Proyectos geográficos, si con poco detalle podrán requerir mayor detalle.</p> <p>Verificación de la ubicación puntos topográficos y verificación derechos, cédulas.</p>	<p>Topografía</p> <p>Comprar topografía escala 1:10.000. Si no existe, evaluar la mejor estrategia para obtenerla.</p> <p>Evaluar la necesidad de una topografía más detallada y/o perfiles batimétricos en zona de presa.</p> <p>En alta montaña, evaluar la necesidad de una topografía más detallada para cotejos 1:5.000 a 1:1.000 en casos puntuales.</p> <p>En zonas de condiciones climáticas adversas, si se requiere levantar topografía con LIDAR, evaluar si se levanta a una escala más detallada adaptándose las necesidades de otras etapas.</p> <p>Perfiles batimétricos e hidrográficos a lo largo del río, represas, descarga, zona de presa u otras obras cercanas al río.</p> <p>Inspección levantamientos.</p>	<p>Topografía</p> <p>Desarrollo de topografía para tener el detalle la siguiente precisión en las obras:</p> <p>Escalas: 1:5.000</p> <p>Obras superficiales y caminos: 1:1.000</p> <p>Obras temporales (reclutamiento, botaderos, campamentos, etc.): 1:2.000</p> <p>Revisar necesidad de topografía para mejoramiento o modificación de caminos existentes.</p> <p>Verificar que exista batimetría suficiente para las siguientes obras:</p> <p>Síto de presa</p> <p>Obras de captación y descarga</p> <p>Puentes</p> <p>Yacimientos o botaderos cerca de cursos de agua.</p> <p>Levantamientos relacionados con elaboración PADE.</p> <p>Topografía complementaria aguas abajo de la presa, escala según definición IH para cada proyecto.</p> <p>Perfiles batimétricos complementarios para modelo hidráulico.</p> <p>Caracterización de uso de suelo (para definir rugosidades).</p> <p>Levantamiento de singularidades (puentes o otro que afecte el flujo).</p> <p>Inspección levantamientos.</p>	<p>Topografía</p> <p>Eventual complemento de topografía, de ser necesario.</p> <p>Inspección levantamientos.</p>	<p>Topografía</p> <p>Levantamientos topográficos locales de escalas 1:500 o inferior, si es necesario.</p> <p>Zona de presa, botadero y descarga.</p> <p>Puentes.</p> <p>Puntos.</p> <p>Inspección levantamientos.</p>	
ESTUDIO DE TERRENO: GEOLOGÍA / GEOTECNIA	<p>Geología</p> <p>Reconocimiento geológico-geotécnico de superficie y celdas de mapeo donde se pueda acceder, para identificación de unidades, litología e identificación de estructuras principales.</p> <p>Eventual desarrollo de estudios de bajo costo y rápidos de ejecutar como prospecciones específicas.</p> <p>Eventuales prospecciones hecho del río para presas > 75 m, objeto de encontrar contacto suelo-roca.</p> <p>Inspección y supervisión.</p> <p>Geotécnica:</p> <p>Reconocimiento de superficie para identificación de sitios de yacimientos y botaderos, condiciones de accesibilidad y reconocimiento general emplazamiento obras.</p>	<p>Geología-Geotécnica:</p> <p>Reconocimiento geológico-geotécnico de superficie para identificación en detalle (escala 1:5.000 a 1:2.000) de los elementos geológicos regionales relevantes en el emplazamiento y entorno de las obras del circuito hidráulico, y potenciales obras de infraestructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Realización de celdas geotécnicas. * Identificación de unidades y litologías. * Identificación de estructuras principales. <p>Ejecución de la campaña de prospecciones y ensayos, para el reconocimiento de estratigrafías, litologías, estructuras, características de discontinuidades (orientaciones, constitución, etc.) permeabilidad de todas las obras.</p> <p>Ejecución de prospecciones y ensayos en los yacimientos seleccionados con el objetivo de evaluar su calidad y capacidad.</p> <p>Hidrogeología: identificación de unidades hidrogeológicas, niveles piezométricos (monitores piezométricos que queden instalados y operables).</p> <p>Reconocimiento de superficie y prospecciones asociadas a estudios de peligro geológico (vulneración, neotectónica y remoción en masa).</p> <p>Actualización de estudio geológico-geotécnico e hidrogeológico para completar estudios pendientes, incertidumbres de la factibilidad y obtención de parámetros geotécnicos para todas las obras. Deben estudiarse todas las obras de: Captación y conducción superficial: obras de captación y descarga, barreras, botaderos, presas, canales y portales.</p> <p>Obras subterráneas: portales, túneles, ventosas, piques o chimeneas.</p> <p>Carrera o casa de máquinas.</p> <p>Subestación.</p> <p>Caminos.</p> <p>Yacimientos y botaderos.</p> <p>Otras obras temporales: obras de desvío, campamentos e instalaciones de faena, caminos y cruces de ríos temporales, puentes.</p> <p>Neotectónica:</p> <p>Completar estudios de neotectónica donde se hayan identificado fallas activas como input del estudio de amenaza sísmica.</p>	<p>Geología-Geotécnica:</p> <p>Eventual complemento de la geología y la geotécnica, si es necesario.</p>	<p>Geología-Geotécnica:</p> <p>Eventual actualización y/o prospecciones, si son necesarias.</p>		

	GUÍA	Page 4 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

3 INVESTIGACIÓN DE OBRAS CIVILES

En la fase Conceptual, no se realiza ningún tipo de exploración geotécnica ni levantamiento topográfico, y todo el estudio se basa en antecedentes disponibles.

Para el caso de la fase de Factibilidad, es posible realizar, eventualmente, algún tipo de exploración pero de bajo costo y de rápida ejecución, como son las exploraciones geofísicas. Además, también es posible realizar un levantamiento geológico de superficie general y obtener cartas topográficas disponibles.

Una vez evaluada positivamente la factibilidad del Proyecto, es posible comenzar con la fase de Ingeniería Básica, la que debe iniciar con la fase de Diseño Básico Temprano (Early Basic), donde se debe realizar toda la exploración geológica-geotécnica y topográfica del Proyecto. Esta fase es la de mayor inversión en investigación y de la cual deben salir todos los parámetros de los diseños civiles, que permitirán iniciar la fase de la Ingeniería Básica propiamente tal y también que permitan disminuir las incertidumbres y dar mayor confiabilidad al Capex.


En esta fase de Ingeniería Básica no se desarrolla exploración geotécnica o eventualmente puede desarrollarse una exploración complementaria menor que permita investigar incertidumbres nacidas durante la fase de Diseño Básico Temprano (Early Basic).

En la fase de Ingeniería de Detalle no se desarrolla exploración geotécnica o eventualmente puede desarrollarse una exploración complementaria menor que permita investigar incertidumbres nacidas durante la fase de Proyecto de Diseño Básico o durante la construcción.

A continuación, se describe el tipo de investigación que se recomienda realizar durante la fase de Diseño Básico Temprano para cada parte de una central hidroeléctrica genérica y la cantidad de investigaciones a ser ejecutada definida de acuerdo con las restricciones de cada proyecto (presupuesto disponible, información disponible, restricciones, accesos, etc.).

Usualmente, las obras de proyectos hidroeléctricos están compuestas por las siguientes obras civiles


- Presa de rellenos o de concreto
- Barrera
- Ataguías

	GUÍA	Page 5 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

- Túnel
- Chimenea de equilibrio
- Cámara de carga
- Tubería
- Ventanas o túneles auxiliares
- Canal
- Casa de máquinas
- Caverna
- Portales
- Taludes
- Caminos
- Líneas de transmisión
- Subestaciones eléctricas
- Yacimientos
- Botaderos
- Obras temporales
- Transmission line

Por supuesto, no todas estas obras civiles están en una central hidroeléctrica pero muchas de ellas si.

En la tabla 3.1, se indica el tipo de exploración recomendable para cada tipo de obra, cantidad, ubicación, profundidad mínima y tipos de ensayos y mediciones a realizar. Esta tabla es una recomendación general, siendo el ingeniero a cargo de los estudios geológicos-geotécnicos el que deberá evaluar y cuantificar el tamaño de la exploración basado en las características del proyecto y su conocimiento de la zona.

	GUÍA	Page 7 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

A continuación, se hace una descripción general de la exploración y sus recomendaciones.

3.1 Presa de rellenos o de concreto

Las presas de rellenos como de concreto, deben ser investigadas en base a sondajes con una profundidad al menos de un 50% más que su altura.

La exploración debe contemplar investigar el eje, los espaldones y los estribos. Es recomendable perforar los estribos con sondajes inclinados entre 15° a 45° respecto a la vertical y en contra de la pendiente.

3.2 Barrera

Las barreras, al igual que las presas, deben ser investigadas en base a sondajes con una profundidad al menos de un 50% más que su altura. Si la barrera es muy pequeña, menor a 6 m de altura, puede ser explorada en base a calicatas de 10 m de profundidad. La exploración debe contemplar investigar el eje y los estribos.

Es recomendable perforar los estribos con sondajes inclinados entre 15° a 45° respecto a la vertical y en contra del talud.


3.3 Ataguías

Las obras de desvío, en general, son obras temporales que se diseñan con factores de seguridad más bajos que las obras permanentes, con excepción de aquellas que posteriormente vayan a ser parte de las obras permanentes.

Para las que efectivamente sean obras temporales, éstas requieren una menor cantidad de exploración que las permanentes, pero de igual forma se requiere conocer los mismos parámetros que para las obras permanentes.

3.4 Túnel

Los túneles son una de las obras más complejas de investigar debido a que se ubican en zonas muy accidentadas topográficamente, de muy difícil acceso y a gran profundidad.

	GUÍA	Page 8 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

No existe una regla estandarizada de la cantidad de exploración a ejecutar para tener una buena caracterización geológica-geotécnica, pero existe una recomendación de Hoek y Palmieri (1998) que indica que para tener un nivel de certeza en el CAPEX entre 15% al 5%, se debe explorar entre un 50% a un 100% de la longitud del túnel respectivamente, como se muestra en la figura siguiente.

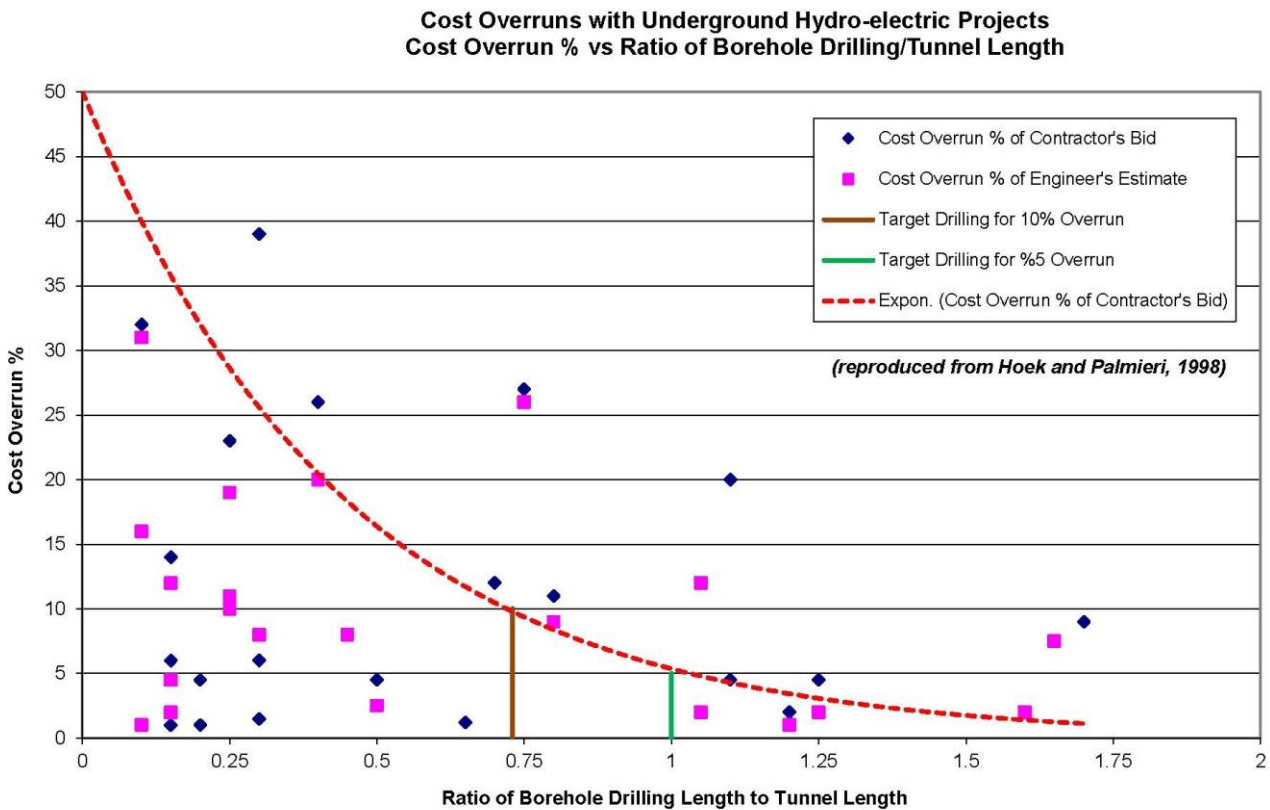



Figura 3.1: Sobrecostos de proyectos hidroeléctricos subterráneos

Se tiene como experiencia el proyecto Los Cóndores de 12 km con 5400 m de sondajes (0.45) y el Proyecto Vallecito de 6 km con 3000 m de sondajes (0.5), ambos ubicados en Chile.

Antes de definir la ubicación y orientación de los sondajes, es recomendable contar con un perfil geológico basado en un levantamiento geológico de superficie donde se muestren las distintas unidades geológicas y la estimación de la orientación de los

	GUÍA	Page 9 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

contactos. Esto permitirá definir con un mejor fundamento la cantidad, longitud y orientación de los sondajes.

Es recomendable que varios de los sondajes sean inclinados entre 15° a 45° respecto a la vertical, con el objeto de identificar la orientación de las estructuras geológicas. La medición de estas estructuras se debe realizar a través de métodos de Orientación de Testigos y/o con Televiewer.


También se debe tener presente, que es muy complejo perforar sondajes de más de 300 m a 400 m de profundidad, especialmente en zonas con alto tectonismo como Colombia, Perú y Chile, debido a que las barras son atrapadas por derrumbes internos en la perforación, haciendo muy lento o imposible el avance.

Siempre se recomienda partir con un diámetro de perforación mayor como es el HQ (diámetro de testigo de 61.1 mm), y en caso de haber problemas reducir a NQ (diámetro de testigo de 45.1 mm) y luego a BQ (diámetro de testigo de 33.5 mm). Todas las perforaciones se deben hacer con triple tubo (HQ3, NQ3 o BQ3), con el objeto de obtener testigos lo menos dañado posible.

Otro factor a considerar es la perforación con líquidos de perforación como aditivos especiales, bentonita o arcilla, ya que éstos pueden alterar considerablemente los resultados de los ensayos de permeabilidad como es el caso de los ensayos Lefranc y Lugeon. Cuando se deban hacer estos ensayos, siempre se debe perforar dichos tramos con agua limpia.

Con toda la información obtenida de la exploración, se recomienda desarrollar 3 informes geotécnicos:

- **GDR: Geotechnical Data Report.** En este informe se recopila toda la información obtenida de las exploraciones realizadas y es de carácter contractual en las licitaciones.
- **GIR: Geotechnical Interpretative Report.** Este informe es de uso interno donde se evalúan los escenarios pesimista, esperado y optimista. Es el Dueño el que define en base a qué escenario desarrollará el GBR. Este document no es contractual.
- **GBR: Geotechnical Baseline Report.** Este informe contiene las bases de diseño geológicas-geotécnicas a partir de la cual se desarrollarán los diseños. Este informe es contractual.

	GUÍA	Page 10 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

3.5 Chimenea de equilibrio

La exploración de este tipo de obra se debe hacer con sondajes y normalmente es parte de la exploración del túnel.

Es importante determinar la orientación de las estructuras geológicas por lo que los sondajes deberán realizarse inclinados con Orientación de Testigos o Verticales con Televiwer.

3.6 Cámara de carga

La mayoría de las veces esta obra es del tipo superficial por lo que es suficiente con sondajes de poca profundidad.

3.7 Tubería

El elemento importante a explorar son los puntos de apoyo de la tubería correspondiente a los machones de fundación. Esta exploración se puede hacer en sus etapas iniciales con geofísica y luego con sondajes o calicatas.

3.8 Ventanas o túneles auxiliares

En general, debe cumplir con el mismo criterio de investigación que el túnel, pero con una cantidad menor.


3.9 Canal

Los canales son obras superficiales que pueden ser exploradas con geofísica en etapas tempranas y posteriormente con sondajes o calicatas.

Uno de los aspectos relevantes a determinar en este tipo de obra es la estabilidad de los taludes por donde se define el trazado, ya que habitualmente es a través de laderas de cerros.

Aquí cobra especial relevancia la evaluación del riesgo geológico de las laderas.

Otro aspecto importante es la determinación del nivel freático y la permeabilidad del suelo o roca.

	GUÍA	Page 11 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

3.10 Casa de máquinas

Debido a la profundidad donde se fundan estas obras superficiales, normalmente es necesario realizar la exploración a través de sondajes.

Los aspectos relevantes a determinar es la profundidad del nivel freático, los parámetros de resistencia al corte y deformabilidad del suelo de fundación.

3.11 Caverna

Junto con los túneles, las cavernas son las obras más complejas de diseñar y construir. Por su ubicación a grandes profundidades al interior de los macizos rocosos, éstas obras deben ser exploradas con sondajes, tanto verticales como inclinados, con medición de Orientación de Testigos y/o Teviewer.

Además, se requiere determinar los estados tensionales de la roca circundante con ensayos de hidrofracturamiento y/o hidrojacking, resistencia al corte y parámetros de deformabilidad. Si se cuenta con una galería de exploración, se pueden realizar ensayos de overcoring en las paredes internas.


3.12 Taludes

Los taludes no son obras propiamente tal sino una condición natural o alterada de los suelos o rocas de la zona del Proyecto. Su inestabilidad puede provocar graves perjuicios a la obra por lo que deben ser evaluados, primero por su riesgo geológico y luego estudiados con exploración geotécnica en aquellos casos en que se sospeche riesgos de inestabilidades.

Los aspectos importantes a determinar son sus parámetros de resistencia al corte y la presencia de agua.

3.13 Caminos

Los caminos son obras más simples, pero no menos complejas, ya que muchas veces su trazado debe cruzar y/o subir grandes pendientes que pueden implicar grandes cortes o la construcción de terraplenes.

	GUÍA	Page 12 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

Normalmente la exploración geotécnica es en base a calicatas de poca profundidad, salvo en zona donde se deban construir puentes, en que se debe ejecutar un sondaje en cada estribo y en cada cepa de al menos 15 a 30 m de profundidad.

3.14 Línea de Transmisión

Las líneas de alta tensión están compuestas por estructuras repetitivas que se ubican entre 100 m a 500 m entre sí.

En la etapa de investigación, no se realiza una exploración en el lugar donde se fundará cada estructura ya que no se sabe con certeza su ubicación, por lo que la investigación se realiza en base a calicatas y muy eventualmente en base a sondajes cortos, cuya ubicación es cada un kilómetro aproximadamente.

Con esta exploración, es posible realizar una caracterización de los distintos tipos de suelo y roca que componen el trazado.

3.15 Subestación Eléctrica

Las subestaciones corresponden a una serie de estructuras livianas superficiales que muchas veces se emplazan sobre plataformas de rellenos.


La investigación debe enfocarse a dos aspectos. Uno es la plataforma que puede ser un relleno de grandes dimensiones y que puede generar asentamientos importantes en el suelo natural. En este caso, la investigación debe ser con sondajes.

El otro aspecto es enfocado solo a las estructuras que contendrá la subestación, que es suficiente explorar con calicatas.

3.16 Yacimientos

Los yacimientos no son parte de las obras de una central, sino que corresponden a zonas de suministros o extracción de suelo y/o roca para ser usados como rellenos y áridos para concreto.

La investigación debe ser con calicatas que permitan obtener un volumen importante de muestras para ser sometidas a ensayos de calidad. También para estimar los volúmenes disponibles de los depósitos.

	GUÍA	Page 13 of 13
	RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	16XXX-03-01-IIA-ITE-001
		Versión A

Se debe tener presente que los volúmenes útiles de los yacimientos deben ser, como mínimo, el doble de lo requerido en las obras civiles (áridos para concretos + rellenos).

3.17 Botaderos

Los botaderos no son parte de las obras de una central, sino que corresponden a zonas donde se depositarán los materiales que han sobrado o han sido descartados durante el proceso de construcción.

Éstas corresponden a estructuras del tipo terraplén, pero compuestos por rellenos de baja compactación o sueltos.

La investigación de estas zonas es solo con calicatas y está orientada a evaluar la estabilidad de los taludes y que éstos no comprometan o desestabilicen el suelo de fundación.

3.18 Obras temporales

Las obras temporales no son parte de las obras de una central, sino que corresponden a obras que se construyen con el objeto de facilitar la construcción, la permanencia del personal y el desempeño laboral, como son los campamentos (casino, dormitorios, recintos de esparcimiento), instalaciones de faena (oficinas, bodegas, talleres, estanques) e infraestructura (caminos, puentes, líneas eléctricas, redes de agua y alcantarillado, etc.).

En ocasiones, algunas de estas obras temporales pueden pasar a constituir obras permanentes de la central.

Dada la amplitud de tipos de obras y envergadura, los estudios a realizar para estas obras (topografía, batimetría y geotecnia), es muy diverso y deberá analizarse caso a caso.

-/