



22

Evaluación de Aprovechamientos Hidroeléctricos de Bajo Impacto Ambiental

Aprovechamientos: La Caridad, La Elena y Huelches

Ing. Alberto Calafiora
Área de Pensamiento Estratégico



CÁMARA ARGENTINA
DE LA CONSTRUCCIÓN



CÁMARA ARGENTINA
DE LA CONSTRUCCIÓN

EVALUACIÓN DE APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL

Aprovechamientos: La Caridad, La Elena, Huelches

Ing. Alberto Salvador Calafiore

Área de Pensamiento Estratégico

Abril 2013

Coordinación:

Comisión de Energía

Cámara Argentina de la Construcción

Ing. Eduardo ROMERO ONETO

Ing. Enrique Pablo VIDELA

Índice

INTRODUCCIÓN	7
Marco general del estudio	7
Objetivos	8
Alcances	8
DESCRIPCIÓN DE LA CUENCAS	9
Cuenca del Río Carrenleufú	9
Cuenca del Río Colorado	19
CONOCIMIENTO ACTUAL DE LOS SITIOS DE EMPLAZAMIENTO	30
Hidrología	30
Geo-topografía	33
Geotécnica y geología de los sitios	33
Estudios Ambientales realizados	111
DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE OBRA DISPONIBLE	118
La Caridad	118
La Elena	124
Huelches	130
COSTOS Y PRESUPUESTOS	149
Metodología.....	149
Criterios generales.....	150
Resumen de resultados	151
EVALUACIÓN ECONÓMICA – FINANCIERA	165
Introducción.....	165
Criterios de Evaluación Económica.....	166
Análisis de resultados	169
Resumen de resultados	170
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	173
Conclusiones	173
Síntesis	177

Introducción

Marco general del estudio

Las recomendaciones de la ONU para el desarrollo energético de energías limpias indican que para aprovechamientos hidroeléctricos de potencia de 30 mW o menores no hay impacto ambiental de importancia o este es mínimo. Si bien las potencias de los proyectos que se han seleccionado son mayores, en términos de potencia media, se acercan a este valor y se alejan de los grandes aprovechamientos. En consecuencia el impacto ambiental debiera ser bajo. Son proyectos de pequeño embalse, principal impacto, y otras consecuencias ambientales de menor valor que pueden observarse en las siguientes tablas.

Los proyectos seleccionados para realizar su análisis son los siguientes:

CARACTERÍSTICAS GENERALES								
Orden Viabilidad Multicriterio	Proyecto	Pot MW	EMA GWh/a	Potencia Media kW	Coefic de utilización	CME U\$S/MWh	Sensibilidad Ambiental	Índice Viabilidad Multicriterio
1° (*)	La Elena	102	649	74	0.73	65.16	Moderada	7.03(*)
3° (*)	La Caridad	64	273	31	0.49	47.76	Baja	5.93(*)
f/p	Huelches	40	230	26	0.66	68.89	Baja	s/d

(*) Fuente EBISA

PARÁMETROS COMPARATIVOS												
Proyecto	Vol Emb	VE / Pot	Área Emb	Á E / Pot	Alt Pres	H Pa / Pote	E MA	Área / EMA	Área Bosq equivt	Tep	Volumen de Presa	Vol Pre / Pot
	Hm ³		ha		m		GWh/a		ha		m ³	
La Elena	227	2	1700	17	40	2,6	649	2,6	15143	55804	100000	980
La Caridad	10	0,2	75	1,2	70	0,9	257	0,3	6370	23474	132000	2063
Huelches	1000	25	10000	250	26	1,5	230	43,5	5367	19776	330000	8250
Futaleufú	5600	12	9200	19	120	3,9	2560	3,6	59733	220120	3100000	6568
Casa de Piedra	4000	67	36000	600	60	1,0	240	150,0	5600	20636	13000000	216667

La relación de Volumen de Embalse sobre Potencia Instalada o la Energía Media Anual generada comparada con otros aprovechamientos existentes como Futaleufú (cercano a la cuenca del Río Carrenleufú) o Casa de Piedra (en la misma cuenca del Río Colorado que Huelches) con otros parámetros, dan una idea comparativa de las bondades de los aprovechamientos elegidos.

Igual comparación podría establecerse con volúmenes de presa, toneladas equivalentes de petróleo o bos-

que equivalente que contrarrestaría la producción de CO₂ producido por una térmica de igual generación anual. Los parámetros comparados en estas tablas son: Volúmenes de embalse y área de embalse como gran impacto, volúmenes de obra y altura de presa como magnitud de las obras, con las relaciones sobre la potencia instalada y la energía generada por un lado y sus beneficios como ahorro equivalente de petróleo o gases enviados a la atmósfera por otro y comparativamente el costo medio de energía.

Objetivos

En base a la documentación existente de los Proyectos se avanzó hacia a los siguientes objetivos:

- 1) Una valoración de los estudios ambientales disponibles en la documentación existente efectuando una comparación con Términos de Referencia Generales asumidos como pertinentes e identificando los puntos claves, su importancia para su posible morigeración y posterior análisis en un balance de impactos positivos y negativos.
- 2) Una evaluación de los estudios básicos claves de geología, geotecnia e hidrología, con la valoración de los mismos y la ponderación de lo faltante a nivel general que permitan llegar al nivel de Proyecto Básico.
- 3) La verificación básica de los diseños. Eventual propuesta de cambio de tipo de obra, en busca de la aplicación de nuevas tecnologías y tipología de equipamientos.
- 4) La valoración de costos de obra apoyándose en la metodología RETScreen que se describe más adelante. Se analizó la desagregación de los ítems y los cómputos existentes.
- 5) La valoración de la Potencia a instalar en cada Proyecto de acuerdo al rendimiento Energía-Potencia-Costo siguiendo también la metodología RETScreen.

Alcances

El alcance que tiene este informe es el necesario para arribar, a los fines comparativos, es el de Prefactibilidad, aunque en particular en la Elena se esté por encima de este nivel.

A partir de las documentaciones consultadas se entiende que el material es de suficiente nivel como para llegar a un costeo adecuado.

Se utilizó un sistema canadiense conocido como **RETScreen**, que es un software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia producido por el Ministerio de Recursos naturales de Canadá. Es usado internacionalmente para la evaluación de la producción energética de aprovechamientos hidroeléctricos entre otros, la elaboración de los presupuestos, el estudio de su factibilidad financiera y para la cuantificación del riesgo.

El programa posee también un módulo que permite analizar la influencia del uso de bonos de carbono para el financiamiento del proyecto, aunque también se utilizó una metodología propia.

Haciendo análisis comparativos utilizando el sistema Canadiense se verificó la preselección del equipamiento electromecánico más adecuado que permite realizar un presupuesto preliminar siguiendo la misma metodología.

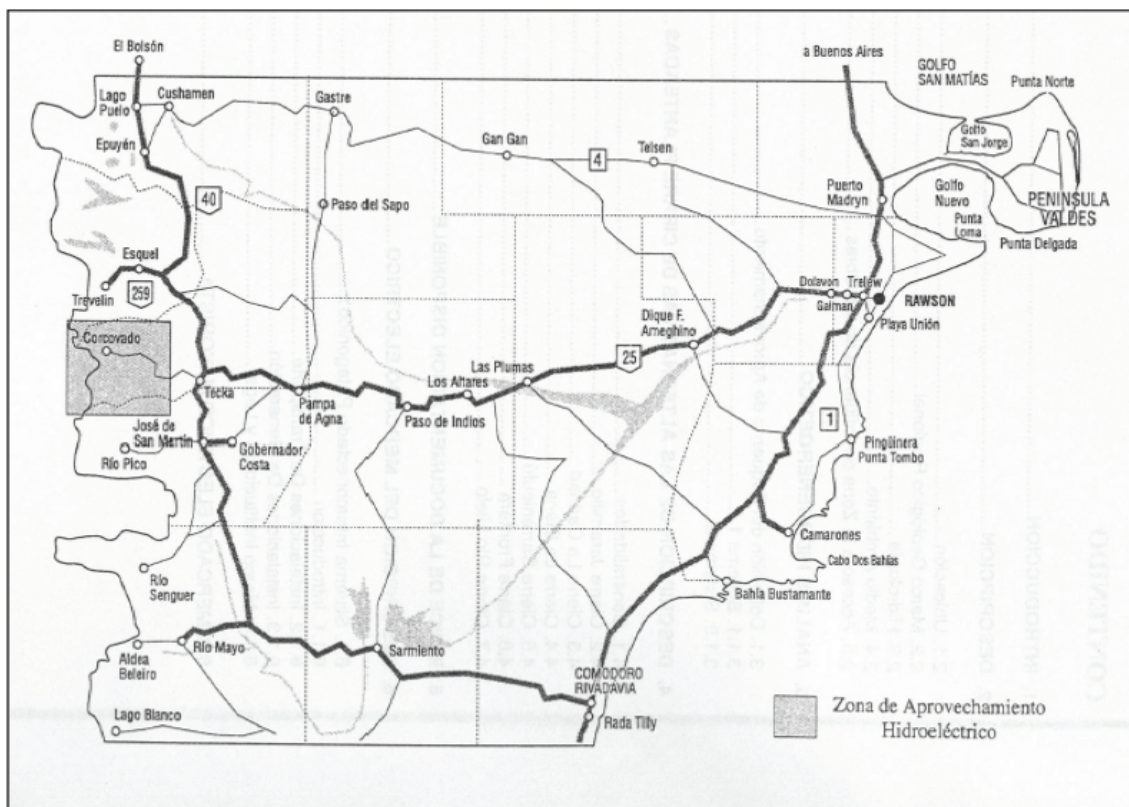
Se incluyen presupuestos que fueron desarrollados en distintas etapas de los estudios de los aprovechamientos a los fines comparativos y de análisis, pero para el análisis final se estudian los resultados arribados a través del sistema RETScreen.

Descripción de las Cuencas

Cuenca del Río Carrenleufú, aprovechamientos La Caridad y La Elena

Ubicación

La cuenca del Río Carrenleufú se desarrolla en la provincia del Chubut, sus nacientes se ubican en el límite con la República de Chile en el Lago Vintter y recibe del lado chileno el nombre de Lago Palena.



En territorio argentino, el Río describe inicialmente un recorrido hacia el norte, luego hacia el este, donde bordea las poblaciones argentinas de Corcovado y Carrenleufú y atraviesa la frontera para entrar en Chile y desaguar en el océano pacífico en el golfo de corcovado. La superficie de la cuenca, hasta la frontera, es de 3.150 km², con un recorrido de aproximadamente 130 km y un desnivel de 711m.

glaciario. Cabe señalar que esta condición no afecta a la estanqueidad de los embalses, según lo conocido hasta el momento.

De igual modo los aprovechamientos localizados agua abajo de la localidad de Corcovado (CARRENLEUFÚ y Frontera), así como el del Río Hielo, se encuentran en un ambiente predominantemente rocoso, cabe señalar que la primera condición no afecta a la estanqueidad de los embalses.

Hidrología

El Río CARRENLEUFÚ se encuentra en la zona occidental de la Provincia del Chubut y es emisario del Lago Vintter que es compartido por las Repúblicas de Argentina y Chile.

Sus afluentes más importantes son: Tucu-Tucu, Comisario, Fango, Poncho Moro, Pedregoso, Huemul y el Hielo.

El área de la cuenca es de 524 km² en la sección de aforos del Lago Vintter, de 1340 km² en La Elena. 1862 km² en el cierre CARRENLEUFÚ y de 2351 km en la frontera argentino-chilena, unos 204 km² corresponden a territorio chileno antes del ingreso a territorio argentino.

La información hidrológica básica está constituida por aforos y lecturas hidrométricas sistemáticas en las estaciones: Lago Vintter. La Elena, Corcovado, CARRENLEUFÚ y sobre el Río Hielo- Confluencia.

El record de las estaciones es el siguiente:

Estación	Periodo	Caudal Medio Anual (m³/s)
Lago Vintter	12/54 a 1/64	23.2
La Elena	4/54 y continúa	33.6
CARRENLEUFÚ	4/64 al 3/82 1987 y continúa	52.5
Río Hielo	4/64 al 3/74 1987 y continúa	34.9

Medio Ambiente

La situación geográfica del Río CARRENLEUFÚ lo convierte en un recurso de jurisdicción binacional por lo que su aprovechamiento está condicionado por la vigencia del tratado sobre medio ambiente y el protocolo específico adicional sobre recursos hídricos compartidos, firmado por Argentina y Chile el 2 de agosto de 1991.

La porción argentina de la cuenca se sitúa en el N.O. de la Provincia del Chubut en plena región cordillerana que en la latitud 44 S se encuentra cubierta por la formación boscosa conocida como iselva Valdiviana”.

El Río Carrenleufú escurre por un antiguo valle glaciario caracterizado por la existencia de estrechamientos o gargantas, donde se prevé el emplazamiento de las presas, y llanuras aluviales donde se radica la población y se desarrollan las actividades productivas más importantes.

Las condiciones climáticas imperantes en la cuenca determinan una precipitación media anual comprendida entre 590 mm al sudeste y este -clima semiárido patagónico- y 1.750 mm al noroeste norte - clima templado húmedo andino-, en el área sujeta a las condiciones climáticas mencionadas en primer término, se produce déficit hídrico en verano.

Las aguas del Río CARRENLEUFÚ son de tipo bicarbonatadas cálcicas y no presentan contaminación orgánica. El transporte de sedimentos, tanto como carga de fondo y en suspensión, no es relevante.

El salmón del Pacífico y la trucha son las especies ícticas más importantes; utilizan el sistema fluvial del Río CARRENLEUFÚ y sus tributarios con fines tróficos y/o reproductivos. En la actualidad este recurso es poco aprovechado y sólo constituye un atractivo para la pesca deportiva.

Las aguas del Río CARRENLEUFÚ se utilizan actualmente en forma poco diversificada. Al uso descrito anteriormente se suman el recreativo y el riego de pasturas naturales e implantadas, en el valle situado entre el A° Poncho Moro y la localidad de Corcovado. En este valle, y en el situado inmediatamente aguas abajo, se desarrolla la actividad ganadera bovina, que resulta significativa para la economía de la cuenca. La implantación en estos valles de especies forestales exóticas reviste singular grado de importancia.

La explotación de especies forestales nativas, ya sea como madera fina o leña, ha decaído en los últimos años, a pesar de ser este uno de los recursos naturales que permiten calificar a la cuenca con ventajas comparativas en este rubro, respecto de cuencas vecinas.

La mayor parte de la población se concentra en pequeños núcleos urbanos: Corcovado, CARRENLEUFÚ, Cerro Centinela y Palena (esta última situada en territorio chileno).

La economía del área y la fuente de subsistencia de la población, giran en torno a la producción agroforestal y al empleo público provincial, concentrado este último en las áreas de administración, salud, educación e inclusive en la producción industrial, como es el caso del aserradero provincial, situado en Corcovado.

La infraestructura, el equipamiento y los servicios son provistos casi en su totalidad por el Estado provincial, y municipal en su defecto.

La Cuenca y los PET

La Cuenca del Río Carrenleufú como Unidad del Plan Estratégico Regional.

El Plan Estratégico Nacional (PET) y los Planes Estratégicos Provinciales incluyen el aprovechamiento

de la cuenca del Río Carrenleufú, tal como se desprende del documento del Planeamiento Estratégico de la Provincia que se sintetiza a continuación.

Las líneas generales del Plan de la Provincia del Chubut incluyen el Aprovechamiento Integral del recurso hídrico, esto es de uso consuntivo para el consumo humano, la producción de alimentos, su faz energética, forestal, etc., con la debida priorización en cada caso.

Los aprovechamientos de La Caridad y La Elena aportan en esa dirección, como se desprende de los siguientes objetivos contenidos en el Plan:

OBJETIVOS GENERALES Y LINEAS ESTRATÉGICAS DEL PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE CHUBUT AL 2016:

- 1) MEJORAR Y EQUIPARAR LAS CONDICIONES DE CALIDAD DE VIDA DE LOS HABITANTES DE LA PROVINCIA, PROMOVRIENDO EL ARRAIGO, INCLUSIÓN Y EL DESARROLLO ARMÓNICO DE SU TERRITORIO
 - i) Equiparar y mejorar la cobertura de servicios públicos en la Provincia. Fortalecer la conectividad y accesibilidad entre localidades
 - ii) Fortalecer y regular los planes de Vivienda Social
 - iii) Desarrollar y fortalecer Plan Infraestructura Educativa
 - iv) Desarrollar y fortalecer la infraestructura de salud pública en la Provincia
 - v) Fortalecer la conectividad y accesibilidad entre localidades
 - vi) Promover y maximizar la oferta energética en el territorio Provincial y
 - vii) su uso racional

El hecho de construir obras hidroeléctricas implica una gran inversión en corto tiempo, en un lugar concentrado de la región. Esto impacta positivamente en todos los puntos detallados precedentemente.

Estas obras llevan consigo inversiones en infraestructura de servicios públicos, que pueden resumirse en las facilidades que se construyen para ejecutar las obras y atender a las personas que trabajan durante su construcción, que luego quedan como aporte definitivo de infraestructura, siempre que se hayan planificado adecuadamente, incluyendo la actividad educativa, la infraestructura de salud, caminos y accesos, energía, desarrollos derivados e indirectos, etc.

Una consecuencia muy importante es la disponibilidad de un recurso tal como el agua, que con el embalse creado y demás facilidades se constituyen en herramientas adecuadas y de gran efectividad, tanto para lograr un uso racional del recurso agua en conjunto con otros recursos como para lograr un desarrollo sustentable.

Debe tenerse presente también que el hecho de incorporar a la región un conjunto de obras de alta tecnología, inserta un centro provincial y regional como fuente de desarrollo tecnológico en sí misma.

2) MEJORAR LAS CONDICIONES DE DESARROLLO Y COMPETITIVIDAD DE LA ECONOMÍA Y LA PRODUCCIÓN EN FORMA EQUILIBRADA EN TODO EL TERRITORIO PROVINCIAL MEDIANTE LA ADECUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y EL EQUIPAMIENTO.

- i) Desarrollar y fortalecer la infraestructura del transporte multimodal y sus nodos de transferencia.
- ii) Promover y maximizar la oferta energética en el territorio Provincial y su uso racional
- iii) Promover desarrollo de programas de telecomunicaciones integrados

Vale el mismo comentario anterior. Estas obras llevarán de por sí una vinculación a la infraestructura de Transporte y de telecomunicaciones que, insertas en un plan mayor integral aportarán al mismo. Va de suyo que incrementa la oferta energética.

3) VALORIZAR EL PATRIMONIO NATURAL Y CULTURAL A TRAVÉS DE UNA GESTIÓN INTEGRADA Y RESPONSABLE.

- i) Fortalecer las capacidades de gestión y contralor del Estado
- ii) Fortalecer la Planificación y el Ordenamiento Territorial
- iii) Promover el uso planificado y la regulación y gestión de los recursos hídricos.
- iv) (4)Fortalecer la Planificación y el Ordenamiento Territorial

La ejecución de las obras como las propuestas actúan automáticamente sobre los cuatro puntos anteriores al necesitar la convergencia de las herramientas necesarias que actúan en los campos de medidas no estructurales que ordenan un crecimiento y desarrollo sustentable.

Ejemplos como el Plan Integral del Río Salado en la Provincia de Buenos Aires o del COIRCO en el Río Colorado son muestras de ello por varias razones:

- a) Contribuyen al origen, apoyo y desarrollo de las medidas conocidas como no estructurales (legales, de planificación, de desarrollo productivo y social, de cuidado del medio ambiente, etc.), por el solo hecho de ser necesarias para su ejecución.
- b) Contribuyen al fortalecimiento local y regional de infraestructuras de servicios y de producción y apoyo a las obras por un importante periodo de tiempo que luego continúa por el solo hecho de existir las mismas.



Ubicación de los Aprovechamientos Río Carrenleufú

SECTOR ENERGÉTICO

LÍNEA ESTRATÉGICA N° 3 - PROMOVER Y MAXIMIZAR LA OFERTA ENERGÉTICA EN EL TERRITORIO PROVINCIAL Y SU USO RACIONAL

El objeto de la implementación de esta Línea estratégica, es dotar a la totalidad de localidades y pueblos de la Provincia, de las condiciones de disponibilidad y acceso a fuentes de energía para su desarrollo social y económico en condiciones de igualdad con las localidades más desarrolladas de la Provincia.

La visión del panorama energético Provincial al 2016, nos muestra una población con acceso pleno a las fuentes de energía, Empresas del sector público y privado proveyendo insumos acorde a condiciones de

competitividad, precio y con garantías en el suministro, operando dentro de las condiciones de un marco regulatorio y de conservación del medioambiente, y un Gobierno que rige el eficiente uso de la energía y racionalidad, impulsando el uso de fuentes alternativas y nuevas investigaciones y desarrollos tecnológicos.

Del análisis de diagnóstico integrado y en función a la visión y objetivos diseñados por el Gobierno de la Provincia, se ha obtenido la siguiente Línea Estratégica abarcativa del Sector Eléctrico en su conjunto, de la que deviene el Plan de Desarrollo Energético de la Provincia del Chubut que prevé:

- 1) Garantizar abastecimiento de energía suficiente, con estándares de calidad y precios competitivos a todos los ámbitos de la Provincia, asegurando la preservación del medioambiente. Lograr garantía y confiabilidad en el suministro de energía eléctrica a la totalidad de comunidades de la provincia.
- 2) Disponer de oferta de potencia y energía para el desarrollo de las economías regionales en el área de influencia.
- 3) Promoción del uso racional y eficiente de la energía y el uso incremental de las fuentes renovables de energía.
- 4) Un desarrollo de Empresas energéticas públicas y privadas actuando bajo el ordenamiento jurídico necesario que otorgue seguridad y certeza jurídica, tanto a los agentes económicos como a la propia sociedad, asegurando el poder regulador del Estado y la soberanía de sus decisiones.
- 5) Promover la generación, desarrollo, asimilación y aplicación del conocimiento científico y tecnológico, así como en la formación de recursos humanos altamente calificados para apoyar el desarrollo sustentable del sector energético, en particular de fuentes alternativas de energía, liderando la protección del medio ambiente.

OBJETIVOS Y METAS

Interconexión entre poblaciones del interior provincial, mediante líneas en alta tensión a las localidades cabeceras de distribución que conforman los ámbitos básicos del anillado energético, para su puesta en servicio dentro del periodo abarcado por el PLAN ENERGÉTICO NACIONAL 2004 - 2008.

Garantizar abastecimiento de energía suficiente (100%) en localidades aisladas del interior de la Provincia, con estándares de calidad y precios competitivos, permitiendo una oferta de potencia y energía para el desarrollo de las economías regionales en el área de influencia, con horizonte al año 2016.

Aprovechamiento de los recursos disponibles para promover generación de energía eléctrica a partir de energía renovable, e insertarla en el mercado nacional demandante, preservando las condiciones medioambientales.

Impulsar el desarrollo de tecnología e infraestructura de generación eléctrica con fuentes renovables y generar un desarrollo integral de parques eólicos definidos bajo criterios de integración ambiental, generando alternativas de cambio de la matriz energética, año 2016.

Aumentar la adecuada cobertura del servicio de gas en la Provincia en un 90%, mediante mejoras en la distribución, en la aplicación de subsidios y en el uso del Fondo Gasífero, al año 2016.

LÍNEA ESTRATÉGICA N° 4 - PROMOVER LA PLANIFICACIÓN, REGULACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

El objeto de esta Línea estratégica, es generar alternativas de desarrollo mediante la implementación de una cultura de manejo equitativo e integrado de las cuencas hídricas provinciales, fortaleciendo la participación de los usuarios y entidades públicas y privadas en los Comités de Cuencas y aportando a la planificación, regulación y gestión del recurso transversal del desarrollo.

Ello implica un equilibrado balance entre disponibilidades y demandas presentes y futuras de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, en cantidad y calidad, con identificación de usos, aprovechamientos, sostenibilidad y previsión de conflictos potenciales.

Al respecto, la visión de la Secretaría de Infraestructura, Planeamiento y Servicios Públicos, es la de una sociedad con acceso al vital elemento para su aprovechamiento social, económico y productivo, con criterios de conservación medioambiental, y participación en la toma de decisiones a través de una estructura institucional rectora, afianzada y consolidada en el ámbito provincial.

En consecuencia, dicha visión es el elemento motor que activa políticas y propone programas y planes, teniendo como destinatario al conjunto de la sociedad, a través de organismos fortalecidos con capacidades rectoras en el uso del recurso.

OBJETIVOS Y METAS

Gestión integrada de los recursos hídricos, apoyada en el uso consuntivo de las aguas, la gestión territorial, la conservación de los suelos y la protección de los ecosistemas naturales, mediante el ordenamiento y regulación del 100% de las cuencas al año 2016.

Análisis y desarrollo estratégico del aprovechamiento integral de los recursos hídricos en proyectos de orden económico y social, respetando el sistema jurídico y económico que regula su uso, preservando sus condiciones ambientales y promoviendo a que el mismo sea utilizado eficientemente por la sociedad.

Estructura normativa e institucional (Instituto Provincial del Agua) desarrollada para actuar como instrumento de compromiso técnico y político para el cumplimiento de los objetivos de planificación y gestión, articulado con la participación de los usuarios, y las organizaciones públicas y privadas, como condición de una gestión eficiente del agua, al año 2008.

El recurso en la cuenca

Cuenca del Carrenleufú o Corcovado

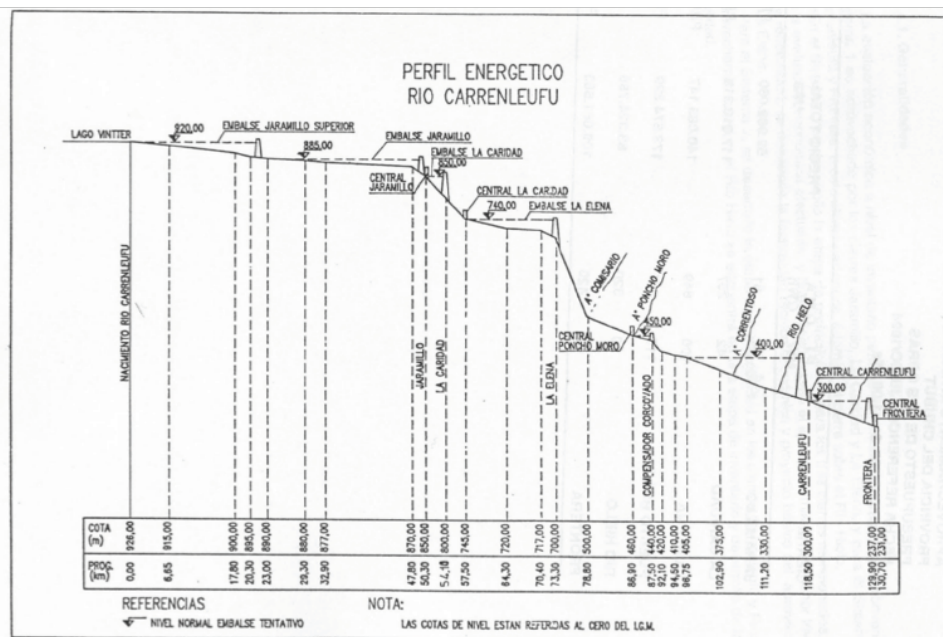
Por su traza tipo cuadrilonga se lo conoce también como el Cuadrilátero del Carrenleufú. Es emisario del lago Vintter, que le sirve de regulador natural. Tiene la característica de correr en sentido sur-norte mientras transita por el estrecho valle del Corcovado formando rápidos y remolinos, hasta cambiar su rumbo hacia el oeste.

Su superficie dentro del territorio argentino es de 3.050 kilómetros cuadrados, tiene 12 lagos que ocupan 86 km² y su caudal es de 94 metros cúbicos/ segundo. Este Río está siendo estudiado para evaluar la posibilidad de su aprovechamiento integral: hidroeléctrico y de producción agrícola forestal.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

SITIOS	PI	EMA	NIVEL	GEOLO	EMBAL	MDL+RV	IA	R/F	INV(*)
	MW	GWh/a	I-PF-F-PB	M-B-MB	km ² /km ³	md/mr	B-M-A-MA	S/N	MU\$S
JARAMILLO	24	81	PF	B	23/34	S/S	B	S/S	60
LA CARIDAD	42	257	PF	B	0.7/10	S/S	B	S/S	117
LA ELENA	100	649	PB	B	17/227	S/N	B	S/S	140
PUESTO BUSTOS	115	561	PF	MB	20/664	S/N	M	S/S	173
FRONTERA	80	320	I	MB	18/660	S/N	MA	N	83
RIO HIELO	50	420	PF	M	3.6/76	S/S	MA	N	109

(*) Datos del Estudio Integral del Río Carrenleufú año 1994



Perfil energético del Río Carrenleufú

Aprovechamiento Huelches - Cuenca del Río Colorado

UBICACIÓN

El Río Colorado es un recurso hídrico de aprovechamiento múltiple compartido, siendo utilizado actualmente en forma parcial con aprovechamientos localizados con fines de riego, regulación y uso energético por las provincias ribereñas.

En la Conferencia del Río Colorado llevada a cabo en Santa Rosa, La Pampa, en agosto de 1956, las provincias ribereñas Buenos Aires, La Pampa, Mendoza, Neuquén y Río Negro, declararon: "Que es de su derecho exclusivo reglar el uso de las aguas del Río Colorado, mediante pactos interprovinciales entre todas ellas".

La Comisión Especial creada por Resolución N° 163/69 del Ministerio del Interior, produjo el documento que se conoce como Acta N° 4, en la cual se establecen las Bases de Acuerdo para la distribución de las aguas del Río Colorado.

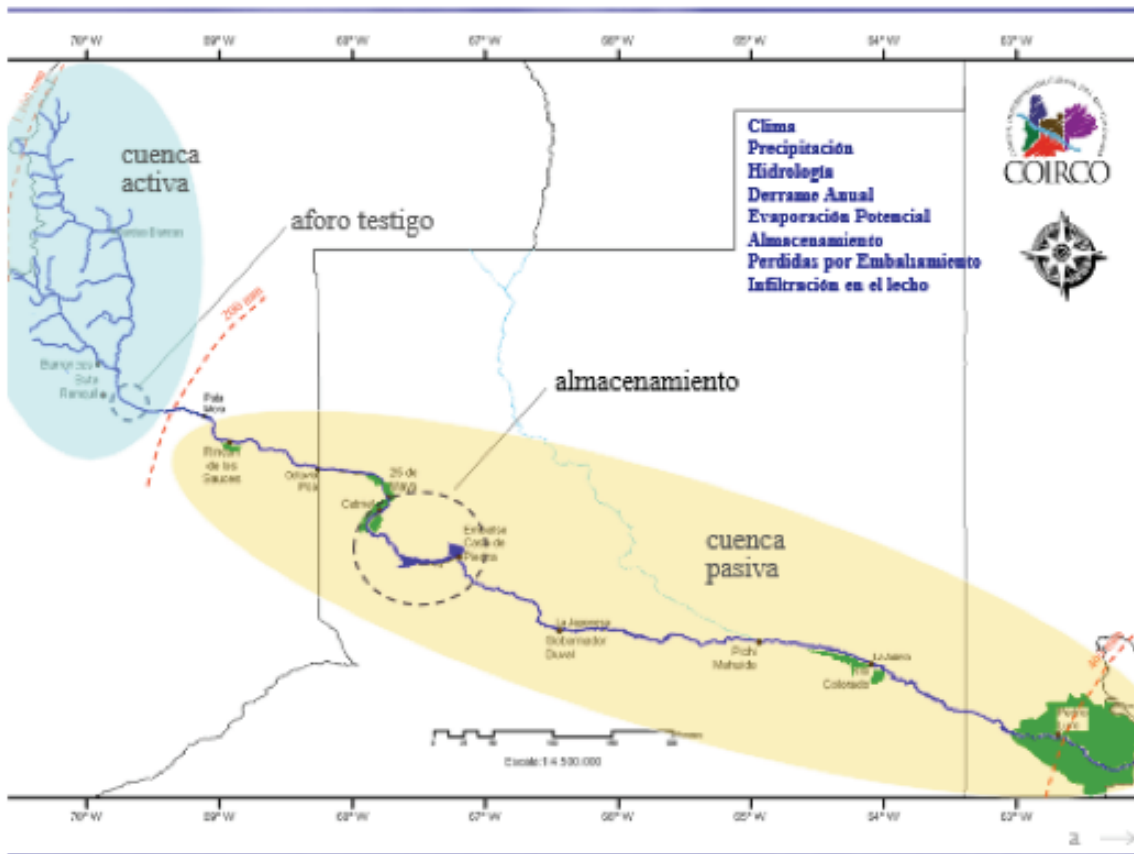
El 4 de diciembre de 1969, en la V Conferencia, se tomó la decisión de formular un programa único para toda la cuenca, solicitándose al Poder Ejecutivo Nacional que la Secretaría de Recursos Hídricos realizara los estudios necesarios a tal fin. Concretados los trabajos pertinentes con la activa participación de las cinco Provincias ribereñas y utilizando los servicios del *Instituto Tecnológico de Massachusetts*, se elaboró un modelo que permitió la selección del programa que hoy orienta el desarrollo de toda la cuenca, conforme a lo acordado en la VI Conferencia de Gobernadores.

En los antecedentes disponibles en el sitio web del COIRCO, donde figuran los aprovechamientos identificados en ese momento, está sin mayor detalle el área desde Casa de Piedra hasta Salto Andersen. Actualmente se cuenta con estudios como el del compensador de Casa de Piedra, la zona de Riego de Margen Izquierda, Casa de Piedra, en la Provincia de la Pampa y la zona de Riego en Margen Derecha, también aguas debajo de Casa de Piedra en la Provincia de Río Negro. Lo que sigue ha sido extraído del sitio web de COIRCO:

La Cuenca Hídrica en Pocos Números

- Área:** 48.000 km²
- Dimensiones:** ~1100 km de extensión, 5-100 km de ancho
- Clima:** semidesértico, con efecto orográfico
- Precipitación:** cuenca alta: 1100 a 300 mm – cuenca media-baja: 200 a 400 mm
- Hidrología:** cuenca activa (producción) – cuenca pasiva (usos)
- Derrame Anual:** 4.600 Hm³/año (146 m³/s, 96 mm)
- Evaporación Potencial:** 1600 mm/año (zona CDP)
- Almacenamiento:** un embalse con 0,44 de capacidad de regulación
- Perdidas por Embalsamiento:** 10% del derrame anual
- Infiltración en el lecho:** ? m³/s x km

Puede verse que la cuenca Activa en cuanto a precipitación esorrentía se encuentra en el NO, zona cordillerana de Mendoza y Neuquén, el resto es sin aporte teniendo en un tramo no bien identificado aún una pérdida de caudales por infiltración:



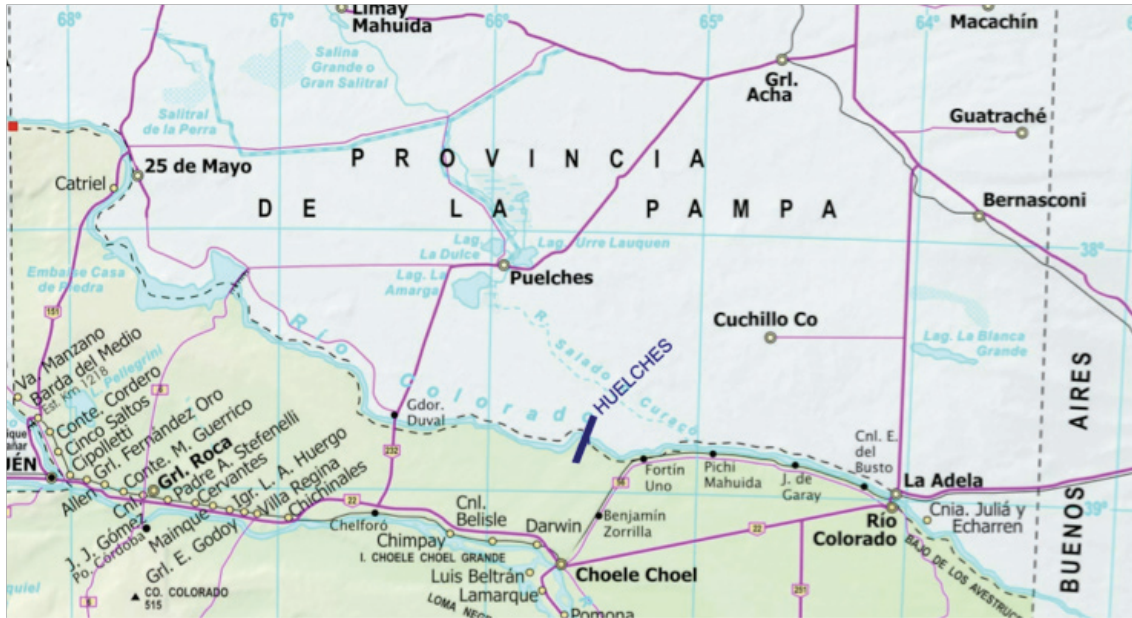
Como se expresara más arriba está vigente un plan de aprovechamiento que puede interpretarse a través del siguiente esquema (fuente (COIRCO):



El tramo Casa de Piedra-Salto Andersen, quedó en su oportunidad con menor desarrollo en cuanto a estudios de su aprovechamiento, que está indicado en el esquema anterior en la referencia con color rojo. La Provincia de Río Negro desarrolló recientemente a través del CFI un posible aprovechamiento del tramo comprendido entre esos extremos:



Quedó particularmente destacado un aprovechamiento estudiado desde la época de la Dirección General de Irrigación y de Agua y Energía, conocido como Huelches, indicado en el siguiente plano, y que llegará a nivel de ser adjudicado, quedando trunca su construcción.



Por sus condiciones particulares aparece en la actualidad como un aprovechamiento de interés como desarrollo de centrales hidroeléctricas de mediana potencia y bajo impacto.

En la imagen siguiente se muestra el lugar específicamente:



El Río Colorado en el lugar del Aprovechamiento Huelches

HUELCHES EN EL PERFIL ENERGÉTICO DEL TRAMO MEDIO

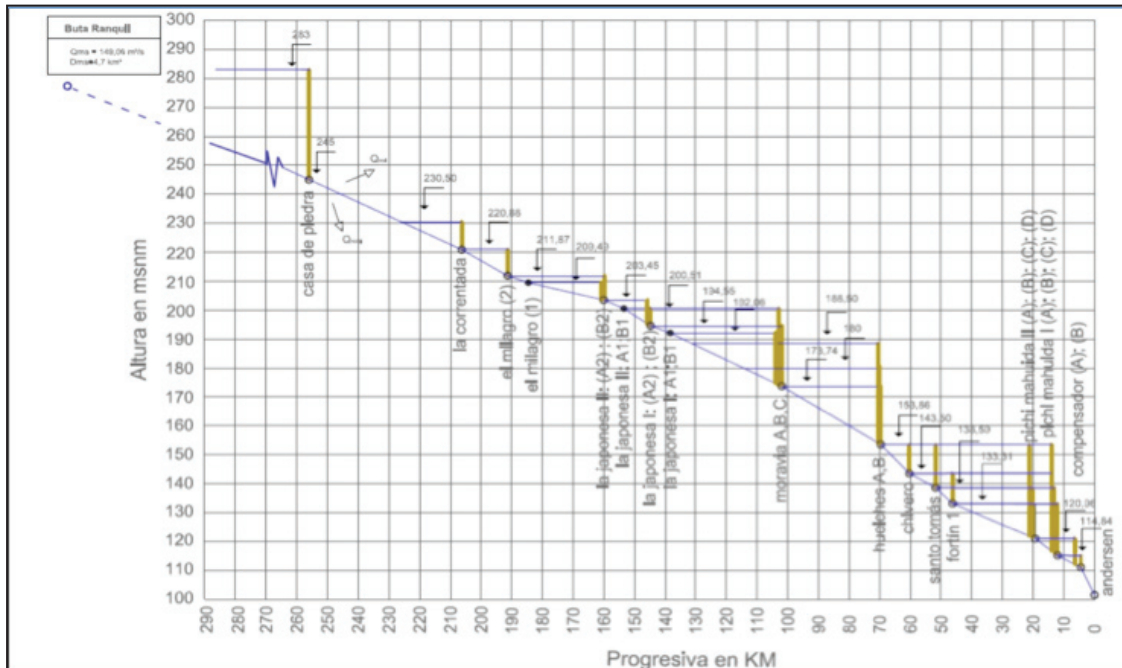
El tramo medio comprendido entre el compensador de Casa de Piedra, en estudio, y conocido como la Correntada, hacia el este y hasta llegar a Salto Andersen existe un tramo con estudios de la década de 1940, con comienzos en la década anterior de 1930, hechos por AYE, dentro del cual se destaca el aprovechamiento Huelches y otros identificados como el Chivero y Pichi Mahuida. Cabe destacar que sin duda son los aprovechamientos más francos en el tramo, por lo que debe destacarse lo meritorio de los trabajos realizados y la elección de los sitios en aquel entonces, teniendo en cuenta en las condiciones y los medios con que se contaban.

El desnivel disponible para la generación de Energía va desde la cota 245m IGM, que es la restitución media de Casa de Piedra, hasta la cota 110m IGM en salto Andersen, definida por la cota del dique derivador existente, es decir 135 m, equivalente a una Potencia Media bruta de 150 MW y 1300 GWh/a de Energía Media Anual bruta.

Si tomamos una cota de Embalse Normal en Huelches, como está definida en los antecedentes, de 188.50m IGM, resulta para el tramo Huelches-Salto Andersen una Potencia Media Bruta de 87 mW y una Energía Media Anual bruta 760 GWh/a. En principio los lugares resultantes con ciertas posibilidades topográficas y geológicas de ejecutar obras son los siguientes, con valores de cotas de restitución medidas en Campo. Están indicadas las cotas máximas alcanzables físicamente:

VARIANTES DE APROVECHAMIENTOS ORDENADOS POR SALTO						
	SITIOS	PI	EMA	COTA EMB	REST MEDIA	ΔH
		mW	gWh/a	msnm	msnm	m
1	Compensador I A	6,00	34,96	114,84	110,00	4,84
2	Pichi Mahuida I A	7,06	43,24	120,96	114,84	6,12
3	La Japonesa I	11,41	69,90	200,51	192,06	8,45
4	La Japonesa II	12,19	74,70	209,49	200,51	8,98
5	Compensador I B	13,40	82,08	120,96	110,00	10,96
6	El Milagro	15,75	96,49	220,88	209,49	11,39
7	Pichi Mahuida II A	16,45	100,74	133,31	120,96	12,35
8	Santo Tomás	19,20	117,62	153,86	138,59	15,27
9	Pichi Mahuida II B	22,00	130,58	138,59	120,96	17,63
10	Moravia	23,32	142,83	192,06	173,74	18,32
11	Pichi Mahuida I A	22,55	138,11	133,31	114,84	18,47
12	Huelches I A	24,92	152,68	173,74	153,86	19,88
13	Fortín Uno	25,16	154,14	153,50	133,31	20,19
14	Pichi Mahuida I B	29,16	178,61	138,59	114,84	23,75
15	Huelches I B	35,69	218,62	180,00	153,86	26,14
16	Huelches I C	38,21	234,07	182,00	153,86	28,14
17	Huelches I D	40,59	248,64	184,00	153,86	30,14
18	Huelches I E	42,93	262,95	186,00	153,86	32,14
19	Huelches I F	45,10	276,29	188,50	153,86	34,64
20	Pichi Mahuida I D	42,05	257,57	153,86	114,84	39,02
	Casa de Piedra	59,80	321,92	283,00	245,00	38,00

PERFIL ENERGÉTICO



MARCO GEOLÓGICO

Geología regional, litología y estructura

La zona bajo estudio está marcada por los siguientes rasgos geológicos predominantes:

Desde Salto Andersen al Este y hasta aproximadamente el compensador de Casa de Piedra al Oeste, aunque en forma un tanto saltuaria, el Río corre entre las estribaciones de rocas eruptivas y metamórficas, que representan la prolongación austral de litologías correspondientes a las Sierras Pampeanas.

Entre Pichi Mahuida ahora al este y Paso Huelches al Oeste, el Río corre moderadamente encajonado entre afloramientos de riolitas y andesitas de la Sierra de Choique Mahuida pertenecientes a la Formación Centinela, pertenecientes a la Provincia Geológica Sanrafaelino Pampeana de edad Permo Triásica o Bloque de la Mahuidas¹, en una versión más actualizada.

Ya al Oeste de Paso Huelches el Río atraviesa sedimentos modernos constituidos por sedimentos aluviales, lagunas, salinas y Paleocanales del Río Colorado, como así también rodados patagónicos y los sedimentos de la Formación Río Negro, dentro de la denominada Cuenca Neuquina o Engolfamiento Neuquino.

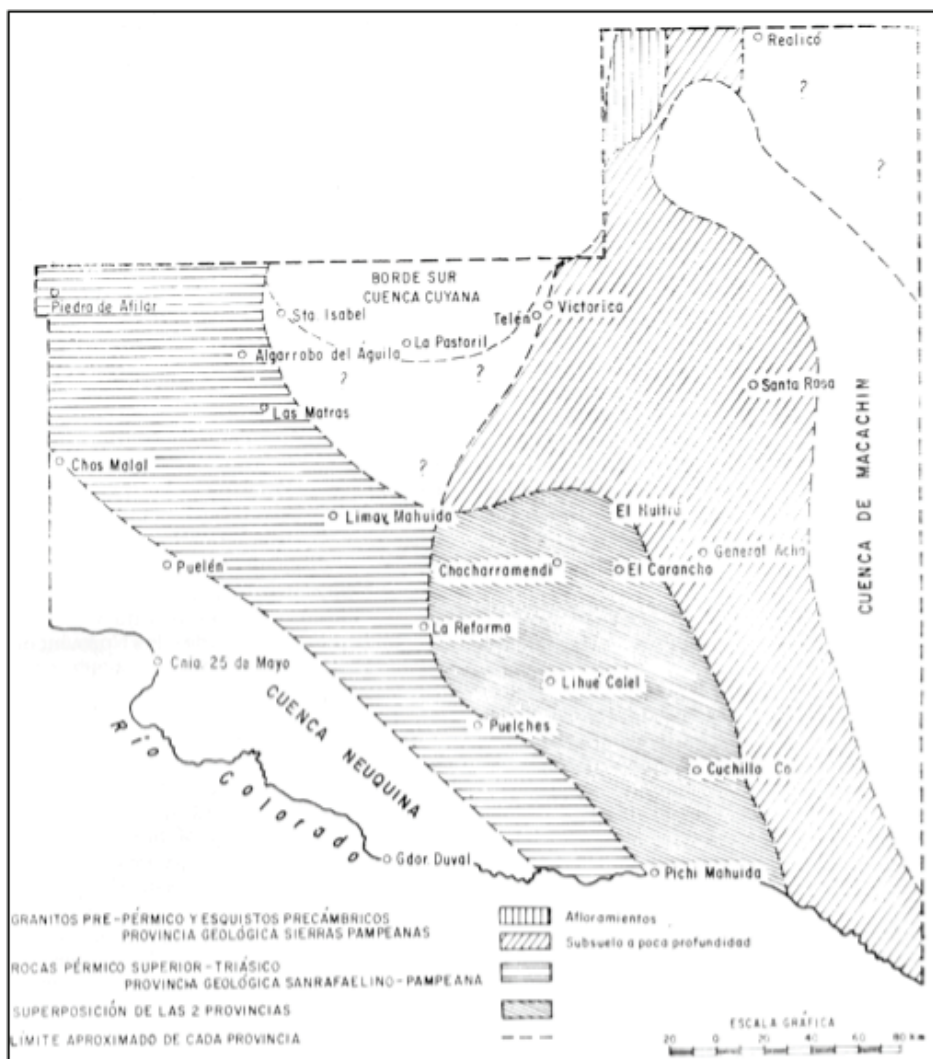
En la figura 1, extraída de Llambías (1980) se muestra esta situación precedentemente descrita.

¹Ramos V.A. Las Provincias geológicas del territorio argentino. Geología Argentina. Anales 29, Cap. 3. SEGEMAR Buenos Aires, 1999

Esta interpretación geológica regional tiene importancia ya que la presencia tanto de rocas eruptivas y metamórficas correspondiente a la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas como de las rocas volcánicas (andesitas y riolitas) precedentemente citadas configuran un corredor de unos 40 km de longitud donde el Río es más estrecho y tiene mayor pendiente. Aquí se ubican los cierres precedentemente estudiados, es decir Pichi Mahuida, El Chivero y Paso Huelches.

Una visión más actual Ramos, 1999 indica que la mayoría de los cierres propuestos: Santo Tomás, Fortín Uno y Huelches I y II, se desarrollan, como se ha indicado, dentro del Bloque de la Mahuidas, mientras que el resto: Moravia, La japonesa, El Milagro lo hacen dentro del Engolfamiento Neuquino.

En escala 1:250.000 Espejo P. y Silva Nieto G. dentro del contexto de la hoja Geológica 3966 ñ II, Puelches, han confeccionado el siguiente mapa geológico de la comarca que se aprecia en la figura 2. En la figura 3 se muestra la ubicación el área de cierre en la imagen satelital. En la misma se han definido las principales estructuras geológicas que son muy importantes para la interpretación de la geología estructural local.



Esquema de las unidades geológicas de la Provincia de La Pampa, Llambías, 1980.

MEDIO AMBIENTE

Las alternativas analizadas con niveles de embalse de cota inferior a 184 msnm, no requieren ninguna relocalización.

Desde el punto de vista Poblacional es un área de muy baja densidad de población y con muy poco desarrollo, destacándose una baja inclusión en los Planes Estratégicos Territoriales, tanto Nacionales como Provinciales.

El Potencial Energético Medio probablemente aprovechable es del orden de los 150GWh/a a los 270GWh/año y una potencia 24MW a 45MW.

De la información recopilada puede decirse que Huelches posee estudios avanzados con información autosuficiente para un nivel de Pre factibilidad, restringida en cuanto a lo que actualmente se considera como investigación del subsuelo, que debe complementarse según las conclusiones del informe de geología geotecnia.

Existe un desarrollo importante previo de la topografía del emplazamiento elegido en su oportunidad para Huelches y un estudio geológico de superficie, que alcanza a los materiales de cobertura de la roca subyacente, así como también relevamientos de diaclasas, fracturas y fallas para el mismo sitio.

Previamente este tramo de 135.00m de desnivel había sido inventariado en el año 1961, dentro de los estudios que dieron origen a la obra de Casa de Piedra, identificándose tres presas, todas ellas en el subtramo inferior destacándose dentro de las mismas la presa de Huelches a cota 188.50 de embalse normal del lago y 192.00 de coronamiento (Antecedente AyE, 1940).

Aguas abajo se preveía la construcción de dos compensadores: en la posición Pichi Mahuida uno de ellos y otro en la posición de Chivero, aunque este último sería el verdadero compensador diario de Huelches.

Desde el punto de vista geológico, ambos cierres se hallan emplazados sobre pórfidos de la Formación Choique Mahuida, en el ambiente de las sierras homónimas.

La alternativa Huelches 1 se asienta sobre pórfidos andesíticos, cubiertos en algunos sectores por una delgada capa de clastos angulosos de origen coluvial y arenas producto del depósito de terrazas fluviales. En el eje Huelches 2, predominan los pórfidos riolíticos, con una intercalación de pórfidos andesíticos. La cobertura coluvial se encuentra menos desarrollada que en Huelches 1.

Para la concreción de ambos cierres a cota máxima, es necesaria la construcción de una serie de Cierres Laterales, que eviten el escape del agua a través de ciertas quebradas.

Desde el punto de vista de las obras, la alternativa Huelches I, implica un cierre principal con menores dimensiones, sin embargo la alternativa II es en su conjunto es más económica.

En relación al salto disponible, la alternativa de menor salto disponible (cota del embalse 173.74), facilita la exclusión del área a inundar por el embalse del proyecto de la Estancia Santa Nicolasa, también se minimiza la superficie del embalse.

No obstante, se ha considerado para este estudio una cota para el coronamiento de la presa de 188,00msnm y un Nivel máximo de verificación (máximo maximorum) de 186.60msnm, considerándose además que cualquier alternativa de menor cota de embalse disminuirá significativamente los impactos y riesgos previstos.

2.1.7 UTILIZACIÓN ACTUAL DEL ÁREA DE EMBALSE

Los embalses que se producen no interfieren en la zona desarrollada por la Provincia de La Pampa, mientras que en el área de la margen derecha sí.

Las identificadas corresponden a áreas menores, la más importante es la interferencia que puede darse en la zona de Moravia en la margen de Río Negro. Se trata de la Estancia Santa Nicolasa, un campo de 73740Has, ubicado sobre la Margen sur del Río Colorado a 40 km de la ruta nacional No. 22 y la localidad de Chimpay, a 90 km de Choele-Choel y a 180 km de la ciudad de Neuquén. Hay 14 viviendas de diversos tipos, para encargados, peones y administración, hay además otro tipo de instalaciones, por ejemplo, 5 mangas corrales y embarcaderos, 13 molinos, con tanques y bebederos, 33 potreros con alambrados en buenas condiciones.

Es un campo de planicie, con 66.000 has. de monte que se compone de jarilla, alpataco, piquillín, mata negra, llallín, etc., en general monte bajo y abierto, donde predominan los pastos de raíz como la flechilla y los pastos de estación. Las 7.740 has restantes corresponden a un campo de valle, con monte y tierras aptas para riego. De estas hay 300 has bajo riego en las que se implantó alfalfa y maíz y se están preparando 400 has más para sembrar.

En dicho sector hay instalaciones de Feed Lot para 2.000 animales y construcciones de viviendas, galpones, tinglados, taller, silos, etc. El establecimiento cuenta con un canal para riego de 22 km de extensión con toma de agua propia del Río Colorado dentro del mismo campo, con potencial para regar 5.000 has. en el valle de la estancia; actualmente se utiliza para regar 300 has. solamente. El canal tiene un caudal de 6m³/s. y está aprobado por el Dpto. Prov.de Agua de la Provincia de Río Negro.

Se aclara que las alternativas analizadas con niveles de embalse de cota inferior a 184msnm no requieren el traslado del emprendimiento hacia sectores más altos.

2.2.5 Conocimiento hidrológico del Río Colorado

Análisis de las medias móviles de los caudales medios anuales.

De los antecedentes de Caudales en el Río Colorado en Buta Ranquil se extractó los caudales medios anuales para un análisis de medias móviles de las series, para las longitudes de 5 a 50 años tomadas de a 5 años.

En la Tabla I se muestran los resultados y se agregan a continuación los datos utilizados.

Los límites posibles para cada longitud de serie analizada de los valores Máximos y Mínimos, esperables en función de los registros históricos, indican que a mayor longitud o período de la serie convergen al valor medio de la serie completa con una disminución de la desviación estándar que coincide con la convergencia.

TABLA I

CAUDALES EN BUTA RANQUIL				
LONGITUD DE LA SERIE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	DESV ST
5	144,7	205,2	96,7	24,7
10	144,4	185,8	120,7	18,0
15	144,9	175,6	124,0	15,4
20	146,0	164,2	126,8	12,9
25	146,3	162,2	125,0	11,6
30	145,9	159,0	128,1	9,5
35	145,9	156,0	132,5	6,4
40	146,3	153,0	138,8	3,3
45	146,0	151,6	142,1	2,6
50	144,9	148,9	142,5	2,0

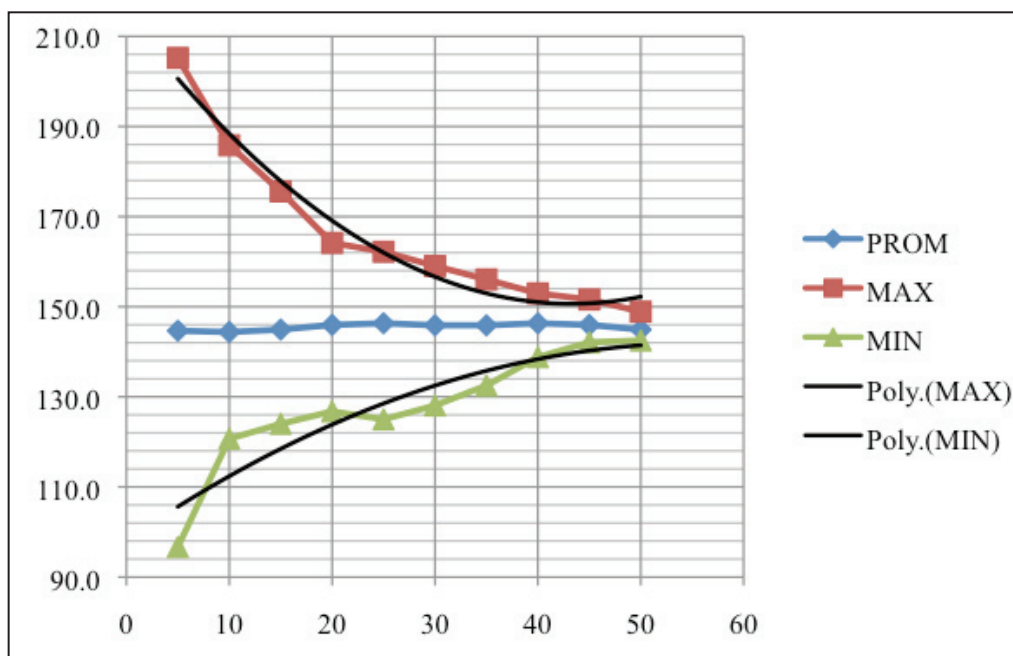


GRÁFICO TABLA I

Luego la información hidrológica es suficiente, sumado a que se tiene aún un mayor número de datos que confirman la serie anterior.

Conocimiento actual del sitio de emplazamiento

Hidrología. Conocimiento hidrológico

La Caridad - La Elena - Río Carrenleufú

Dado el tiempo transcurrido entre la realización de los proyectos y la actualidad deberían analizarse los principales parámetros hidrológicos para constatar su validez, en especial en cuanto a su rendimiento energético y dimensionamiento de las obras de descarga de seguridad.

El Río Carrenleufú se caracteriza por su no intervención en la utilización del Recurso Hídrico en su aspecto consuntivo, en consecuencia su régimen hidrológico no ha cambiado como consecuencia de acciones antrópicas, en particular en la estación de aforos La Elena de interés para estos proyectos, La Caridad y La Helena.

Luego es válido analizar las series utilizadas para el Proyecto Básico de AyE y compararlas con su extensión hasta la actualidad. Esto puede verse analizando los promedios mensuales y anuales:

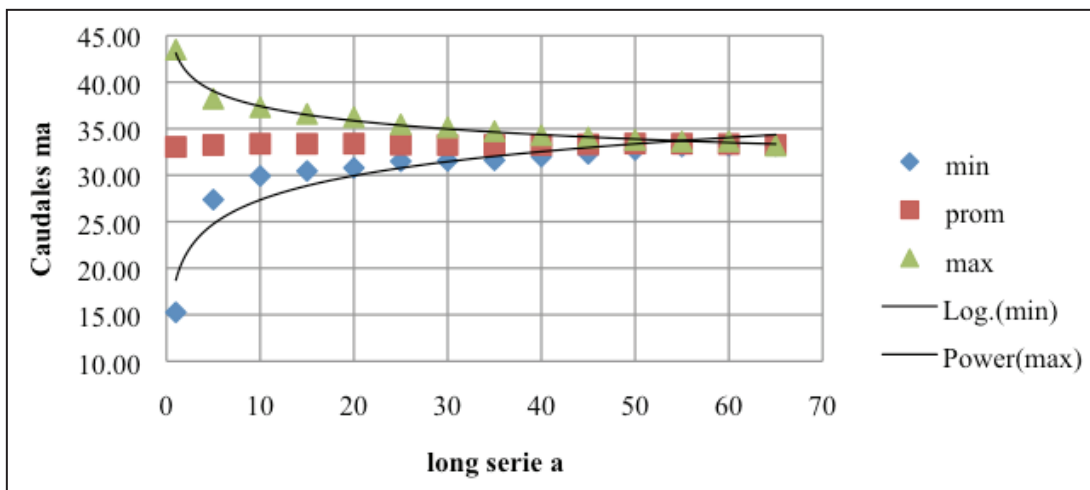
(m ³ /s)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM AN
PROM 54-88	20	25	32	36	36	35	39	42	40	32	24	19	32
PROM 54-11	20	27	34	36	36	36	39	43	43	36	27	20	33

Se observa que el valor promedio de los medios anuales se mantiene prácticamente a nivel de 32.5m³/s, lo cual indica que para estos aprovechamientos, los análisis energéticos, función de las series registradas son válidos.

Sí es posible volver a correr la serie en un modelo adecuado, pero que no mostrará grandes diferencias con los antecedentes.

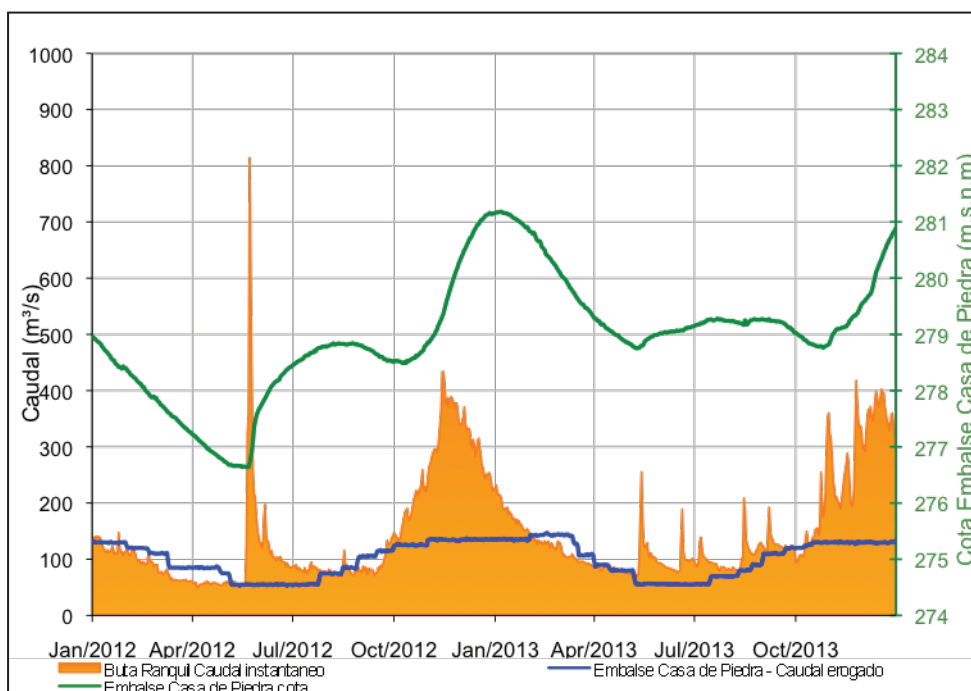
Igual análisis debe hacerse para el análisis de los valores extremos para asegurar el criterio de la seguridad de las obras incorporando incluso nuevas metodologías.

En Anexo se agrega tabla con los registros medios mensuales.



Huelches - Río Colorado

El comportamiento del Río Colorado y el embalse de Huelches pueden observarse en el siguiente gráfico a modo de ejemplo, tomando un año como representativo:



Los caudales ingresantes al embalse sufren una alta regulación como consecuencia del gran embalse relativo de Casa de Piedra. Esto es muy favorable para el emprendimiento Helches ya que con un embalse menor logra una permanencia o garantía de Potencia importante con alto tiempo de funcionamiento y coeficiente de utilización de más de 6.000 hs.

Los caudales utilizados para el análisis energético y el diseño de las obras de evacuación de excedencias han sido los resultantes del sistema Casa de Piedra-La Correntada. La Correntada es un Proyecto de una presa

y embalse compensador aún en proyecto. Este proyecto tiene como objetivo permitir el empuntamiento de la Central Casa de Piedra.

En anexo se agrega una tabla con los caudales de Buta Ranquil, que es la estación aguas arriba del embalse Casa de Piedra, (operados en dicho embalse), con registro entre 1918 y 1994 y además los caudales observados entre 1994 y 2011, con caudales promedio de 129.81 y 130.19 m³/s. respectivamente.

Por lo que puede verse que en los últimos 17 años se han mantenido el comportamiento hidrológico en cuanto a los caudales de operación.

Eventualmente podría analizarse la ocurrencia de caudales extremos en vista a los años últimos, pero sería una verificación de las obras, ya que el diseño queda definido por la capacidad de evacuación de Casa de Piedra.

CAUDALES DISPONIBLES EN EL TRAMO

Los caudales disponibles en el tramo son los medidos en Buta Ranquil restados los de uso consuntivo y las pérdidas por infiltración en el tramo superior a Casa de piedra, las pérdidas que ocurren en el embalse Casa de Piedra por infiltración y evaporación y las demás pérdidas que ocurren aguas debajo de éste.

Los puntos de control que se disponen al momento son los caudales medidos en Buta Ranquil, los medidos en la salida de Casa de piedra y los medidos en Pichi Mahuida. Se poseen las cotas de embalse para estimar los caudales embalsados.

A efectos de interpretar los caudales perdidos por causas naturales preexistentes se analizó la serie 1940-1994, selección anexa en las planillas siguientes con la gráfica de los valores, lo que demuestra que en principio hay una relación proporcional entre los valores de caudal y las pérdidas.

Así mismo se analizó el funcionamiento de casa de piedra en los tres años últimos que se tienen registro en los tres lugares de medición, llegándose a un razonable balance que permite inferir las pérdidas en el embalse.

Para realizar una cuantificación más exacta se deberían tener los caudales de ingreso al embalse, medidos y así determinar donde se producen las pérdidas.

ANTECEDENTE DE SALTO ANDERSEN

A efectos de realizar un análisis preliminar de los rendimientos energéticos del tramo se han tomado los resultados de los antecedentes de Salto Andersen ubicado en el extremo aguas abajo.

De un análisis realizado para la Operación del Embalse Salto Andersen, surge que los caudales medios anuales de todo el período de evaluación de la explotación oscilarían entre un mínimo de 108.0 m³/seg y un máximo de 145.6 m³/seg, con un valor medio de 130.1 m³/seg.

Para el análisis preliminar realizado para los tramos en estudio se ha tomado 130.1 m³/seg, que luego se ajustó en función del rendimiento energético y de 120 m³/seg para el inferior.

Así mismo se han tomado los caudales de referencia en Buta Ranquil que se comparan con los erogados por Casa de Piedra durante su operación y se analiza el funcionamiento del embalse.

Los caudales de salida del Compensador La Correntada (en proyecto), son los caudales tomados como afluentes al tramo.

Geo-topografía

La documentación topográfica disponible para los tres aprovechamientos, La Caridad, La Elena y Huelches están suficientemente desarrolladas para los niveles en los que se analizan en este informe. La Elena en particular a nivel de proyecto básico.

En el caso de Huelches, obra que llegó a adjudicarse y que luego se suspendiera su construcción, la topografía original está a ese nivel de detalle, verificada en los años 2007-2008 con nuevos estudios que corroboraron su validez.

Geotecnia y geología de los sitios

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO LA CARIDAD

Objetivo

El objetivo de este trabajo es la caracterización geológica y geotécnica del área de interés mediante la utilización de los Estudios Básicos claves realizados plasmados en la información previa disponible, con la valoración de los mismos a nivel de Prefactibilidad, con el fin de evaluar las condiciones de emplazamiento de las distintas obras que componen el Aprovechamiento Hidroeléctrico La Caridad.

Geología regional

Ubicación. El marco regional en el que se ubica el área de estudio - particularmente la presa - se encuentra en la intersección del paralelo 43°44'55" de latitud sur y el meridiano 71°13'33" de longitud oeste. Esta zona corresponde a la Cordillera Patagónica Central de la provincia de Chubut.

Antecedentes

Pesce (1978) contribuyó con la estratigrafía de la región y Pezzuchi (1979) desarrolló un informe preliminar de la hoja 45a., Ramos (1979) estudió el volcanismo del Cretácico, Haller y Lapido (1980) trabajaron en el Mesozoico de la Cordillera Patagónica Central.

Desde el punto de vista del proyecto en sí, los principales antecedentes, son:

Prefactibilidad Sistema 1, Estudios Básicos, Tomo I, Geotecnia - Informe, año 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

Geología Sistemas 1 y 2, escalas varias, octubre de 1988, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Involucra un área de 2900 km² a escala 1: 2000.000 y 378 km² a escala 1:50.000.

Plano fotogeológico semidetallado, Aprovechamiento La Elena, escala 1:20.000, junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Involucra un área de 160 km². Plano GSI 1267.

Plano índice de trabajos geológico geotécnicos, escala 1:20.000 - 1: 50.000, junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Plano GSI 1288.

Garganta La Caridad. Fotointerpretación geológica, escala 1: 5.000 junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Plano GSI 1276.

Garganta La Caridad. Fotointerpretación geológica, escala 1: 5.000 junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Plano GSI 1276.

La Caridad. Plano geotécnico Integrado 1, escala 1: 2.000 junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Plano GSI 1271.

La Caridad. Plano geotécnico Integrado 2, escala 1: 2.000 junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Plano GSI 1272.

Cierre La Caridad. Área presa y Central Hidroeléctrica, escala 1: 1.000 junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Plano GSI 1275.

La Caridad. Perfil Sísmico - Geológico, variante presas, escala 1: 1.000 junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Plano GSI 1274.

La Caridad. Perfil Geológico - Geotécnico B - B', escala 1: 2.000 junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Plano GSI 1273.

Los constituyentes geológicos principales de las comarcas son:

Un zócalo de areniscas, limolitas y conglomerados mesozoicos (liásico), intruido por andesitas y brechas. Estas rocas, intensamente fracturadas, afloran en el cañón del Río Carrenleufú en un área de 0, 6 km². Fuera de la garganta los afloramientos son saltuarios y escasos debido a la importante cobertura sedimentaria

resultante de las distintas etapas de glaciaciones a que la comarca ha estado sometida.

Por último, se hallan presentes y adquieren una gran importancia los sedimentos glaciales constituidos por morenas de fondo y laterales, sedimentos marcadamente heterométricos sin estratificación del Pleistoceno, fluvio-glaciar y lacustre, y los depósitos aluviales actuales, como asimismo los debidos a depósitos de talud y remoción en masa.

La distribución de las obras en cada unidad geológica es la siguiente:

- Presa de embalse (fundación): conglomerados, areniscas, limolitas y arcilitas.
- Vaso de embalse: garganta rocosa estrecha y morena lateral El Fango.
- Conducción en túnel: sedimentitas (areniscas, limolitas, etc.) liásicas y vulcanitas (andesitas, tobas y brechas).
- Conducción forzada: vulcanitas.
- Casa de máquinas: afloramiento en vulcanitas.

Las conclusiones del relevamiento regional del área se sintetizan en el siguiente cuadro de fortalezas y debilidades, expresado como ventajas e incógnitas (condicionantes geotécnicos) para cada componente de obra.

APROVECHAMIENTO LA CARIDAD prog. 53,30 km

PRESA a cota 850 IGN

VENTAJAS: garganta estrecha - con rumbo N – S. Existen dos variantes: variante 1 (aguas arriba) y variante 2 (850m aguas abajo).

INCÓGNITAS: estabilidad y permeabilidad de la margen izquierda.

CONDUCCIÓN

VENTAJAS: a partir de la variante 2, puede plantearse una conducción en roca.

INCÓGNITAS: para la variante 1 la conducción es en una morena glacial.

CENTRAL

VENTAJAS: emplazamiento en vulcanitas de la Formación Lago La Plata.

INCÓGNITAS: ausencia de investigaciones semidetalladas.

VASO DEL EMBALSE

INCÓGNITAS: comportamiento de la morena lateral El Fango en cuanto a su permeabilidad.

Conclusiones de la geología a escala regional

La descripción sintetizada de los principales condicionantes geotécnicos (o debilidades) para el conocimiento existente, es la siguiente:

Depósitos glaciares

Los depósitos glaciares se ubican en ambos márgenes de la garganta de La Caridad. En el margen izquierda se constituyen como parte de la morena lateral del Fango y depósitos glacifluviales, mientras que en el margen derecho predominan los depósitos glacifluviales o de outwash. El plano GSI N° 1267, Plano Fotogeológico Semidetallado, en escala 20.000 pone en evidencia estas relaciones.

La profundidad de los depósitos glaciares han sido investigados en profundidad mediante investigación geofísica y quedan reflejados en los planos GSI 1274, La Caridad Perfil Sísmico Geológico, Variantes Presa 1 y 2, La Caridad Plano Geotécnico Integrado 1 y 2, Planos GSI 1271/72, escala 1:2000 y otros. El espesor de estos depósitos disminuye de S a N y es problemático definir una cota promedio ya que también el espesor se incrementa de Este a Oeste.

Generalizando, para el margen derecho o este la "cota promedio" para la variante 1, del contacto depósito glaciar techo de roca es: 820 IGN, mientras que para la variante 2 situada unos 850m aguas abajo es 870 IGN.

Comparando ahora los dos márgenes, pero para el margen izquierda u Oeste, los contactos se sitúan a cotas 800 IGN (para la variante 1) y 830 IGN (para la variante 2), respectivamente.

Teniendo en cuenta que se ha planteado una presa a cota 850 IGN se observa que el margen izquierda presenta más problemas hidrogeológicos o fugas subterráneas de agua, relacionada con la presencia del embalse y la variante 1, más que la variante 2. Es por esta causa que en el informe Prefactibilidad Sistema 1, Estudios Básicos Geotecnia, Tomo 1, Informe, se aconsejó adoptar la variante 2 o de aguas abajo.

Geología de los sitios de emplazamiento de las diferentes obras que componen el aprovechamiento

Se entiende conceptualmente como los estudios que se han realizado para llegar a definiciones de proyecto a nivel de Prefactibilidad, conceptualmente claros y que las decisiones que se han tomado tienen un correlato en sus estudios e investigaciones que los justifiquen. Asimismo se expondrá un resumen de la cantidad de la investigación realizada y procesada.

Geología y geotecnia del sitio de emplazamiento de la presa

El sitio de emplazamiento de la presa es una garganta estrecha, con rumbo general sur norte y unos 1,5

km de longitud labrada por un cauce sobreimpuesto a un surco glaciar, en un macizo de rocas sedimentarias del liásico.

Como ya se comentó más arriba, para alcanzar una cota de coronamiento 850 IGN, existen dos sitios topográficamente aptos para la ubicación del cierre: la variante 1 en zona de rápidos y el emplazamiento aguas abajo o variante 2 (Véase la imagen N° 1).

Para alcanzar la cota 850 IGN es recomendable este último sitio - variante 2 - pues en la zona de rápidos se llega en la cota 831 IGN a un manto morénico que implicaría a priori un amplio tratamiento de impermeabilización para viabilizar las obras en su conjunto. En el plano GSI 1274, Perfil sísmico geológico, Variantes de Presas 1 y 2, escala 1000, A y EE, 1989 se aprecia claramente esta situación.

El emplazamiento de aguas abajo presenta un perfil íntegro en roca sedimentaria (GSI 1274): pelitas muy compactas, areniscas finas y conglomerado silíceo del Jurásico superior. El esquema estructural del perfil variante 2 se evaluó mediante estudio estadístico de discontinuidades, evidenciándose una discontinuidad en el cauce del Río que cambia el esquema en una y otra margen. El esquema estructural es de gran importancia ya que determina la calidad geotécnica del macizo. El estudio se completó con la perforación situada en la margen izquierda denominada CPI 102 de 74m de profundidad. Así se pudo correlacionar los datos geológicos de superficie con datos en profundidad. En margen derecha no existen perforaciones y sólo se cuenta con datos de geología superficial y geofísica. (Véase Fig. 1).

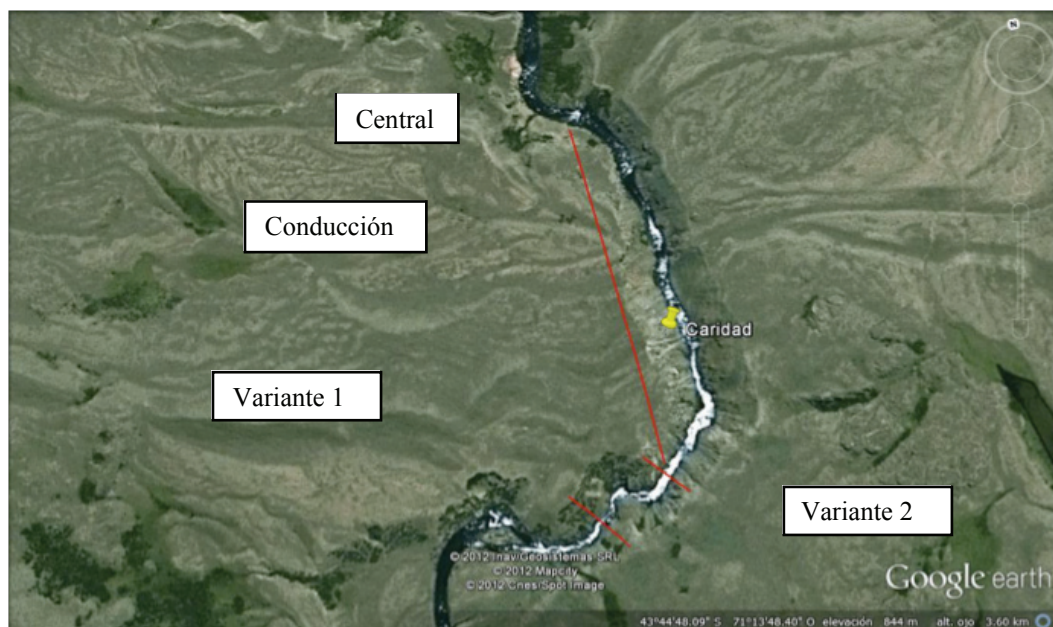


Imagen N° 1. Garganta de La Caridad.

En cuanto a las velocidades de la onda longitudinal, son de 5600 m/s en margen izquierda y 4700 m/s en la derecha, lo que indica una importante compacidad del macizo rocoso. Las características geotécnicas del macizo de fundación son compatibles con valores de calidad según Bieniawski, 1973 y publicaciones

subsiguientes del orden de $RMR = 22 - 42$ (Roca Clase IV, roca Pobre a III Regular), para una transicional entre la capa descomprimida superficial y el macizo sano y de $RMR = 57$ (clase III, Regular, para el macizo más profundo).

La calidad del macizo según Q, según Barton et al, 1974 y publicaciones subsiguientes, se sitúa entre valores de 0,104 a 0,375 (Roca Muy Pobre).

Para estas características el macizo se considera como de alta deformabilidad, con un Módulo de deformación (Md) entre 6,3 y 2,7 GPa y con un ángulo de fricción interdiacal de 25° a 30° , ángulo de fricción de pico entre 30° y 40° , cohesión 0,1 a 0,2 MPa. Ensayos de compresión uniaxial en laboratorio arrojaron valores medios de 41 MPa.

Los problemas geotécnicos previstos, con los datos disponibles a estas instancias de estudios (Prefactibilidad), son: alta a mediana deformabilidad de los estribos ya que el macizo es heterogéneo y anisótropo. La resistencia de los apoyos está dada por la resistencia al corte entre planos de estratificación, y la permeabilidad en el sustrato rocoso estará condicionada por la filtración a través de fracturas transversales al eje de la presa.

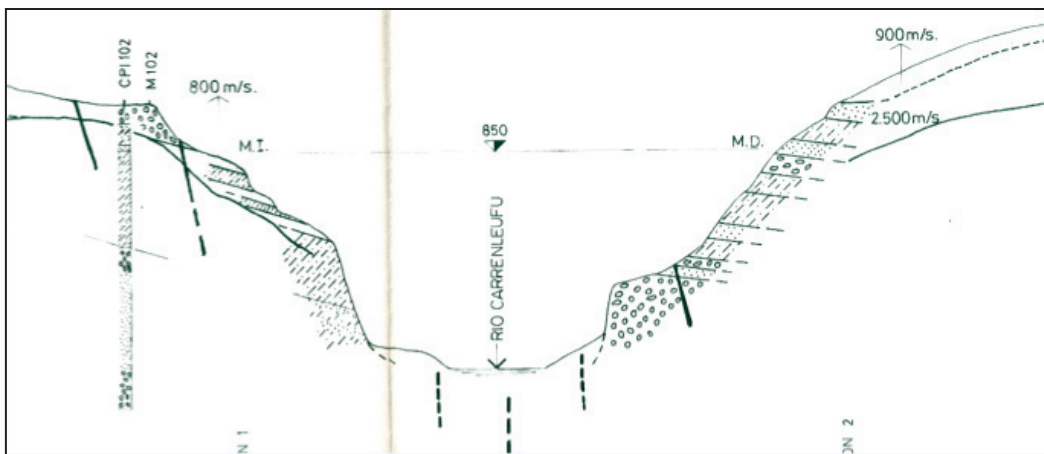


Figura 1. Perfil geológico por Variante 2, La Caridad.

Estas evaluaciones están fundadas sobre las siguientes investigaciones llevadas a cabo oportunamente².

Levantamientos geológicos de superficie

Escala: 1:2000; Superficie: 2,90 km².

Escala 1:1000 – 1:500; 0,35 km².

Perfiles geofísicos³.

Tipo: sísmica de refracción; cantidad: 4; longitud: 4 km.

²Se incluyen las realizadas para obras provisionarias y auxiliares (ataguías, túnel de desvío, vertedero, etc.)

³Incluye la prospección de los cierres laterales. Se han computado las campañas de los años 1984 a 1990.

Perforaciones

Tipo: rotación con extracción continua de testigos; N° de perforaciones: 2; Longitud: 128m.

Ensayos de laboratorio

Tipo: compresión uniaxial; Cantidad: 8.

Tipo: compresión diametral; Cantidad: 4.

Tipo: densidad; Cantidad: 8.

Tipo: velocidad ultrasónica; Cantidad: 8.

Ensayos in situ

Tipo: absorción de agua (tipo Lugeon); Cantidad: 20.

Las conclusiones para el proyecto de la presa, entonces, son:

Los principales antecedentes en que se basa este informe, son:

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Tomo I, Geotecnia - Informe. Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Tomo 2, Planos, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989. Planos GSI N° : 1303, 1266/67/68/69/70/71/72/73/74/75/76 y 1288.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Tomo 3, Planos, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989. Planos GSI N° : 1280/81, 1282, 1304/05 y 1285.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos. Sismicidad y Riesgo Sísmico. Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989.

Vaso del embalse. Cierres morénicos

Según lo comentado en las conclusiones de la Geología a escala regional, éstos constituyen los principales condicionantes geológicos geotécnicos del aprovechamiento. Una vez realizados los estudios de campo, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

El estrecho vaso correspondiente a este cierre, con un volumen de tan sólo 8 Hm³, para la cota 850 IGN, presenta las siguientes consideraciones:

- En la estrecha garganta rocosa pueden producirse deslizamientos inducidos por el embalse, en especial en margen izquierda, dada la inclinación desfavorable de los estratos.
- Probables pérdidas de agua por la morena lateral El Fango y los depósitos glaciales asociados. Aunque este aspecto no ha sido estudiado mediante ensayos de campo y/o modelos matemáticos u otros métodos, el sentido probable del escurrimiento sería S - N y el gradiente para una cota 850 IGN, sería del 7,5% ya que los perfiles geoelectricos realizados muestran una zona de baja resistividad, que pueden corresponder a un acuífero situado inmediatamente por encima del techo de roca. Planos La Caridad, Plano Geotécnico Integrado 1 y 2, GSI 1271/72.

Se detalla las investigaciones realizadas oportunamente.

Levantamientos geológicos de superficie⁴.

Escala 1:10.000; 13,50 km².

Perfiles geofísicos⁵.

Cantidad: 2; Longitud: 2,3 km.

Recomendaciones para el proyecto

En el informe Geotecnia, correspondiente a la Prefactibilidad del Sistema, apartado 3.3.2.4. se indican los principales condicionantes de este cierre. De las consideraciones allí vertidas, se destacan:

- Relacionado con la resistencia del macizo deberá estudiarse en detalle la posibilidad de rotura por dislocación de grandes bloques.
- Los estratos buzan en ambas márgenes hacia el talud del valle del Río con ángulos similares al ángulo de fricción residual, situación riesgosa que a priori indica la estabilización con anclajes, especialmente durante la excavación en margen izquierda. Para esta situación es necesario identificar los bloques más destacados.
- En fallas particularmente importantes, se requerirán tratamientos localizados de consolidación.
- En especial en la margen derecha, se recomienda ubicar la presa entre las dos fallas trazadas en el plano GSI 1275, en escala 1000.

Obra de toma. Túnel de conducción y Chimenea de equilibrio

Se prevé obra de toma sobre margen izquierda y túnel de conducción de 1000 metros de longitud y 5 metros de diámetro. Mediante estudios geofísicos de detalle se puso la presencia de sedimentos glaciares a cota de excavación, que implica riesgos inacotables con el actual nivel de conocimiento.

⁴Están incluidos en el punto 1.1. Geología del sitio de emplazamiento de la presa.

⁵Están incluidos en el punto 1.1. Geología del sitio de emplazamiento de la presa.

Como alternativa viable se podría diseñar todo el túnel en el macizo rocoso, con una tapada en roca de tres diámetros como mínimo. Con fines orientativos se trazó la clave de la excavación a 815 IGN y la progresiva 0,00 en la embocadura de la misma.

Una zonificación primaria de la conducción que se visualiza en el plano GSI 1273 escala, 1200 La Caridad Perfil geológico geotécnico B – B' es la siguiente:

Zona	Litología	Caracterización geotécnica	Velocidad sísmica	Progresivas
A	Rocas sedimentarias: pelitas, areniscas y conglomerados	Clase III y IV RMR = 38 - 42	5400 m/s	0,00m – 250 m
B	Zona tectonizada	Clase IV RMR < 25	3800 m/s	250m – 600 m
C	Roca cataclástica	Zona de falla	-----	600m – 700 m
D	Vulcanitas: andesitas, brechas y tobas	Clase III RMR = 57	5400 m/s	700m – 1000 m

Tabla: zonificación de la conducción.

A lo largo de toda la traza existe una tapada de depósitos glaciares – morena - con una profundidad máxima de 22m y velocidades sísmicas típicas entre 1300 m/s y 1500 m/s pero que crecen hasta 3000 m/s hacia aguas abajo. Éstos se encontrarían saturados ya que en su parte basal, presentan una resistividad de $R < 100 \text{ ohm/m}$.

Los problemas geotécnicos previstos, son:

- Afluencia de agua al túnel, a presión moderada a alta.
- Inestabilización de bloques rocosos por efecto de la presión hidrostática, fundamentalmente entre progresivas 0,00 y 250m y entre 700 y 1000m.
- Lavado de rellenos finos en zonas de falla con posibilidad de rotura tipo flujo entre progresivas 610 y 700m.

Las recomendaciones geotécnicas para el proyecto, son:

- La embocadura debe plantearse a cota 815 IGN para la clave, asegurando una tapada de roca de alta velocidad sísmica de unos 30 metros.
- En etapas posteriores del proyecto debe estudiarse con más detalle la zona de falla entre las progresivas 600 y 700 m.
- Se presume que el túnel deberá tener un bulonaje activo sistemático en toda su longitud. En zonas de mayor diaclasamiento/fracturación se aconseja bulones + gunita + malla de acero anclada a la roca. Previo al gunitado deberá drenarse mediante perforaciones y/o tubos colectores para evitar presiones intersticiales de agua y los consiguientes desprendimientos.

- En zonas de falla con amenazas de flujo de roca deberá computarse cerchas metálicas arriostradas a la roca - progresivas 600 y 700m.

Las evaluaciones correspondientes a la obra de toma, túnel y chimenea de equilibrio) están fundadas sobre las siguientes investigaciones llevadas a cabo oportunamente por A y EE.

Levantamientos geológicos de superficie

Escala: 1:5000; Superficie: 1,6 km².

Perfiles geofísicos⁶

Tipo: sísmica de refracción; Cantidad: 2; Longitud: 1800 m.

Sondeos eléctricos verticales: sin datos.

Perforaciones

Tipo: rotación, Cantidad: 1; Longitud: 45 m.

Ensayos de laboratorio

Tipo: resistencia a la compresión uniaxial; Cantidad: 6.

Tipo: densidad; Cantidad: 6.

Tipo: velocidad ultrasónica; Cantidad: 6.

Ensayos in situ

Tipo: de absorción de agua tipo Lugeon; Cantidad: 7.

Tubería forzada y casa de máquinas

Para la fundación de la central se requiere roca de buena calidad, sin la necesidad de realizar excavaciones y tratamientos extraordinarios.

En función de estas consideraciones se seleccionó un afloramiento de brecha volcánica tenaz y silicificada en progresiva 980m del perfil de la conducción (plano GSI 1275, escala 1:1000), entre cotas 747m y 760 IGN. En el sitio se realizó un perfil sísmico, perfil 3 y una perforación con extracción de testigos denominada CCH 1 de 45m de longitud, unos 20m por debajo del cauce del río.

En los estudios de absorción de agua se registraron valores superiores a las 10 Unidades Lugeon (UL), en concordancia con zonas microdiacadas y moderadamente alteradas.

⁶Se incluyen estudios de las campañas 89/90

Sobre muestras obtenidas de la perforación se realizaron ensayos en laboratorio, obteniéndose los siguientes resultados medios:

- Densidad: 2,78 t/m³.
- Velocidad ultrasónica: 6800 m/s.
- Compresión diametral: 6,20 MPa.
- Compresión uniaxial: 107,30 MPa.

Los problemas geotécnicos previstos, son:

La fundación se prevé en niveles de andesita inferior de buenas características portantes asumiendo a cota 740m IGN aproximadamente. Se deberá chequear la posibilidad de fallas por deslizamiento entre discontinuidades, considerando empuje hidrostático.

Las recomendaciones geotécnicas para el proyecto, son:

- El macizo de fundación es portante para cargas normales en este tipo de edificios - $Q_{adm} = 1 \text{ MPa}$
– Se prevé un módulo de deformación cercano a 40 GPa para el macizo entre fallas. Para zonas fracturadas los valores de módulo podrían reducirse en un 20% del valor antes consignado.
- Debe situarse el edificio entre fallas principales que se encuentran identificadas a fin de evitar sobreexcavaciones y tener que enfrentar deslizamientos y roturas del macizo a través de las mismas.
- Deben realizarse estudios complementarios en el sitio de emplazamiento.

Las evaluaciones correspondientes para las obras mencionadas en el acápite están basadas sobre las siguientes investigaciones llevadas a cabo oportunamente por A y EE.

Levantamientos geológicos de superficie; Escala: 2.000

Superficie: 750 m².

Perfiles geofísicos⁷

Tipo: sísmica de refracción; Cantidad: 1; Longitud: 250 m.

Tipo: rotación.

Cantidad: 1; Longitud: 45 metros.

Ensayos de laboratorio

Tipo: resistencia a tracción y compresión uniaxial; Cantidad: 12.

Ensayos in situ; Tipo: de absorción de agua tipo Lugeon; Cantidad: 7.

⁷Se incluyen sólo los de las campañas 89/90

Sismicidad y Riesgo Sísmico de la comarca

La actividad sísmica de la región se analiza en términos probabilísticos, debido al desconocimiento de la secuencia de eventos sísmicos. La ponderación del riesgo surge entonces, de la determinación de la probabilidad de ocurrencia en un intervalo de tiempo de uno o más fenómenos tomados como sismo de diseño.

Los principales antecedentes de los que se ha recopilado información, son:

Estudios Básicos: Sismicidad y Riesgo sísmico, 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

Estudio de Factibilidad del aprovechamiento hidroeléctrico del Río La Leona. IATASA ESIN (UTE). 1986. Wahler y Associates. Agua y Energía Eléctrica S.E.

Informe Final. Estudio 1 CA.83. Apartado 4.2. Sismicidad. Consultoría para la confección de los Términos de Referencia. Aprovechamiento H. La Elena. Dto. Futaleufú. Prov. Del Chubut, Junio de 2006.

D'Appolonia - Estudio Q. Seismic Hazard Assesment Futaleufú Dam. Nov. 1995.

Fuentes de información

Se emplearon las siguientes fuentes de información disponibles: datos sísmicos instrumentales: obtenidos por las estaciones sismológicas internacionales y recopilados en distintos catálogos.

Los datos de estas estaciones, permiten calcular la ubicación en latitud, longitud y profundidad de los focos sísmicos, estos son:

- i) Considerando sismos de magnitud igual a mayor a 6 de la escala de Richter, entre 1906 y 1979.
- ii) Considerando la totalidad de los sismos informados por la Red Sismológica Internacional entre 1960 y 1979.

El primer grupo tiene como limite 6, dado que a partir de esa magnitud se asegura que en todo este intervalo de tiempo se hayan medido los eventos importantes.

Con el análisis de esta información surgen las siguientes conclusiones:

- i) La casi totalidad de epicentros se localiza al oeste de la cuenca, principalmente en territorio chileno y en el fondo del océano adyacente. Véase la imagen satelital N° 2.
- ii) La profundidad de los focos sísmicos tiene una dispersión que varía con la longitud, siendo mínima en el fondo oceánico adyacente y máxima cerca del límite internacional (con un rango de variación en esta zona desde 30 hasta 160 kilómetros de profundidad).



Imagen N° 2. Sismos más cercanos a los emplazamientos de La Caridad y La Elena.

iii) Los sismos ubicados en la República Argentina, tanto superficiales como profundos son de baja magnitud e inferior a 6 de la escala de Richter.

iv) Datos sísmicos históricos: para el caso de Chile y Cuyo los datos de eventos muy fuertes se remontan al siglo XVI. El análisis de la distribución de los sismos históricos es coincidente con los datos instrumentales posteriores, es decir:

- Grandes sismos en el fondo del océano adyacente a las costas chilenas, como el del 22/5/1960 – Sismo de Valdivia - de magnitud 9,2 con maremoto asociado, situado a unos 460 km al N – NO.
- Sismos de menor magnitud, dentro del territorio chileno, como los que destruyeron Talca (M = 8.0 en 1928) y Chillán (M 7.7 en 1939).

v) Datos geológicos y tectónicos: estos estudios tratan de determinar evidencias en la corteza terrestre e interpretar la relación con la acción de estos fenómenos, fundamentalmente en los últimos millones de años. La mejor evidencia entre la sismología y la geología, asocia la actividad sísmica con el movimiento relativo entre placas que forman la corteza terrestre. Los grandes sismos de esta zona se explican como producto de la interacción de la placa de Nazca con la Sudamericana, donde la primera subduce debajo de la segunda.

Sismicidad histórica. Evaluación de la Sismicidad

Frecuencia anual de ocurrencia de terremotos (N) en función de la magnitud en la zona de estudios (M)⁸. Si se tiene en cuenta la fórmula empírica: $\log N = a - bM$ es posible determinar la frecuencia de ocurrencia de un sismo en función de la magnitud. Para ello es necesario determinar las constantes a y b que son características de la zona.

Para el cálculo de los coeficientes se han tenido en cuenta aquellos valores mayores que $m = 4$ en el período 1966 - 1985. Los valores más aceptables son $a = 1,80$ y $b = 0,50$. En la siguiente tabla se correlacionan N y M .

N: Frecuencia anual de ocurrencia de sismos	M: Magnitud del sismo
5	2
1	3
0,5	4
0,3	4,5
0,2	5
0,1	5,5
0,05	6

Tabla: frecuencia anual de ocurrencia de sismos en función de la Magnitud (M).

Magnitud más probable para un intervalo de tiempo (MT) determinado en la zona de estudio

De la aplicación de la teoría generalizada de los valores extremos de Gumbel se han obtenido ciertos resultados. En este caso $(T) = a + \log T / b$ indica que si consideramos los valores de a y b previamente calculados y tenemos en cuenta distintos intervalos de tiempo T se pueden obtener los valores de magnitud M, más probables.

T: Intervalo de tiempo (años)	M: Magnitud del sismo Escala de Richter
1	3,5
6	5,0
10	5,2
15	5,8
20	5,9

Tabla: Magnitud más probable para un intervalo de tiempo determinado.

⁸N = frecuencia media zonal de los sismos que igualan o superan la magnitud Ms

Probabilidad de ocurrencia de un sismo de una determinada magnitud para distintos intervalos de tiempo

Si consideramos que: $P(M,T) = \exp[-10^a \exp(-bm \ln 10)]$ se puede observar que la probabilidad de ocurrencia de un sismo para un intervalo de tiempo T puede ser determinado en base a valores de a y b, según se observa en la Tabla.

Probabilidad de ocurrencia de una determinada magnitud en %	Magnitud (M) para T = 1 año	Magnitud (M) para T = 5 años	Magnitud (M) Para T= 10 años
100	M = 2,0	M = 3,0	M = 4,1
90	M = 3,2	M = 4,3	M = 5,2
80	M = 3,4	M = 4,8	M = 5,4
60	M = 3,8 *	M = 5,2	M = 5,8
40	M = 4,2 *	M = 5,6 *	m = 6,1 *
30	M = 4,5 *	M = 5,9	M = 6,4
10	M = 5,7	M = 7,1	m = 7,5 *

* Valores extrapolados P % de m f (T).

Tabla: Probabilidad de ocurrencia de un terremoto de una determinada magnitud para distintos intervalos de tiempo.

Riesgo sísmico

La generación de terremotos puede ser considerada como un proceso estocástico de donde se desprende que puede ser expresado como un modelo de Poisson.

Se puede, en consecuencia, definir el Riesgo Sísmico como una probabilidad de ocurrencia de un terremoto de magnitud m o mayor en un período T, relacionando la Magnitud con la Frecuencia media de ocurrencia (Φ), Richter y Gutenberg 1954, como $RT(M) = 1 - e^{-\Phi T}$.

Los períodos medios de recurrencia que se obtienen del análisis de la sismicidad del área en estudio permiten establecer las siguientes frecuencias medias:

M (Años)	Frecuencia Medias	Frecuencias
5,2	8	0,125
5,5	11	0,090
6,0	20	0,050

En la Tabla siguiente, se evidencia el Riesgo Sísmico para los sismos de Magnitudes 5,2, 5,5 y 6,0.

Riesgo sísmico (%)	Tiempo (T) param = 5,2	Tiempo (T) param = 5,5	Tiempo (T)param = 6,0
90	18 años	25 años *	48 años
80	12 años *	20 años	32 años *
60	5 años	11 años	20 años

Tabla: Riesgo Sísmico para los sismos de Magnitudes 5,2, 5,5 y 6,0. * Valores extrapolados.

Conclusiones

Por todo lo expuesto es factible sugerir los siguientes parámetros sísmicos.

El coeficiente sísmico zonal para el Carrenleufú varía entre 0.025 y 0.050, pero ha sido calculado con parámetros propios de otras obras (Alicurá, p. ej.).

Son de interés los siguientes datos extraídos de publicaciones del INPRES para la zona de Carrenleufú:

- i) Una intensidad de Mercalli Modificada mayor a iguala VII con una recurrencia de 100 años.
- ii) Un período medio de retorno entre 50 a 100 años para una aceleración de 0.05g y un riesgo del 10% de producirse una aceleración del 0,10 g en 50 años. Valores que aparecen un tanto bajos para la verificación de estructuras.
- iii) Teniendo en cuenta recomendaciones del CIRSOC, para localizaciones en el límite de la zona 1 y la 2, como es el caso que nos ocupa, las aceleraciones máximas para obras fundadas en roca estarían en el orden de 0,08 a 0,16 g. Para obras de infraestructura la probabilidad de excedencia (o inversa del periodo de retorno), aumenta los valores antedichos hasta un 20%.

La intensidad del punto i), puede ser atribuible a un sismo como el de magnitud 6.0, próximo a la Central La Elena.

De acuerdo a este criterio, se podrá seleccionar la magnitud y recurrencia que se considere más adecuada para el riesgo que se desee asumir. Se sugiere optar para cada caso de la siguiente forma, siguiendo los lineamientos tomados en cuenta para verificaciones hechas en Futaleufú:

- Terremoto Básico de Operación (TBO).
- Origen: falla regional.
- Periodo de retorno: 145 años.
- Magnitud: 7,5.
- Aceleración máxima en el sitio: 0,17g.

- Terremoto Máximo de Diseño (TMD).
- Origen: tectónico (contacto intraplacas).
- Periodo de retorno: 4000 años.
- Magnitud: 8,5.
- Aceleración máxima en el sitio: 0,40 g.

Yacimientos

El estudio de yacimientos lo constituyen los yacimientos de materiales granulares, fundamentalmente para la elaboración de hormigones.

Los yacimientos se encuentran en distintas localizaciones geográficas ya que ambos grupos de obras se encuentran en lugares distanciados y con accesos muy disímiles.

Los principales antecedentes en que se basa esta información, son:

Prefactibilidad Sistema 1, Estudios Básicos, Yacimientos Tomo I, Informe, año 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

Prefactibilidad Sistema 1, Estudios Básicos, Yacimientos Tomo 2: Planillas, Informe, año 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

Factibilidad

Sistema I, Estudios Básicos, Tomo I, Yacimientos - Informe. Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1990.

Yacimientos de materiales granulares en el área de la presa

- Yacimiento Caridad

Este yacimiento se encuentra en una terraza glacial a unos 3,50 km de distancia del eje de presa y entre cotas 725m y 740m IGM. Véase la imagen satelital N° 3.

EL yacimiento está constituido por arena y gravas mal graduadas SP y GP, compuesta principalmente, por rodados poco alterados y redondeados con un porcentaje de bloques mayores de 6" bastante importante, entre el 8% y el 10% que ha sido el factor limitante del yacimiento. Un dato importante es que el mismo se encuentra bajo la cota 740 IGN, o sea por debajo de la cota de máximo embalse del aprovechamiento La Elena.

Los trabajos de exploración en campo consistieron en la realización de 102 calicatas de las cuales se muestrearon 71, cubriendo 117 hectáreas. Las 31 calicatas restantes consistían en aquellas que tenían más del 50% de bloques mayores de 6".

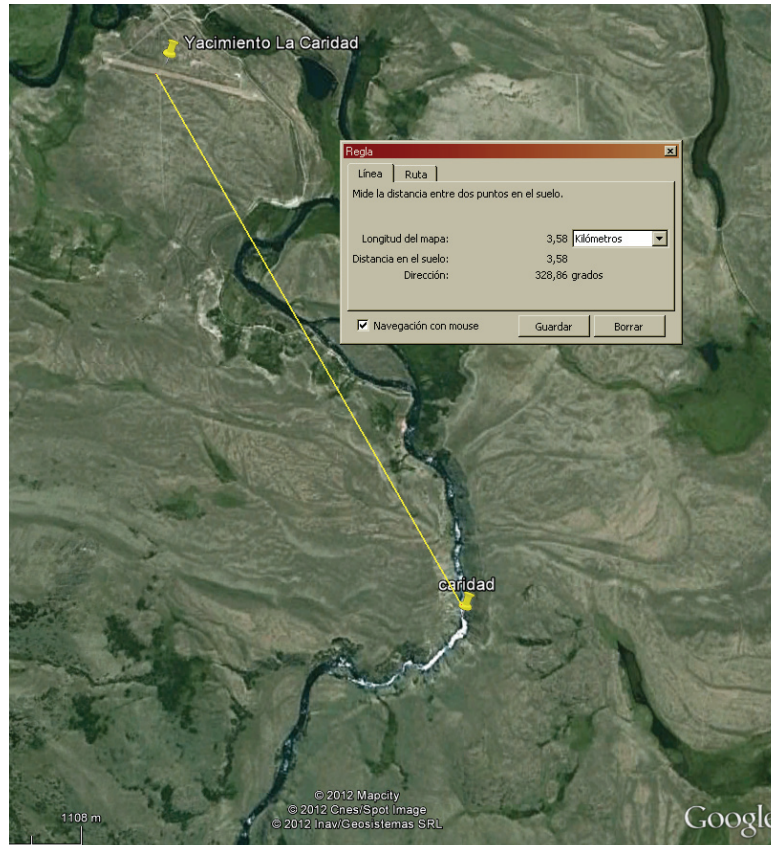


Imagen N° 3. Ubicación del yacimiento La Caridad y Distancia al eje de la presa homónima.

El mismo presenta las siguientes características:

- Agregado grueso.

i) Granulometría

- Retenido T. N° 3" = 15,15 % (máximo 49,20%).
- Retenido T. N° 1 ½ " = 33,17 % (máximo 64,10%).

ii) características físicas (áridos)

- exento de material fino perjudicial.
- peso específico seco (2,616 kg /m³).
- desgaste: conveniente.
- de granos esféricos.
- absorción entre 1,18 y 1,26%.

iii) determinaciones químicas: no se encontraron sales totales en ninguna de las muestras ensayadas

iv) ensayos petrográficos: partículas redondeadas a subredondeadas de composición granítico granodiorítico y de vulcanitas

v) durabilidad: adecuada

- Agregado fino (arenas). Los valores medios obtenidos para materiales clasificados SP; SP – SM son los siguientes:

i) granulometría

Retenido T. N° 4 = 31,72 %.

Promedio pasante Tamiz N° 200 = 4,2%.

ii) características físicas (áridos)

- peso específico seco (2,56 – 2,62 Kg /dm³).
- de granos esféricos.
- absorción entre 1,5 y 2,9%.
- Desgaste L.A. = 13,80 %.

iii) determinaciones petrográficas

- Partículas sin recubrimiento, salvo polvo fino lavable.
- 95% de las partículas corresponden a fragmentos líticos.
- 95% del material en estado fresco.
- Bajo porcentaje de vulcanitas.

Cubicación del yacimiento.

Gravas GW – GP

Superficie = 28 Ha.

Espesor del manto = 2,00m.

Volumen = 560.000 m³.

Arenas SP; SP – SM

Superficie = 24 Ha.

Espesor del manto = 2,00 m.

Volumen = 480.000 m³.

Destape

Superficie = 52 Ha.

Espesor de destape = 0,55m.

Volumen = 286.000 m³.

- Yacimiento Los Mellizos

Se encuentra ubicado sobre la terraza fluvio-glacial en margen derecha del Cañadón Puentes Mellizos, en el camino vecinal que partiendo de la ruta Provincial N° 17 (Tecka – Corcovado) lleva a la Estancia La Caridad y a unos 8 km del área de cierre.

Los trabajos de exploración en campo consistieron en la realización de 50 calicatas de las cuales se muestrearon 37, cubriendo 58 hectáreas. Las 17 calicatas restantes consistían, al igual que en el Yacimiento La Caridad, en aquellas que tenían más del 50% de bloques mayores de 6". También se realizaron 3 perfiles eléctricos verticales SEV's.

Cubicación del yacimiento

Gravas GW – GP

Superficie = 58 Ha.

Espesor del manto = 2,00m.

Volumen = 1.160.000 m³.

Destape

Superficie = 58 Ha.

Espesor de destape = 0,50m.

Volumen = 290.000 m³.

Parámetros estudiados

i) Granulometría

- Retenido T. N° 3" = 11,21 % (máximo 37,70%).
- Retenido T. N° 1 ½ " = 33,47 % (máximo 60,50%).
- Retenido T. N° 4 " = 67,89 % (máximo 60,50%).
- Pasante T. N° 200 = 2,29 %.
- Módulo de fineza: 2,89 – 9,07.

ii) características físicas (áridos)

- peso específico seco (2,70 – 2,61 Kg /dm³).
- de granos esféricos.
- absorción entre 0,68 y 1,23%.
- desgaste L.A. = 11,20 %.

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO LA ELENA

Objetivo

El objetivo de este trabajo es la caracterización geológica y geotécnica del área de interés mediante la utilización de los estudios básicos claves realizados plasmados en la información previa disponible, con la valoración de los mismos y la ponderación de lo faltante para llegar al nivel de Proyecto Básico, con el fin de evaluar las condiciones de emplazamiento de las distintas obras que componen el Aprovechamiento Hidroeléctrico La Elena.

Geología regional

Ubicación. El marco regional en el que se ubica el área de estudio se encuentra entre los paralelos 43° 30' y 44° de latitud sur y entre los meridianos 71° y 71° 45' de longitud oeste. Esta zona corresponde a la Cordillera Patagónica Central de la provincia de Chubut.

Antecedentes. Pesce (1978) contribuyó con la estratigrafía de la región y Pezzuchi (1979) desarrolló un informe preliminar de la hoja 45a., Ramos (1979) estudió el volcanismo del Cretácico, Haller y Lapidó (1980) trabajaron en el Mesozoico de la Cordillera Patagónica Central.

Desde el punto de vista del proyecto en sí, los principales antecedentes, son:

Prefactibilidad Sistema 1, Estudios Básicos, Tomo I, Geotecnia - Informe, año 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

Geología Sistemas 1 y 2, escalas varias, octubre de 1988, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Involucra un área de 2900 km² a escala 1: 2000.000 y 378 km² a escala 1:50.000.

Plano geológico semidetallado, Aprovechamiento La Elena, escala 1:20.000, junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Involucra un área de 160 km².

Plano índice de trabajos geológico geotécnicos, escala 1:20.000 - 1: 50.000, junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

La Elena, plano de lineaciones tectónicas (fotointerpretación), escala 1: 10.000 junio 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento. Involucra un área de 48 km².

Resumen

En el área de estudio aflora la Formación Lago la Plata constituida por andesitas, filones y diques de pórfiros andesíticos que se presentan como el cuerpo principal de un intrusivo regional del Periodo Jurásico; superpuesta se encuentra la Formación Cerro Campamento constituida por sedimentitas finas del Cretácico inferior que infrayace a la Formación Divisadero, conformada por sedimentos continentales y vulcanitas, también del Cretácico inferior. Estas dos últimas formaciones no afloran en el área de estudio correspondiente al aprovechamiento de marras.

Discordante e intruyendo a dichas formaciones se encuentra el Granitoide Río Hielo del Cretácico superior, pequeño intrusivo en la zona noroeste de la comarca que corresponde a un batolito mayor que aflora en las cercanías de la sierra de Tecka, fuera del área de estudio. En suprayacencia, la Formación Morro Serrano que está conformada por intrusivos básicos, diques y filones capa, del Santoniano.

Por último, se hallan presentes y adquieren una gran importancia los sedimentos glaciales constituidos por depósitos fluvioglaciares de outwash con cierto proceso de lavado por acciones fluviales, lo que permite una mayor selección de tamaño y estratificación y morenas de fondo y laterales, sedimentos marcadamente heterométricos sin estratificación del Pleistoceno, y los depósitos aluviales actuales.

La distribución de las obras en cada unidad geológica es la siguiente:

- Presa de embalse (fundación): andesitas de la Formación Lago La Plata
- Vaso de embalse: depósitos glaciares (Morena Sur); Surco Glaciar Margen Derecha; Surco Glaciar Margen Izquierda.
- Conducción en túnel: andesitas de la Formación Lago La Plata
- Conducción forzada: cubierta glaciaria sobre Granitoide Río Hielo
- Casa de máquinas: Granitoide Río Hielo

Las conclusiones del relevamiento regional del área se sintetizan en el siguiente: cuadro de fortalezas y debilidades, expresado como ventajas e incógnitas (condicionantes geotécnicos) para cada componente de obra.

APROVECHAMIENTO LA ELENA prog. 73,3

PRESA

VENTAJAS

Fundación en roca de excelente calidad. Topografía estrecha de la garganta. Tratamientos de impermeabilización y drenaje de poca significación económica.

INCÓGNITAS

Surcos Margen Derecha y Margen Izquierda, necesidad de tratamiento.

CONDUCCIÓN**VENTAJAS**

Túnel excavado en roca de buenas características geotécnicas. En general los espesores existentes de drift glaciario no afectan a la conducción subterránea.

INCÓGNITAS

Tres zonas de falla. Métodos de excavación y sostenimiento a definir.

CENTRAL**VENTAJAS**

Fundación en roca

INCÓGNITAS

Presencia de zonas de falla, debilitamiento general del macizo rocoso

VASO DEL EMBALSE**INCÓGNITAS**

Morena sur y surco glaciario Margen izquierda. Problemas de filtraciones, pérdidas de agua y arrastre de material. Parámetro geotécnico condicionante de primer orden.

Conclusiones de la geología a escala regional

La descripción sintetizada de los principales condicionantes geotécnicos (o debilidades) a esa altura de los acontecimientos, es la siguiente:

Depósitos glaciarios

- El Surco Glaciario de Margen Derecha de la presa.

Es un valle relleno por sedimentos glaciares situado inmediatamente al norte del emplazamiento la presa La Elena. El mismo fue estudiado en campañas anteriores a la Prefactibilidad realizada por A y EE (1987 - 1988) y mediante perforaciones PE 2, PE 3, PE 6, PE7, PE 9, ELD 307 y PE 10, y perfiles sísmicos, véase la ubicación en plano GSI 1280, durante la Prefactibilidad y Factibilidad correspondiente a los años mencionados.

El techo de roca y el perfil del surco es de unos 140.00m de ancho en su parte superior y unos 80.00m en su base regularmente plana, a unos 33.00m de profundidad promedio por debajo del terreno natural.

- El Surco Glaciar de Margen Izquierda de la presa

Se trata también de un paleocauce relleno por sedimentos glaciares, que fue detectado y estudiado mediante perforaciones ELI 301, P 102, PE 104 y ELI 311, perfiles sísmicos, observaciones de campo y sondeos eléctricos verticales, en la campaña de Prefactibilidad de A y EE. En 2007 la empresa Proingeo S.A. realizó dos perfiles complementarios a partir de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's).

Posee dimensiones mucho mayores que el mencionado para la margen derecha y también mayor profundidad. Fue estudiado principalmente por métodos de sismica de refracción, geoelectrica y mediante perforaciones que permitieron conocer su forma, superficie y volumen como así también su permeabilidad.

- Morena Sur en La Elena. (ver Fotos N° 1 y Foto N° 2)

Se denomina "morena sur" al arco que cierra el vaso de La Elena hacia el sur. Véase la foto N° 1. Tiene un frente de 4.5 km de longitud y alcanza la cota 800m I.G.N. (restitución escala 1:20.000) como punto más alto, constituye una divisoria local de aguas superficiales. El área de la cuenca que drena al Río Carrenleufú hacia el Sur Suroeste es de unos 20 km². Véase la foto N° 2.

El desnivel entre el punto más alto 800m I.G.N. y la unión del arroyo Comisario Fango con el Carrenleufú es de 520 m, aproximadamente. Esta situación podía constituir un potencial trasvasamiento de cuencas, a embalse lleno.

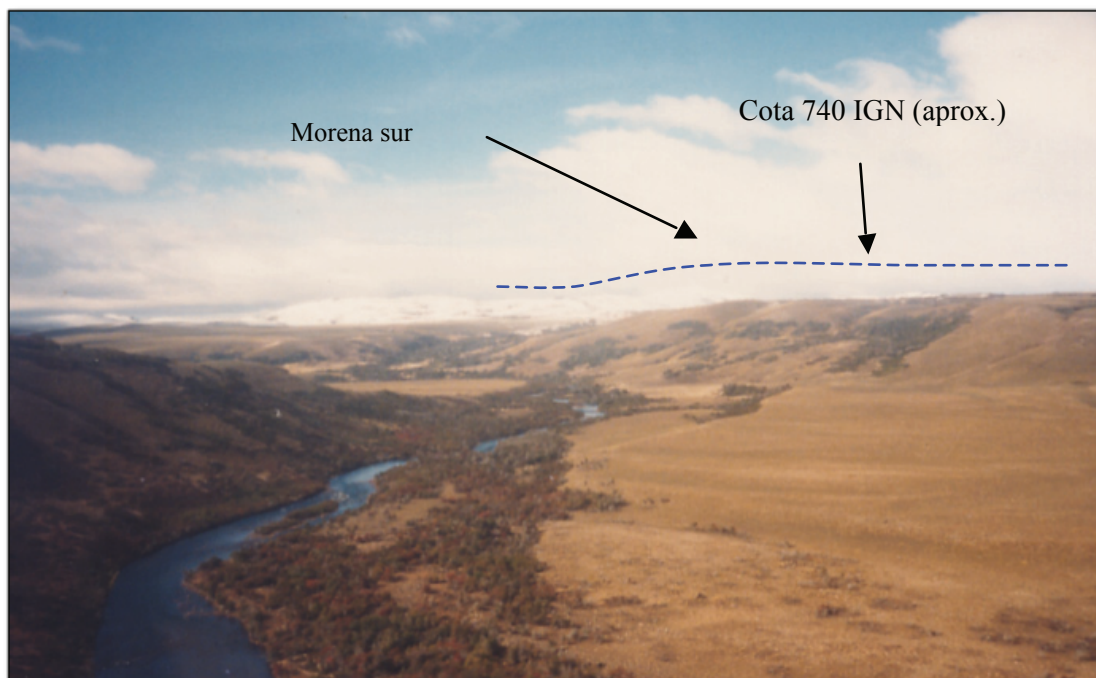


Foto N° 1. Morena sur en La Elena, vista hacia aguas arriba desde el sitio del cierre,

Esta probable condición adversa había sido advertida por la consultora Sir Alexander Gibbs, en su informe: La Elena dams site - Feasibility Studies, en el que se expresaba: "... *se considera que la factibilidad del proyecto con relación a las pérdidas de agua en el reservorio, podría ser poco certera sin una investigación del subsuelo que defina la forma y las propiedades de infiltración del arco*". Dado que este rasgo geológico, constituía el principal condicionante geotécnico del aprovechamiento es que fue intensamente estudiado durante la campaña 1988/1999 mediante estudios hidrogeológicos de campo, ensayos de infiltración, estudios sísmicos y geoelectrónicos y perforaciones: ELI 302, ELI 308, ELI 309 y ELI 310.

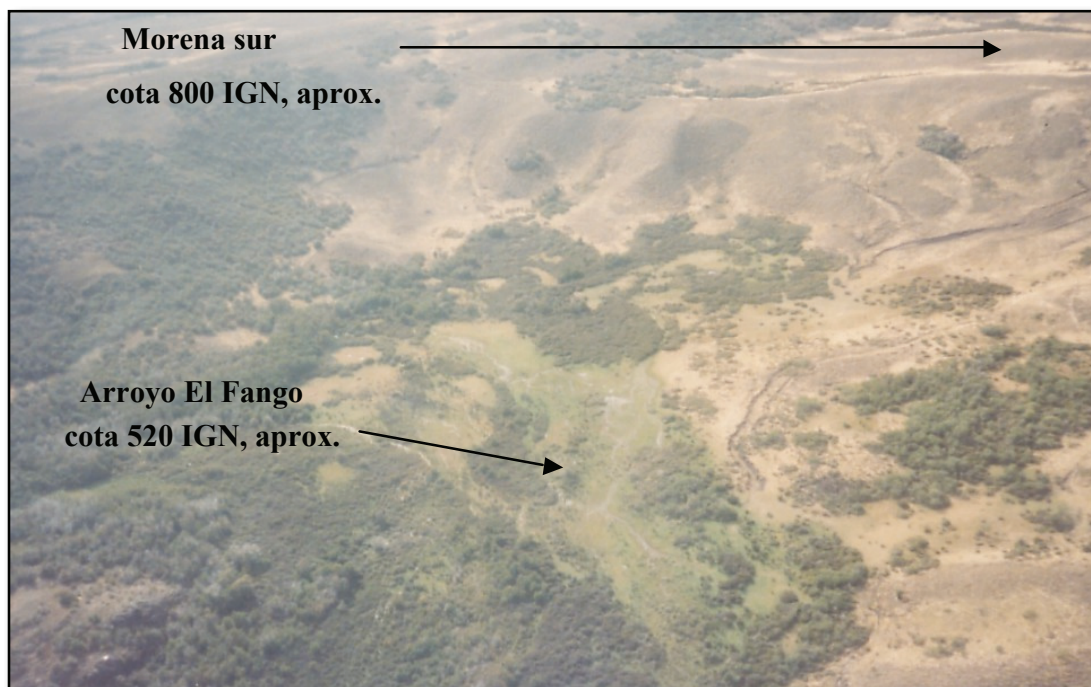


Foto N° 2. Vista aérea desde helicóptero de la morena sur y el A° El Fango

- Debilidad estructural del Granitoide Río Hielo.

La tubería forzada y la casa de máquinas de la central intemperie con tubería exterior (según el Proyecto Básico de A y E.E.) se emplazará en estos geomateriales, cuyas características principales detectadas, eran: alteración de la matriz rocosa y fracturación intensa del macizo rocoso. Esto llevó a intensos estudios geotécnicos que son comentados en el capítulo siguiente. Geología local del sitio de emplazamiento.

Geología de los sitios de emplazamiento de las diferentes obras que componen el aprovechamiento

Se entiende conceptualmente cómo los estudios que se han realizado para llegar a definiciones de proyecto conceptualmente claros y que las decisiones que se han tomado tienen un correlato en sus estudios e investigaciones que los justifiquen. Asimismo se expondrá un resumen de la cantidad de la investigación realizada y procesada.

Geología del sitio de emplazamiento presa de arco.

a. Variante A y E.E años: 1989 - 1990

El sitio de emplazamiento de la presa en arco es una garganta muy estrecha, con rumbo general este oeste que se prolonga por una longitud cercana a los 600m labrados por un cauce sobreimpuesto a un surco glaciar, en un macizo andesítico masivo, con muy escasas discontinuidades. Se lo clasifica como: Macizo tipo II de Hoek y Brown. Véase la imagen de satélite N° 1.



Imagen de satélite N° 1. Sitio de emplazamiento de la presa, variante A y EE.

La roca tiene un color general pardo grisáceo, textura porfídica con fenocristales de plagioclasas y piroxenos en una pasta afanítica. La roca tiene escasa alteración, generalmente producida por intemperización de la superficie, los planos de discontinuidades. (Ver fotos N° 3 y 4).

Las características geotécnicas del macizo de fundación son compatibles con valores algo conservadores de calidad del orden de $RMR = 75$ a 80 (Roca Clase II, roca Buena), según Bieniawski, 1973 y publicaciones subsiguientes. La calidad del macizo según el índice Q, según Barton et al, 1974 y publicaciones subsiguientes, se sitúa entre valores de 12 (Roca Buena) a 45 (Roca Muy Buena).



Foto N° 3 - Margen izquierdo del Río Carrenleufu, zona de empotramiento presa.



Foto N° 4 - Margen izquierdo del Río Carrenleufu, en zona de empotramiento, presa de arco (detalle).

Para estas características el macizo se considera como de baja deformabilidad, con un Módulo de deformación (Md) medio de 27 GPa y (Md) máximo de 60 GPa y alta resistencia de conjunto con un ángulo de fricción interdiacsal de 40° a 45°, ángulo de fricción de pico entre 63° y 72°, cohesión 0,2 a 0,3 MPa. Como dato singular el subálveo no presenta depósitos aluviales, el Río Carrenleufú discurre directamente sobre el zócalo rocoso.

En consecuencia la pantalla de impermeabilización de la presa en sí, comprenderá en principio, una fila de pozos primarios, por la línea de empate de la presa con el macizo perforados a rotación con extracción de testigos, con una separación de 10m Si se evaluase necesario se ejecutarán inyecciones en pozos secundarios intermedios a los primarios y terciarios.

A ambos laterales, hacia el Norte y hacia el Sur de la presa en arco, existen dos surcos glaciarios de nombrados respectivamente: Surco Glaciar Margen Izquierda y Surco Glaciar Margen derecha, que en esta memoria se describen como correspondiente al área del Vaso del embalse.

Como corolario acerca de las condiciones geológicas al esquema de proyecto es importante destacar que la factibilidad geotécnica del proyecto estaba relacionada por la presencia, distribución, forma, volumen y permeabilidad de los depósitos glaciarios, más que por la calidad de los macizos rocosos que alojarán a las distintas obras.

Estas evaluaciones están fundadas sobre las siguientes investigaciones llevadas a cabo oportunamente⁹.

Levantamientos geológicos de superficie.

Escala: 1:5000; Superficie: 6,25 km².

Escala: 1:1000; Superficie: 96 hectáreas.

Escala: 1:250; Superficie: 8,4 hectáreas.

Perfiles geofísicos¹⁰

Tipo: sísmica de refracción; Cantidad: 30; longitud: 11.540 metros.

Perforaciones

Tipo: rotación con extracción de testigos; N° de perforaciones: 4; Cantidad: 205m.

Ensayos de laboratorio

Tipo: compresión uniaxial; Cantidad: 12.

Tipo: densidad; Cantidad: 5.

Tipo: velocidad ultrasónica; Cantidad: 5.

Tipo: módulo de deformación; Cantidad: 6.

Tipo: determinaciones petrográficas; Cantidad: 6.

Ensayos in situ

Tipo: absorción de agua (tipo Lugeon); Cantidad: 37.

Las conclusiones para el proyecto, entonces, son: tratamiento de impermeabilización por inyecciones de cemento y calafateo, si ocurrieran fugas, particularmente de las juntas esferoidales que suelen ser las de mayor abertura. No se aconseja tratamiento de consolidación alguno, eventualmente tratamiento de estabilización de laderas (anclajes y drenajes) si observaran desestabilizaciones durante las excavaciones.

TRABAJOS A REALIZAR COMO COMPLEMENTO DEL PROYECTO:

Un adecuado estudio topográfico y geomecánico de bloques inestables permitirá desarrollar un tratamiento de estabilización de laderas en base a un sistema de drenaje y de soporte por anclajes.

Los principales antecedentes en que se basa este informe, son:

Informe de Alexander Gibbs. Aprovechamiento La Elena, 1985.

⁹Se incluyen las realizadas para obras provisionarias y auxiliares (ataguías, túnel de desvío, vertedero, etc.)

¹⁰Incluye la prospección de los cierres laterales. Se han computado las campañas de los años 1984 a 1990.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Tomo I, Geotecnia - Informe. Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Tomo 2, Planos, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989. Planos GSI N° : 1303, 1266/67/68/69/70/71/72/73/74/75/76 y 1288.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Tomo 3, Planos, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989. Planos GSI N° : 1280/81, 1282, 1304/05 y 1285.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Geotecnia, Tomo 4, Planos, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989. Planos GSI N° : 1302, 1294, 1287, 1286, 1310, 1309, 1295 y 1372.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Geotecnia, Tomo 5, Planos, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989. Planos GSI N° : 1308, 1324, 1328 y 1307.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos. Sismicidad y Riesgo Sísmico. Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos. Sedimentología Fluvial.

Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Geotecnia, Perfiles geofísicos II Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989. Planos GSI N° : 1327, 1328, 1307, 1341, 1356, 1353, 1354, 1355, 1342, 1357, 1343 y 1344.

Prefactibilidad Sistema 1. Estudios Básicos, Geotecnia, Perfiles geofísicos III Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989. Planos GSI N° : 1329, 1346, 1347, 1348, 1338, 1339, 1350, 1351, 1352, 1280 y 1281.

Factibilidad La Elena, Estudios Básicos, Geotecnia - Informe. Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989.

Factibilidad La Elena, Estudios Básicos, Geotecnia - Planos N° : 1499, 1500/01/01, 1504/05, 1508/09 y 1348. Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989.

Proyecto Básico La Elena, Estudios Básicos, Geotecnia - Informe, año 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

Proyecto Básico La Elena, Estudios Básicos, Geotecnia - Informe geofísico, año 1990, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

Proyecto Básico La Elena, Estudios Básicos, Geotecnia - Modelo Hidrogeológico, Tomo 1. Informe, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1990.

Proyecto Básico La Elena, Estudios Básicos, Geotecnia - Modelo Hidrogeológico, Tomo 2, Planos. Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1990.

Estudio geoeléctrico de los Surcos Glaciarism.D ym.I. Proingeo S.A. año 2007, para ESIN Consultora.

b. Variante Secretaría de Infraestructura Planeamiento y Servicios Públicos del Chubut, año: 2008.

En el estudio 1. CA. 83, apartado 5. Optimización del Proyecto Básico, 5.1. Eje de cierre, Presa y Vertedero Principal.

En este informe, realizado en base a documentación previa elaborada oportunamente por A y EE en los años mencionados se expresa que *“el vertedero no parece contar con una disposición en planta apropiada para aportar resistencia a la parte superior de la presa de arco () por lo que se estima que de mantenerse la presa de arco () este encuentro debe ser rediseñado”*. Para cumplir con esta premisa, requeriría su desplazamiento hacia aguas arriba, perdiendo en parte las ventajas que brinda la estrecha garganta del cierre y teniendo que completar la presa en arco por encima de la cota 730 con sendos estribos rectos (...) de gravedad.

En el apartado 8.2. Optimización del Proyecto de A y EE, del mismo informe se concluye que la presa de arco debe ser desplazada 35m aguas arriba, por las razones invocadas en el párrafo anterior.

En el apartado 8.3. Alternativa de costo reducido, se plantea un azud de gravedad, desplazado unos 35m aguas arriba con cota de vertido 720m IGN y cota de coronamiento 725m IGN , de unos 110m de desarrollo entre márgenes. Más adelante en el punto 9 del mismo informe se plantea que la disminución de la cota de embalse de 740 IGN a 720 IGN está ligado a cierta conflictividad que podría presentarse en cuanto al uso turístico y/o productivo del valle entre la presa La Elena y la estancia La Caridad, como asimismo que disminuyendo la carga hidráulica mejoraría el comportamiento hidrogeológico del sistema relacionado con los cierres morénicos que se tratan en el apartado siguiente.

En lo relativo a la ubicación (35m aguas arriba del desplante del extradós de la presa de arco proyectada por A y EE) este eje se encuentra muy próximo al contacto entre el macizo andesítico y la cubierta morénica aguas arriba del mismo, como lo evidencian entre otros documentos el plano A y EE, GSI 1280, escala 1:1000 Plano Geotécnico Integrado I o el Plano A y EE, GSI 1304, Cierre La Elena Plano Geológico, en la misma escala.

En lo concerniente al comportamiento hidrogeológico del embalse, es opinión del que suscribe este informe que el mismo ha quedado suficientemente dilucidado en los documentados Informes de A y EE, en especial los denominados Estudios Básicos, Modelo Hidrogeológico, Tomo I y II, A y EE, 1989, cuyas conclusiones se exponen en este informe, más abajo.

En lo relativo al uso de embalse, este trabajo no está relacionado con la temática medioambiental u otras.

TRABAJOS A REALIZAR COMO COMPLEMENTO DE LA VARIANTE PROPUESTA

La variante un azud de gravedad, desplazado unos 35m aguas arriba con cota de vertido 720m IGN y cota de coronamiento 725m IGN, por contrapartida al estudio realizado por A y EE, no cuenta con estudios detallados de campo que permita aseverar cuáles serán las condiciones geológico geotécnicas precisas en el área de emplazamiento. Sí se conoce que las características del macizo andesítico son de buena calidad como se evaluó en el informe de Prefactibilidad de A y EE.

En el Informe que se analiza en este párrafo se analizan una serie de estudios topográficos y geotécnicos que se pueden considerar genéricos: relevamientos topográficos, geológicos (levantamientos de campo) y geotécnicos (seis sondeos con extracción de testigos), que previamente a su validación deberían contrastarse con una visita al sitio y una búsqueda de antecedentes, ya que algunas de las investigaciones propuestas pueden ya haber sido realizadas.

Vaso del embalse. Cierres morénicos

Según lo comentado en 1.1. Conclusiones de la geología a escala regional, éstos constituyen los principales condicionantes geológico geotécnicos del aprovechamiento.

Una vez realizados los estudios de campo, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Surco glaciario de margen derecha. Estudio de A y EE

El depósito glaciario fue estudiado por las perforaciones PE 3, PE7, PE 9, PE 10 y ELD 307 que totalizaron 215m. Sobre las muestras obtenidas se realizaron ensayos característicos en laboratorio como asimismo 200 ensayos de permeabilidad tipo Lefranc. Además se realizaron 84m en roca con sus respectivas determinaciones, entre las cuales cabe mencionar 14 ensayos de absorción de agua tipo Lugeon.

Además en tres perforaciones se realizaron perfilajes geofísicos (radiactivos, eléctricos y especiales), que totalizaron 90 metros.

Estos estudios permitieron, como ya se comentara, conocer el techo de roca, situado en la base del mismo

a cota 702,20 IGN y el perfil integral del surco, dando como resultado una superficie de aproximadamente 3600 metros cuadrados en el perfil de la presa.

Con los datos obtenidos producto de investigaciones de campo muy completas y que más abajo se detallan y con la finalidad de observar el comportamiento hidrogeológico bajo condiciones de embalse y evaluar las posibles pérdidas, oportunamente se implementaron modelos matemáticos hidrogeológicos. En base al análisis efectuado a partir de las investigaciones llevadas a cabo, puede concluirse:

- i) Los sedimentos glaciares (till glaciar) que colmatan el "surco" es sumamente heterogéneo y anisótropo.
- ii) No hay evidencias de la existencia de un acuífero continuo, lo que geotécnicamente implica condiciones favorables.
- iii) Existe un marcado predominio de sedimentos prácticamente impermeables en las zonas más superficiales del depósito.
- iv) La simulación en planta de los escurrimientos subterráneos indican un caudal de salida de 0,9 l/s, que comparado con el caudal del Río 32 m³/s, es insignificante.
- v) La variación de los niveles de carga (una vez realizados perfiles de depresión de napa) muestran que luego de una importante pérdida de carga inicial, esta variación se produce con muy bajos gradientes: entre el 7% y el 9%.
- vi) Consecuentemente con las condiciones enumeradas, se infiere que de existir filtraciones a través del cuerpo estudiado, bajo condiciones de embalse, ellas serían muy bajas.

Se detallan las investigaciones realizadas oportunamente.

Levantamientos geológicos de superficie¹¹.

Perfiles geofísicos¹²

Perforaciones

Tipo: percusión; Cantidad: 6; longitud: 215 metros.

Tipo: rotación

Cantidad: 6; Longitud: 83 m.

Ensayos de laboratorio.

¹¹Están incluidos en el punto 1.1. Geología del sitio de emplazamiento de la presa.

¹²Están incluidos en el punto 1.1. Geología del sitio de emplazamiento de la presa.

Tipo: granulometría, índices de consistencia y rutinarios en general.

Cantidad: 200.

Ensayos in situ

Tipo: de permeabilidad tipo Lefranc; Cantidad: 200.

Tipo: absorción de agua (tipo Lugeon); Cantidad: 14.

Perfilajes geofísicos (radiactivos, eléctricos y especiales).

Cantidad: 3; Longitud: 90 m.

Consideraciones del Informe año 2008 (Prov. Del Chubut)

Se efectuaron tres perfiles en base a 15 Sondeos eléctricos verticales con distancias entre sondeos de aproximadamente 20m Las conclusiones son de índole técnica (resistividades) sin que se haya realizado una correlación con los geomateriales presentes y bien detallados en los informes de A y EE. Estas son:

- La primera unidad geoelectrica es la capa superficial, con espesores, entre 0.20 y 1.40m con un rango de resistividades de 160 a 590 ohm-m.
- La segunda unidad geoelectrica con espesores variables entre 0.20 y 17.00m y resistividades muy bajas del orden de 8 a 70 ohm-m.
- La tercera unidad con espesores variables entre 10 y 21m y resistividades entre 30 y 3000 ohm-m.
- Por último se encuentra la alta resistividad variable entre 540 y 4000 ohm-m.

No hay conclusiones importantes acerca del comportamiento hidrogeológico de este cuerpo glaciar en presencia de un embalse a cota 740 IGN.

Surco glaciar de margen izquierda. Estudio de A y EE

Los numerosos estudios realizados permitieron determinar las dimensiones aproximadas del mismo, son las siguientes: longitud 1350 m, ancho: 850 m; profundidad máxima: 85m (cota 688 IGN), la sección transversal hasta el techo de roca es de 40.000m², diez veces mayor que el de la margen derecha.

Está conformado por una capa superficial de materiales finos, principalmente arcillas de baja plasticidad (CL) y una inferior compuesta por sedimentos clásticos gruesos con matriz arenosa (GP-SM). Las conductividades hidráulicas registradas son en general moderadas a bajas, por lo que en gran medida el cuerpo debe comportarse como barrera impermeable.

Con las perforaciones realizadas no se pudo determinar el techo de roca del surco glaciar pero las investigaciones geosísmicas marcan un contraste neto de velocidades entre el material de relleno (tiil glaciar) y la roca basal. Es así que la topografía tridimensional del surco se obtuvo a partir de la prospección geofísica. Debido a esta heterogeneidad, se realizó un modelo hidrogeológico basado en elementos finitos, a fin de estudiar

el flujo que se produciría a partir de un nivel de embalse a cota 740m IGN. Como valor representativo de la conductividad hidráulica del conjunto en la dirección del flujo se asignó el valor de $k = 5 \text{ m/día}$. Como prueba de sensibilidad de este parámetro se estudiaron los casos $k * 2$ y $k/2$.

i) Como resultado remarcable se cita que para tales valores hidrogeológicos el caudal de filtración computado es del orden de $0.020 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalente a un 0.07% del caudal medio del río. Para una situación muy desfavorable considerando una transmisividad homogénea y elevada ($T = 500 \text{ m}^2/\text{día}$), lo que significa sextuplicar lo considerado como probable. De todas formas el caudal de salida alcanza a $0.150 \text{ m}^3/\text{s}$ equivalente sólo a un 0.5% del caudal medio del río.

ii) No obstante ello en la zona de descarga los gradientes son muy elevados, por lo que debe verificarse cuál es la velocidad crítica para la granulometría del material existente en la sección filtrante.

Se detallan las investigaciones realizadas oportunamente.

Levantamientos geológicos de superficie¹³

Perfiles geofísicos

Tipo: sísmica de refracción; Longitud: 4220 metros.

Perfilajes geofísicos (radiactivos, eléctricos y especiales).

Cantidad: 5; Longitud: 120.

Perfiles geoeléctricos en base a 11 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's), año 2007.

Perforaciones¹⁴

Tipo: percusión; Cantidad: 4; Longitud: 68 metros.

Tipo: rotación; Cantidad: 1; Longitud: 10 metros.

Ensayos de laboratorio

Tipo: granulometría, índices de consistencia, caracterización, etc.

Cantidad: 60.

Ensayos in situ

Tipo: de permeabilidad tipo Lefranc; Cantidad: 60.

Tipo: absorción de agua (tipo Lugeon); Cantidad: 2.

Consideraciones del Informe año 2008 (Proingeo S.A.)

Se efectuaron dos perfiles en base a 15 Sondeos eléctricos verticales. Las conclusiones, al igual que para

¹³Están incluidos en el punto 1.1. Geología del sitio de emplazamiento de la presa.

¹⁴Valores dudosos.

el surco de lam.D. son de índole técnica (resistividades) sin que se haya realizado una correlación con los geomateriales presentes y bien detallados en los informes de A y EE. Estas son:

- La primera unidad geoelectrica es la capa superficial, de muy poco espesor, entre 0.15 y 1.00m con un rango de resistividades muy variables.
- La segunda unidad geoelectrica con espesores variables que llegan a los 9.00m y en algunos sectores desaparecen y resistividades muy bajas del orden de 14 a 70 ohm-m.
- La tercera unidad con espesores variables entre 3 y 10m y resistividades entre 25 y 75 ohm-m.
- Por último se encuentra la alta resistividad variable entre 1600 y 6800 ohm-m.y en algunos sectores aparece otra capa de baja resistividad.
- Entre algunos Sev hay una zona de transición donde las capas no se continúan y varían considerablemente los valores de resistividades.

Las conclusiones hidrogeológicas puramente cualitativas, son las siguientes:

- Si bien la información disponible resulta un tanto insuficiente como para ser concluyentes respecto a la posibilidad o no de filtraciones importantes a través de este cuerpo, merece las siguientes consideraciones:
- La conductividad hidráulica es en general moderada y baja, como cabe esperar en éstos materiales heterogéneos y anisótropos.
- También las posibilidades de filtraciones importantes a través del cuerpo de morena en forma longitudinal serán mínimas o inexistentes dada la magnitud de la misma, superior a los 800.00 m, donde la pérdida de carga será preponderante.
- La presencia de un material limoso – arcilloso de entre 0,50 y 1m de espesor, impermeable, que tapiza casi la totalidad del área que abarcará el vaso de embalse también contribuirá a la impermeabilización de sector.

Son conclusiones semejantes a las ya aportadas en el informe de AyEE.

Morena Sur o Morena La Elena: Informe de Ay EE

De la información directa y de la modelización hidrogeológica se desprenden las siguientes consideraciones sobre la estanqueidad del vaso:

- i) La simulación del flujo subterráneo, presenta un caudal de salida de 28 l/s, equivalente al 0,1% del caudal medio del Río Carrenleufú.
- ii) Los perfiles de depresión evidencian que luego de la pérdida de carga inicial los gradientes son bajos, entre 1,7 y 3,4%.

iii) No hay indicios que existan vías de comunicación hidráulica importantes entre el vaso y las nacientes del arroyo El Fango.

iv) Sin escapes directos, debido a las características que se enumeran a continuación:

- presencia de un blanket natural que tapiza la superficie de la morena (arco interior) en directo contacto con el vaso de embalse.
- columna hidrogeológica predominantemente acuitarda en los 20 metros superiores.
- cuerpo central de la morena muy heterogéneo y anisótropo por el que los filetes líquidos deben transponer un recorrido superior a los 500 metros.

La posibilidad de filtraciones a través del cuerpo morénico es mínima.

Estas evaluaciones están fundadas sobre las siguientes investigaciones llevadas a cabo oportunamente:

Levantamientos geológicos de superficie: Escala: 1:10.000; Superficie: 24,5 km².

Perfiles geofísicos: Tipo: sísmica de refracción; Cantidad: 4; Longitud: 3.398 metros.

Perfiles geofísicos: Tipo: sondeos eléctricos verticales; Cantidad: 50.

Perforaciones: Tipo: percusión; Cantidad: 6; Longitud: 190 metros.

Perforaciones: Tipo: rotación; Cantidad: 2; longitud: 26 metros.

Ensayos de laboratorio: Tipo. Granulometría, de caracterización, etc. Cantidad: 270.

Ensayos in situ: Tipo: de permeabilidad, tipo Lefranc; Cantidad: 50.

Ensayos in situ: Tipo: de absorción de agua, tipo Lugeon; Cantidad: 5.

Morena Sur o Morena La Elena: Informe año 2008

Se trata de recomendaciones sin nuevos estudios de campo, éstas son:

- No hay indicio de que existan vías de comunicación hidráulica importantes entre el vaso de embalse y el arroyo El Fango.
- Como recomendación en la etapa constructiva es importante no fracturar el talud natural de la morena para mantener la impermeabilidad producida por el "blanket" natural ya mencionado.

Obra de toma. Túnel de conducción y Chimenea de equilibrio

- Obra de Toma

De la obra de toma se estudiaron tres variantes de la que se seleccionó la denominada Variante III, que por su posición aprovecha en forma óptima el volumen del embalse con un mínimo de excavación para el canal de aducción. El macizo rocoso de fundación es de andesita de buena calidad global y geotécnicamente apta para tal fin. En principio los taludes de excavación se diseñan con inclinaciones de 4:1, previendo el tratamiento con anclajes de bloques inestables.

- Túnel de conducción

El túnel de conducción tiene una longitud de 5.860 metros, entre cotas 710 IGM (obra de toma) y 655 IGM (chimenea de equilibrio). Las tapadas máximas y mínimas, son: de 270m en la progresivas 3050 y 4450 y las mínimas se encuentran en el orden de los 45 a 50 metros. El mismo será excavado íntegramente en macizos de roca andesítica y/o pórfidos andesíticos de buena calidad geotécnica (con velocidades de onda longitudinal del orden de los 4500 m/s) que sin embargo es variable según diferentes zonas a lo largo de su recorrido. Las rocas andesíticas se encuentran parcialmente sepultadas por sedimentos glaciarios y glaciafluviales de edad Cuaternario, Pleistoceno.

El macizo andesítico presenta lineamientos tectónicos de fallas y diaclasas (discontinuidades en sentido amplio). Se reconocen tres direcciones principales siendo sus rumbos preferenciales que forman un sistema ortogonal: NNO – SSE; ONO – ESE y NE – SO.

Los índices geotécnicos descritos, obtenidos fundamentalmente a partir de las Clasificaciones Geomecánicas, en especial a partir del valor RMR, según Bieniawski, 1973 y sucesivas publicaciones, son los siguientes: E_d : módulo de deformación global del macizo rocoso (GPa); C : cohesión global del macizo rocoso (MPa); Φ ángulo de fricción interna global del macizo rocoso ($^{\circ}$). La zonificación básica del mismo es la siguiente:

Macrozona I: prog. 0,00 a prog. 2270: zonas I₁ a I₃ y zonas de falla Z₁; Z₂ y Z₃.

Zona	Litología	Caracteriz. geotécnica	Índices geomecánicos	Método de excavación	Soporte	Revestimiento
I ₁	Andesita	Clase II, RMR = 60	Ed = 3 – 20 GPa C=0,2 a 0,3 MPa Φ = 40° – 45°	Voladuras, secc. plena	Bulonaje local	Gunita armada c/ malla
I ₂	Andesita	Clase II, RMR = 60	Ed = 20 GPa C=0,2 a 0,3 MPa Φ = 40° – 45°	Voladuras, secc. plena	Bulonaje local	Gunita armada c/ malla
I ₃	Andesita	Clase III, RMR = 50	Ed = 2 - 10 GPa C=0,15a0,2MPa Φ = 35° – 40°	Voladuras, secc. plena	Bulonaje local	Gunita armada c/ malla
Z ₁	Andesita Zona de falla	Clase V	A evaluar	A evaluar	ídem	ídem
Z ₂	Andesita Zona de falla	Clase V RMR = 20	Ed = 1 - 7 GPa C = < 1 MPa Φ = 10° – 20°	Voladuras, controladas secc. plena	Bulonaje Sistemát + gunita armada	Gunita armada c/ malla u hormigón
Z ₃	Andesita Zona de falla	Clase V RMR = 10	Ed = 1 GPa C = < 1 MPa Φ = 5° – 20°	Voladuras, con- troladas	Bulonaje Sistemát. + gunita armada	Gunita armada c/ malla u hormigón

Macrozona II: desde prog. 2.270 a prog. 5.860, zonas: II₁ a II₃.

Zonas	Litología	Caracteriz. geotécnica	Índices geomecánicos	Método de excavación	Soporte	Revestimiento
II ₁	Diorita?	Clase II, RMR = 70	Ed = 8 – 36 GPa C=0,2a0,3 MPa Φ = 40° – 45°	Voladuras, secc. plena	Bulonaje local	Gunita armada c/ malla
II ₂	Andesita	Clase II, RMR = 60	Ed= 3 - 20 GPa C=0,2a0,3 MPa Φ = 40° – 45°	Voladuras, secc. plena	Bulonaje local	Gunita armada c/ malla
II ₃	Andesita	Clase II, RMR = 70	Ed = 2- 10 GPa C=0,2a0,3 MPa Φ = 40° – 45°	Voladuras, secc. plena	Bulonaje local	Gunita armada c/ malla

Para el macizo andesítico de las zonas I₁, I₂, II₁, II₂ y II₃ (que abarca el 75 % de la longitud de la conducción hasta la chimenea de equilibrio), se prevén condiciones normales de excavación. El ritmo de avance óptimo puede asumirse del orden de 170m mensuales, con método de barrenado y voladura convencional, avances netos de 3.5m por ciclo, con un ritmo de trabajo nominal de 24 hs diarias que permita realizar dos ciclos completos por día, y computando 25 días de trabajo por mes.

Debe preverse voladura con recorte perimetral, con carga distribuida a lo largo de cada barreno, con una separación de 0.5 a 0.7m entre perforaciones, a fin de minimizar el daño al macizo circundante y la sobre-rotura de la sección.

La instalación del soporte puede ser diferida de manera que el frente puede avanzar sin soporte inmediato. Puede considerarse una densidad de bulonaje final de 0.25 metro de bulón por metro cuadrado de bóveda de túnel (m.b./m².T). Para túneles de hastiales rectos la bóveda debe extenderse por lo menos 1 metro hacia los hastiales, a los fines del cómputo del soporte.

El soporte debe completarse con gunita en zonas de fallas menores, microdiaclasamiento y alteración.

Para el macizo rocoso correspondiente a la zona I₃, que comprende el 15 % del túnel de conducción, se prevén condiciones restringidas de excavación: avance promedio de 2,5m de longitud, a sección completa, con un rendimiento óptimo de 3.7m /día.

Para las zonas de falla que totalizan un 10% de la longitud de la conducción, debe preverse un ritmo de excavación reducido, con avances de 1m por ciclo, debido a la necesidad de ejecutar soporte integral y drenaje de la excavación.

Además se debe ejecutar voladura controlada en el aspecto de cantidad de carga por retardo, y un esquema de instrumentación que se considere adecuado. La denominación Z₁, Z₂ y Z₃ indica zonas de falla con un orden decreciente de peligrosidad en su travesía. Puede considerarse una intensidad de bulonaje de 1.5 a 2.0 metros de bulón por m² de bóveda de túnel, y un revestimiento de gunita completo en bóveda y hastiales, armada con malla de acero. Debe preverse además un drenaje efectivo en las zonas de falla con perforaciones de captación y tubos guías.

En los casos de verificarse la existencia de arcillas expansivas se debe estudiar su mineralogía y estado de saturación, presión de expansión y disposición en el macizo: relleno de fallas relleno de diaclasas, presión de hinchamiento, etc.

Como revestimiento antierosivo se ha considerado la ejecución alternativa de gunita de 75 a 100 mm de espesor mínimo característico en zonas de falla o arcos de hormigón simple de 0.30m de espesor nominal. Esta recomendación surge del punto de vista exclusivamente geotécnico. Su compatibilización con la solución hidráulica se obtendrá el proyecto ejecutivo de la obra.

En cuanto al plan de excavación del túnel se estimó el tiempo de ejecución en 387 días, que para un ritmo de trabajo de 25 días /mes equivale a 2 años netos de excavación.

El proyecto presentado por la **Provincia del Chubut en 2006**, prevé la excavación del mismo mediante máquina tunelera TBM, *“logrando un tiempo de construcción máximo de 3 años”*. También se podría

ejecutar en sin revestimiento y reduciendo la sección del túnel de 43 m² a 25 m². Se aclara en el informe que *“ambas técnicas de excavación serían equivalentes en el costo exclusivo de la excavación”*.

En el apartado Obras de conducción del Estudio 1.CA.83 hay consideraciones que explican las conveniencias de un trabajo de excavación mediante la utilización de TBM, sobre todo un adelanto de alrededor de 12 meses en la generación, tomándose un valor conservador de 6 meses.

Se entiende en este informe que la utilización de TBM's tiene más bien un aspecto económico y financiero y que los geotécnicos son coincidentes en este aspecto. Sólo la optimización del equipo aparece como muy importante, máxime teniendo en cuenta que sería la primera oportunidad que en Argentina se utilizaría una máquina tunelera en macizos rocosos fisurados.

- Chimenea de equilibrio

La chimenea de equilibrio irá excavada en un macizo andesítico con un RQD > 70%, velocidades de onda longitudinal sísmica del orden de 4.500 m/s y tres sistemas de discontinuidades. El macizo rocoso tiene una capacidad portante suficiente para efectuar fundaciones convencionales.

Las evaluaciones correspondientes a la obra de toma, túnel y chimenea de equilibrio) están fundadas sobre las siguientes investigaciones llevadas a cabo oportunamente por A y EE.

Levantamientos geológicos de superficie

Escala: 1:10.000.

Superficie: 48 km².

Perfiles geofísicos¹⁵

Tipo: sísmica de refracción.

Cantidad: 5.

Longitud: 1.795m.

Sondeos eléctricos verticales: 7.

Perforaciones

Tipo: percusión.

Cantidad: 1.

Longitud: 25 metros.

¹⁵Se incluyen sólo los de las campañas 89/90

Perforaciones

Tipo: rotación.

Cantidad: 2.

Longitud: 122, 5 metros.

Ensayos de laboratorio

Tipo: resistencia a la compresión uniaxial.

Cantidad: 5.

Tipo: densidad.

Cantidad: 5.

Tipo: módulo de deformación.

Cantidad: 5.

Tipo: velocidad ultrasónica.

Cantidad: 5.

Ensayos in situ

Tipo: de permeabilidad tipo Lefranc.

Cantidad: 20.

Ensayos in situ

Tipo: de absorción de agua tipo Lugeon.

Cantidad: 40.

Se han realizado recientemente (2007) 12 ensayos de compresión simple y de compresión diametral sobre testigos extraídos de perforaciones realizadas en la época de A y EE. Los valores obtenidos son, en general, superiores a los asumidos lo que hace suponer que las condiciones del macizo rocoso serán mejores que lo supuesto en esa instancia.

En el apartado Chimenea de Equilibrio, pozo vertical y blindaje. Estudio 1.CA. 83 de junio de 2006 se cuestiona la posición de la misma por estar emplazada muy cercana al extenso talud que da al Río Carruleufú, y por ende queda cuestionada su estabilidad ante sollicitaciones sísmicas. *“Por lo tanto se ha considerado conveniente embutir la chimenea en la roca (...) La ubicación sería el punto de la traza del túnel donde el nivel natural de la roca alcance la cota 753 IGN, de manera de dejar su estructura totalmente embutida sin que la misma sobresalga. La cota de fondo deberá extenderse hasta 722m IGN resultando una profundidad para la misma de 31m.”*

En las consideraciones acerca de este cambio de posición de la chimenea de equilibrio el informe se refiere a estudios específicos realizados para Futaleufú. Cabe consignar ante esta aseveración que la chimenea de Futaleufú es externa. De todas formas parece razonable la propuesta.

También es importante consignar que no se han realizado investigaciones *"in situ"* para relacionar esta propuesta de cambio de proyecto con las características geotécnicas de la zona de emplazamiento propuesta.

Tubería forzada y casa de máquinas (variante A Y EE: central en superficie y tubería exterior)

Como ya se manifestara en el apartado 1.1 uno de los condicionantes geológico – geotécnico más importantes – aparte de los cierres y surcos morénicos – es la debilidad estructural del macizo rocoso granítico en la que se emplazará la tubería forzada y la casa de máquinas. Además de esta situación la extensa cobertura de origen glaciar, enmascara el modelo geológico lo cual hizo que se llevaran a cabo investigaciones exhaustivas (sísmica, perforaciones, ensayos in situ, etc.) para optimizar el emplazamiento.

Durante los estudios preliminares y la Prefactibilidad técnico económica, se consideraron tres variantes de trazado de la conducción y por lo tanto de ubicación de la casa de máquinas, recomendándose entre ellas la denominada: Variante II.

La conclusión acerca de los problemas geotécnicos que eran dable esperar una vez finalizada la Factibilidad técnico económica, fueron los siguientes:

- i) deformabilidad importante del macizo rocoso para el dimensionamiento del espesor del blindaje de la tubería forzada.
- ii) Desprendimiento de bloques y afluencia de agua en el túnel.
- iii) Flujo de rocas en zona de fallas.
- iv) Fundación de la central en niveles de falla y roca alterada.
- v) Problemas de estabilidad de taludes del recinto de fundación de la central y del canal de restitución.

- Tubería forzada

La tubería forzada subterránea requiere un macizo de baja deformabilidad para que la disminución de los espesores de blindaje la justifiquen económicamente. La variante II presenta en los primeros 300m a partir del río, condiciones geológicas y geomecánicas superiores a las registradas en otras variantes. Hacia arriba de la ladera las diferencias se van minimizando ya que las trazas convergen en el sitio de ubicación de la chimenea de equilibrio.

En etapa de proyecto básico se estudió con detalle la deformabilidad del macizo con métodos de microsísmica: medición de la onda de corte en dispositivos downhole, y con perforaciones de diámetro NX y logs geofísicos de las mismas.

Una vez realizados los estudios del macizo rocoso granítico de implantación de la tubería forzada subterránea y construido el modelo geológico-geomecánico del mismo, se desechó finalmente esa alternativa por considerarla de alto riesgo y costo elevado de excavación, con incidencia decisiva en los plazos de obra.

La alternativa de tubería exterior fue reeditada y se debieron realizar investigaciones específicas para llevarla a nivel de Proyecto Básico.

Las incógnitas principales geológico – geotécnicas que se plantearon, fueron las siguientes:

- i) Estabilidad global de la ladera, en particular la del depósito morénico de cubierta.
- ii) Capacidad portante y deformabilidad de los sedimentos de cubierta.

Para la implantación de una tubería exterior y en base a los estudios realizados, se llegó a la conclusión que la ladera desde la casa de máquinas hasta la chimenea de equilibrio tiene una estabilidad global, ya que:

a) los materiales de cubierta de la ladera superior están constituidos por gravas y arenas medianamente densas, con un ángulo de fricción del orden de los 35°. No se hallaron capas importantes de materiales arcillosos. No se han verificado cicatrices de deslizamientos antiguos.

b) el contacto cubierta / macizo rocoso es ondulante a gran escala, no previéndose superficies lisas de gran área que podrían funcionar como potenciales planos de deslizamiento.

c) se realizó un cálculo de estabilidad del talud natural asumiendo como hipótesis más desfavorable la de deslizamiento plano de un talud infinito. Como resultado se obtuvo un factor de seguridad de 2.2. Introduciendo el efecto de un sismo con aceleración 0,21g y haciendo un análisis en tensiones totales con un $C_u = 0.5 \text{ kg/cm}^2$, a la profundidad del plano asumido, se obtuvo un factor de seguridad reducido de 1,42.

No obstante y aunque se considera al talud estable en forma global, se recomienda en caso de requerirse apoyos importantes de la estructura sobre el material de cubierta, realizar estudios localizados en el proyecto constructivo o ejecutivo.

- Casa de máquinas

La excavación del recinto de la central se debe pensar en un macizo rocoso de estabilidad precaria que debe ser soportado y drenado. Para los cálculos de estabilidad se consideraron taludes de 75° (4:1) inclinación. Para los taludes en roca en la parte superior del recinto se recomienda una inclinación de 2:1, (63°), lo que mejora la estabilidad del conjunto.

Resulta esencial para el diseño de taludes estables, una metodología de excavación que incluya la ejecución del soporte recomendado, adaptado a los rasgos geológicos del sitio, y la perforación de drenes, ambas cosas en forma inmediata a la voladura de cada banco con contorno definitivo.

En cuanto a la fundación de la central, debe preverse un tratamiento detallado -dental- de las fallas que la afecten, mediante excavación y limpieza del material de relleno y reconstitución mediante hormigón.

Además se debe prever un tratamiento de inyecciones de cemento, convencional, a fin de rellenar fisuras abiertas que pudiesen existir.

El canal de restitución atravesará la zona de falla del escalón. Igual que para el recinto de la central, se recomienda el soporte integral de la excavación, instalando soporte activo en base a anclajes o bulones, revestimiento con gunita armada y ejecución de perforaciones de drenaje, inmediatamente después de la excavación de cada banco, previa adaptación a los rasgos geológicos verificados en el sitio.

Estas evaluaciones están fundadas sobre las siguientes investigaciones llevadas a cabo oportunamente.

Levantamientos geológicos de superficie

Escala: 20.000.

Superficie: 12,5 km².

Escala: 1:5.000.

Superficie: 560 hectáreas.

Levantamientos geológicos de superficie integrados con geofísica

Escala: 1: 2.000.

Superficie: 120 hectáreas.

Levantamientos geológicos de superficie integrados con geofísica

Escala: 1:500.

Superficie: 45 hectáreas.

Perfiles geofísicos¹⁶

Tipo: sísmica de refracción.

Cantidad: 22.

Longitud: 9.763 m.

Sondeos eléctricos verticales

Cantidad: 58.

Perfilajes geofísicos (radiactivos, eléctricos y especiales).

Cantidad: 7.

Longitud: 350.

Perforaciones

Tipo: percusión.

¹⁶Se incluyen sólo los de las campañas 89/90

Cantidad: 18.

Longitud: 170 metros.

Tipo: rotación.

Cantidad: 18.

Longitud: 601 metros.

Pozos a cielo abierto

Número: 13.

Longitud: 40 metros.

Ensayos de laboratorio

Tipo: granulometría, % de humedad, etc.

Cantidad: 140.

Triaxiales no consolidado, no drenado.

Cantidad: 3.

Ensayos de corte directo en roca.

Cantidad: 5.

Ensayos in situ

Tipo: de permeabilidad tipo Lefranc.

Cantidad: 140.

Tipo: de absorción de agua tipo Lugeon.

Cantidad: 108.

Ensayos de penetración standard.

Cantidad: 22.

- Casa de máquinas (variante central en caverna)

En el informe de la Consultora ESIN CHE en Caverna La Elena 2 x 63 MVA "La Elena" Prov. Del Chubut, Argentina, elaborado para la Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos del Chubut en el año 2008, se propone una central subterránea en caverna de ancho 18.00 m; largo 59.00m y altura 33.00m con una cota de fundación 458.00 msnm.

Se basa este cambio de proyecto en diversas cuestiones, entre ellas ambientales (visuales), economía de la obra en su conjunto y otras.

Esta incitativa que podría ser interesante desde el punto de vista del proyecto, no se corresponde con un nivel de investigaciones geotécnicas adecuado. En efecto en el **punto Investigaciones complementarias necesarias** se explica que *"en líneas generales, las alternativas propuestas, pueden desarrollarse en buena medida con la información existente. Por lo tanto no parece necesario encarar una*

campaña importante de nuevas investigaciones para poder definir el nuevo proyecto básico que corresponda a alguna de las alternativas propuestas”.

Como complemento a estas consideraciones se indica que estas nuevas localizaciones de obra ***“dada su profundidad, no pueden ser investigadas en forma lógica durante la etapa de proyecto con sondeos o líneas geofísicas, por lo que las investigaciones del emplazamiento deberá quedar pendiente de la ejecución de una galería de investigación a ejecutar en una etapa previa a la construcción”***.

Estas aseveraciones contrastan con el minucioso estudio de cinco variantes de A y E.E tanto en el posicionamiento de la central intemperie como la ubicación de la tubería exterior, máxime teniendo en cuenta que se ha planteado en numerosos informes de A y EE la ***“debilidad estructural del granitoide Río Hielo”*** que además se encuentra cubierto por extensos y espesos depósitos glaciarios, glacialacustres, y redepósitos de granulometría variable.

En cuanto al primer condicionante: ***“debilidad estructural del granitoide Río Hielo”*** es importante tener en cuenta, entre otras consideraciones, las vertidas en el informe de Geotecnia de A Y E.E, acerca del P. Básico La Elena, en su apartado **4. Condiciones de excavación y fundación de la Central** (variante intemperie), en el que se comentan métodos de excavación, sostenimiento y cimentación típicas de un macizo rocoso fisurado y alterado. En este ambiente es que se propone una central interior y se indican investigaciones que ***“dada su profundidad, no pueden ser investigadas en forma lógica durante la etapa de proyecto con sondeos o líneas geofísicas”***.

Estas consideraciones han sido largamente expuestas y fundamentadas en los informes y sus correspondientes planos como por ejemplo:

Factibilidad La Elena, Estudios Básicos, Geotecnia - Informe. Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento, año 1989.

Proyecto Básico La Elena, Estudios Básicos, Geotecnia - Informe, año 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

Es por esta situación que no se comparte la idea plasmada en el informe previamente referenciado y sí se indica que las investigaciones correspondientes deben realizarse en una etapa de estudios complementarios antes del llamado a licitación de la obra.

Sismicidad y riesgo sísmico de la comarca

La actividad sísmica de la región se analiza en términos probabilísticos, debido al desconocimiento de la secuencia de eventos sísmicos. La ponderación del riesgo surge entonces, de la determinación de la probabilidad de ocurrencia en un intervalo de tiempo de uno o más fenómenos tomados como sismo de diseño. Los principales antecedentes de los que se ha recopilado información son:

Estudios Básicos: Sismicidad y Riesgo sísmico, 1989, Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería y Planeamiento.

Estudio de Factibilidad del aprovechamiento hidroeléctrico del Río La Leona. IATASA ESIN (UTE). 1986. Wahler y Associates. Agua y Energía Eléctrica S.E.

Informe Final. Estudio 1 CA.83. Apartado 4.2. Sismicidad. Consultoría para la confección de los Términos de Referencia. Aprovechamiento H. La Elena. Dto. Futaleufú. Prov. Del Chubut, Junio de 2006.

D'Appolonia; Estudio Q. Seismic Hazard Assesment Futaleufú Dam. Nov. 1995.

Fuentes de información

Se emplearon las siguientes fuentes de información disponibles: datos sísmicos instrumentales: obtenidos por las estaciones sismológicas internacionales y recopilados en distintos catálogos. Los datos de estas estaciones, permiten calcular la ubicación en latitud, longitud y profundidad de los focos sísmicos. Estos son:

- i) Considerando sismos de magnitud igual o mayor a 6 de la escala de Richter, entre 1906 y 1979.
- ii) Considerando la totalidad de los sismos informados por la Red Sismológica Internacional entre 1960 y 1979.

El primer grupo tiene como límite 6, dado que a partir de esa magnitud se asegura que en todo este intervalo de tiempo se hayan medido los eventos importantes.

Con el análisis de esta información surgen las siguientes conclusiones:

- i) La casi totalidad de epicentros se localiza al oeste de la cuenca, principalmente en territorio chileno y en el fondo del océano adyacente. Véase la imagen satelital N° 2.
- ii) La profundidad de los focos sísmicos tiene una dispersión que varía con la longitud, siendo mínima en el fondo oceánico adyacente y máxima cerca del límite internacional (con un rango de variación en esta zona desde 30 hasta 160 kilómetros de profundidad).
- iii) Los sismos ubicados en la República Argentina, tanto superficiales como profundos son de baja magnitud e inferior a 6 de la escala de Richter.
- iv) Datos sísmicos históricos: para el caso de Chile y Cuyo los datos de eventos muy fuertes se remontan al siglo XVI. El análisis de la distribución de los sismos históricos es coincidente con los datos instrumentales posteriores, es decir:

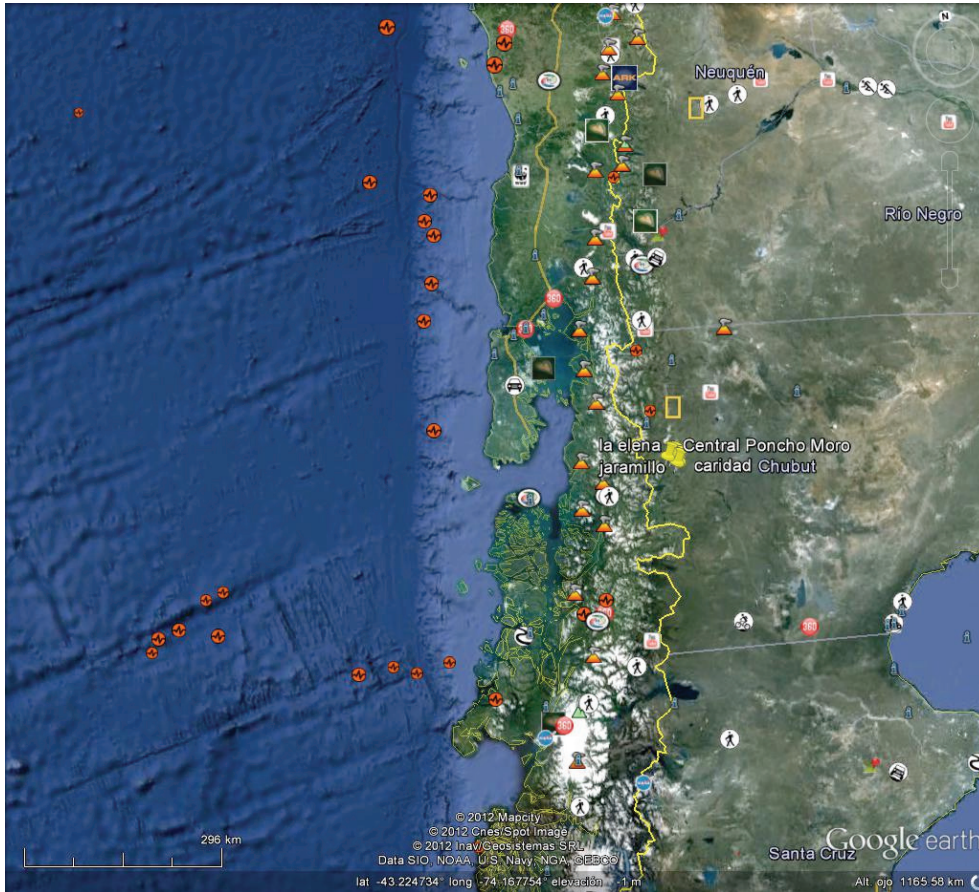


Imagen N° 2. Sismos más cercanos a los emplazamientos de La Caridad y La Elena.

- Grandes sismos en el fondo del océano adyacente a las costas chilenas, como el del 22/5/1960 - Sismo de Valdivia - de magnitud 9,2 con maremoto asociado, situado a unos 460 km al N – NO.
- Sismos de menor magnitud, dentro del territorio chileno, como los que destruyeron Talca (M = 8.0 en 1928) y Chillán (M 7.7 en 1939).

v) Datos geológicos y tectónicos: estos estudios tratan de determinar evidencias en la corteza terrestre e interpretar la relación con la acción de estos fenómenos, fundamentalmente en los últimos millones de años. La mejor evidencia entre la sismología y la geología, asocia la actividad sísmica con el movimiento relativo entre placas que forman la corteza terrestre. Los grandes sismos de esta zona se explican como producto de la interacción de la placa de Nazca con la Sudamericana, donde la primera subduce debajo de la segunda.

Sismicidad histórica. Evaluación de la Sismicidad

Frecuencia anual de ocurrencia de terremotos (N) en función de la magnitud en la zona de estudios (M)¹⁷. Si se tiene en cuenta la fórmula empírica: $\log N = a - bM$ es posible determinar la frecuencia de ocurrencia

¹⁷N = frecuencia media zonal de los sismos que igualan o superan la magnitud Ms

de un sismo en función de la magnitud. Para ello es necesario determinar las constantes a y b que son características de la zona.

Para el cálculo de los coeficientes se han tenido en cuenta aquellos valores mayores que $m = 4$ en el período 1966 - 1985. Los valores más aceptables son $a = 1,80$ y $b = 0,50$. En la siguiente tabla 1 se correlacionan N y M.

N: Frecuencia anual de ocurrencia de sismos	M: Magnitud del sismo
5	2
1	3
0,5	4
0,3	4,5
0,2	5
0,1	5,5
0,05	6

Tabla 1: frecuencia anual de ocurrencia de sismos en función de la Magnitud (M).

Magnitud más probable para un intervalo de tiempo (MT) determinado en la zona de estudio

De la aplicación de la teoría generalizada de los valores extremos de Gumbel se han obtenido ciertos resultados. En este caso $(T) = a + \log T / b$ indica que si consideramos los valores de a y b previamente calculados y tenemos en cuenta distintos intervalos de tiempo T se pueden obtener los valores de magnitud M, más probables.

Intervalo de tiempo (años)	M: Magnitud del sismo Escala de Richter
1	3,5
6	5,0
10	5,2
15	5,8
20	5,9

Tabla 2: Magnitud más probable para un intervalo de tiempo determinado.

Probabilidad de ocurrencia de un sismo de una determinada magnitud para distintos intervalos de tiempo

Si consideramos que: $P(M,T) = \exp[-10 a \exp(-bm \ln 10)]$ se puede observar que la probabilidad de ocurrencia de un sismo para un intervalo de tiempo T puede ser determinado en base a valores de a y b, según se observa en la Tabla 3.

Probabilidad de ocurrencia de una determinada magnitud en %	Magnitud (M) para T = 1 año	Magnitud (M) para T = 5 años	Magnitud (M) Para T= 10 años
100	M = 2,0	M = 3,0	M = 4,1
90	M = 3,2	M = 4,3	M = 5,2
80	M = 3,4	M = 4,8	M = 5,4
60	m = 3,8 *	M = 5,2	M = 5,8
40	m = 4,2 *	m = 5,6 *	m = 6,1 *
30	m = 4,5 *	M = 5,9	M = 6,4
10	M = 5,7	M = 7,1	m = 7,5 *

Tabla 3: Probabilidad de ocurrencia de un terremoto de una determinada magnitud para distintos intervalos de tiempo.

* Valores extrapolados P % de m f (T).

Riesgo sísmico

La generación de terremotos puede ser considerada como un proceso estocástico de donde se desprende que puede ser expresado como un modelo de Poisson.

Se puede, en consecuencia, definir el Riesgo Sísmico como una probabilidad de ocurrencia de un terremoto de magnitud m o mayor en un período T , relacionando la Magnitud con la Frecuencia media de ocurrencia (Φ), Richter y Gutenberg 1954, como $RT(M) = 1 - e^{-\Phi T}$.

Los períodos medios de recurrencia que se obtienen del análisis de la sismicidad del área en estudio permiten establecer las siguientes frecuencias medias (frecuencia (f)).

m (Años)	Frecuencia Medias	Frecuencias
5,2	8	0,125
5,5	11	0,090
6,0	20	0,050

En la Tabla 4, siguiente, se evidencia el Riesgo Sísmico para los sismos de Magnitudes 5,2, 5,5 y 6,0 en Escala de Richter.

Riesgo sísmico (%)	Tiempo (T) param = 5,2	Tiempo (T) param = 5,5	Tiempo (T) param = 6,0
90	18 años	25 años *	48 años
80	12 años *	20 años	32 años *
60	5 años *	11 años	20 años

* Valores extrapolados.

Conclusiones

Por todo lo expuesto es factible sugerir los siguientes parámetros sísmicos:

El coeficiente sísmico zonal para el Carrenleufú varía entre 0.025 y 0.050, pero ha sido calculado con parámetros propios de otras obras (Alicurá, p. ej.).

Son de interés los siguientes datos extraídos de publicaciones del INPRES para la zona de Carrenleufú:

- i) Una intensidad de Mercalli Modificada mayor o igual a VII con una recurrencia de 100 años;
- ii) Un período medio de retorno entre 50 a 100 años para una aceleración de 0.05g y un riesgo del 10% de producirse una aceleración del 0,10 g en 50 años. Valores que aparecen un tanto bajos para la verificación de estructuras;
- iii) Teniendo en cuenta recomendaciones del CIRSOC, para localizaciones en el límite de la zona 1 y la 2, como es el caso que nos ocupa, las aceleraciones máximas para obras fundadas en roca estarían en el orden de 0,08 a 0,16 g. Para obras de infraestructura la probabilidad de excedencia (o inversa del periodo de retorno), aumenta los valores antedichos hasta un 20%.

La intensidad del punto i), puede ser atribuible a un sismo como el de magnitud 6.0, próximo a la Central La Elena.

De acuerdo a este criterio, se podrá seleccionar la magnitud y recurrencia que se considere más adecuada para el riesgo que se desee asumir. Se sugiere optar para cada caso de la siguiente forma, siguiendo los lineamientos tomados en cuenta para verificaciones hechas en Futaleufú:

- Terremoto Básico de Operación (TBO).
 - Origen: falla regional.
 - Periodo de retorno: 145 años.
 - Magnitud: 7,5.
 - Aceleración máxima en el sitio: 0,17 g.
- Terremoto Máximo de Diseño (TMD).
 - Origen: tectónico (contacto intraplacas).
 - Periodo de retorno: 4.000 años.
 - Magnitud: 8,5.
 - Aceleración máxima en el sitio: 0,40 g.

Yacimientos

Yacimientos de materiales granulares en el área de la presa

- Yacimiento EG 3

Este yacimiento se encuentra en una terraza glacifluvial de orientación norte - sur situada al oeste de la Laguna Williams a unos 3 km de distancia de la presa y entre cotas 825m y 840m IGM.

El yacimiento está constituido por gravas limpias GP y GW, compuesta principalmente, por rodados de granodiorita, en su mayoría bastante alterados y fácilmente disgregables con un porcentaje de bloques mayores de 6" que oscila entre un 10 y 12%. A continuación se resumen otras características del mismo:

- Agregado grueso

i) características físicas (áridos)

- exento de material fino perjudicial.
- peso específico seco (2,56 – 2,81 Kg /dm³).
- desgaste (10,2 – 16,7 % desgaste Los Ángeles).
- de granos esféricos.
- absorción entre 1,1 y 2,6%.

ii) determinaciones químicas

No se encontraron sales solubles en ninguna de las muestras ensayadas.

iii) ensayos petrográficos

- partículas redondeadas a subredondeadas de composición granítico granodiorítico.
- 35% de material alterado, con heterogeneidades significativas.
- 05% de vulcanitas.

iv) durabilidad (SO₄ Na₂)

- pérdidas porcentuales corregidas = 4,7%.

- Agregado fino (arenas).

i) granulometría

Retenido T. N° 8 = 14%.

Retenido T. N° 16 = 34%.

Retenido T. N° 30 = 62%.

Retenido T. N° 50 = 83%.

Retenido T. N° 100 = 94%.

Elevado contenido de material por debajo del Tamiz N° 200.

ii) características físicas (áridos)

- exento de material fino perjudicial.
- peso específico seco (2,56 – 2,62 Kg /dm³) .
- de granos esféricos.
- absorción entre 1,5 y 2,9%.

iii) determinaciones petrográficas

- Partículas sin recubrimiento, salvo polvo fino lavable.
- 95% de las partículas corresponden a fragmentos líticos.
- 95% del material en estado fresco.
- Bajo porcentaje de vulcanitas.

iv) durabilidad (SO₄ Na₂)

- Por debajo de los valores fijados por la Norma IRAM 1525.
- 30% de partículas alteradas (fisuradas) .

Cubicación

Superficie = 27 Ha.

Espesor del manto considerado = 1,50 m.

Volumen = 450.000 m³.

Destape

Superficie = 27 Ha.

Espesor de destape = 0,70 m.

Volumen = 190.000 m³.

Si se considera que la cota media del yacimiento, existe un desnivel de 137m entre el mismo y la cota del pelo de agua del Río Carrenleufú en la zona del cierre, siendo difícil el descenso con camiones cargados.

Yacimientos de materiales cohesivos en el área de la presa

- Yacimiento EF 2

Se encuentra ubicado sobre la margen derecha del Río Carrenleufú a 700 metros aproximadamente, aguas abajo del eje de la futura presa entre cotas 700 y 726m IGM.

Parámetros estudiados

Humedad natural promedio = 30,68%.

Humedad natural máxima = 36,90%.

Humedad natural mínima = 25,80%.

Índice de plasticidad promedio = 11,32%.

Índice de plasticidad máximo = 16,20%.

Índice de plasticidad mínimo = 7,20 %.

El valor de la Humedad óptima (Proctor Standard) se encuentra un 29% aproximadamente por debajo de humedad natural.

Tipo de material: CL; SC; ML; CL y ML.

ii) Cubicación, ver tabla: Resumen de características generales de los yacimientos de materiales cohesivos.

- Yacimiento EF 3

Se encuentra ubicado sobre margen derecha del Río Carrenleufú a 700 metros aproximadamente, aguas arriba (a una distancia de 550 metros) del eje de la futura presa entre cotas 724 y 728m IGM, en la morena que cierra el vaso del embalse por el este.

Parámetros estudiados

Humedad natural promedio = 20,92%.

Humedad natural máxima = 27,30%.

Humedad natural mínima = 16,10 %.

Índice de plasticidad promedio = 10,62%.

Índice de plasticidad máximo = 14,20%.

Índice de plasticidad mínimo = 07,90 %.

Límite líquido = entre 33,10 % y 39,60%.

Peso específico real = 2,54 y 2,74 Kg/dm³.

El valor de la Humedad óptima (Proctor Standard) se encuentra entre un 1% y un 7% aproximadamente por debajo de humedad natural.

ii) Cubicación

Superficie = 2,50 Ha.

Espesor = 1,95m.

Volumen = 49.700 m³.

- Destape

Espesor de destape = 0,40m.

Volumen = 10.200 m³.

Este yacimiento se presenta con materiales más aptos para ser utilizados en la construcción de terraplenes que los del yacimiento EF 2.

- Yacimiento EF 2

Yacimientos de materiales granulares en el área de la central

En las cercanías de la central se seleccionaron dos yacimientos de materiales granulares, son los denominados: Central Elena 1 (CE1) y Central Elena 2 (CE2).

Yacimiento Central Elena 1 (CE1).

Está ubicado en la margen derecha del Río Carrenleufú a cota 420m IGM, aproximadamente y a una distancia de 7,5 km de la casa de máquinas.

i) Granulometría promedio.

El 36,60% del material tiene un tamaño superior a 1 ½ "y un 25% de fracción arena (entre tamices N° 4 y N° 200).

ii) Cubicación

Superficie = 10,5 Ha.

Espesor = 1,20m.

Volumen = 126.000 m³.

- Destape

Espesor de destape = 0,50m.

Volumen = 52.750 m³.

Profundidad de la capa freática = 0,75m.

- Yacimiento Central Elena 2 (CE 2)

Está ubicado en la margen derecha del Río Carrenleufú a cota 425m IGM, aproximadamente y a una distancia de 6,0 km aguas abajo de la futura casa de máquinas. El yacimiento comprende depósitos de gravas y arenas ubicadas en albardones, pequeñas terrazas y fondos de antiguos cauces fluviales a una distancia de 7,5 km de la casa de máquinas.

i) Granulometría promedio

El 34,20% del material tiene un tamaño superior a 1 ½ "y un 29% de fracción arena (entre tamices N° 4 y N° 200).

ii) Cubicación

Superficie = 27,70 Ha.

Espesor = 1,35m.

Volumen = 374.287 m³.

- Destape

Espesor de destape = 0,30m.

Volumen = 83.175 m³.

Profundidad promedio de la capa freática = 1,30m.

El acceso a los yacimientos CE 1 y CE 2 desde la localidad de Corcovado puede realizarse durante todo el año.

Yacimientos de materiales cohesivos en el área de la central

No se estudiaron yacimientos de materiales cohesivos en el área de la central (casa de máquinas).

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO HUELCHES

Objetivo

Este informe describe las características geológicas y geotécnicas de los terrenos en el denominado Paso del Indio Huelches, dentro del esquema geológico regional y local. La premisa fundamental consiste en aportar datos geomecánicos cuali-cuantitativos, acordes a una etapa de Prefactibilidad de emplazamiento de una obra de embalse.

A su vez, se manifestarán las dificultades que podrían presentarse en las sucesivas etapas y se propondrán los estudios complementarios tendientes a minimizar los riesgos y costos del proyecto.

Ubicación

El Paso del Indio Huelches se encuentra emplazado en el centro geográfico de la República Argentina, en las estribaciones australes de la Sierra de Choique Mahuida, a ambos márgenes del Río Colorado, en su paso por el Departamento de Lihuel Calel, en la Provincia de La Pampa, y el de Avellaneda, en Río Negro; a una latitud aproximada de 38° 48' S y una longitud de 65° 29' O, como se puede apreciar en la Figura 1.

Se trata de una de las regiones más despobladas del país, siendo el Departamento de Lihuel Calel, el único en toda la extensión nacional, con una densidad demográfica de 0,0 habitantes / km², según los registros del último censo nacional (INDEC, 2010). El ámbito bajo estudio queda delimitado por el rectángulo comprendido entre las coordenadas geográficas 38°47'40"S, 65°28'00"O y 38°49'40"S, 65°29'20"O, generando un área de 8 km².

Desde la provincia de La Pampa, puede accederse bordeando el Río Colorado a través de la Ruta 34, en el tramo Pichi Mahuida - Gobernador Duval, hasta el ingreso al Establecimiento Santa Lucía. Desde allí se recorren unos 12 km hasta el puesto, ubicado a unos 2.000 metros aguas arriba del Paso Huelches.

El acceso desde Río Negro puede llevarse a cabo desde la antigua Ruta 22, hoy Ruta 56, por el ingreso al Puesto Bajo Lindo, ubicado en las inmediaciones de la ex Estación Benjamín Zorrilla del Ferrocarril del Sud. Debido a dificultades de acceso, se recomienda un ingreso alternativo desde Choele Choele, recorriendo 12 km a través de la Ruta 22 hasta el límite occidental de la localidad de Darwin. Desde allí a 38° 12' 06" S y 65° 44' 38" O, se toma un camino de tierra hacia el Norte, el cual recorre unos sinuosos 60 km hasta el Puesto El Tronador, margen derecha del Paso del Indio Huelches.

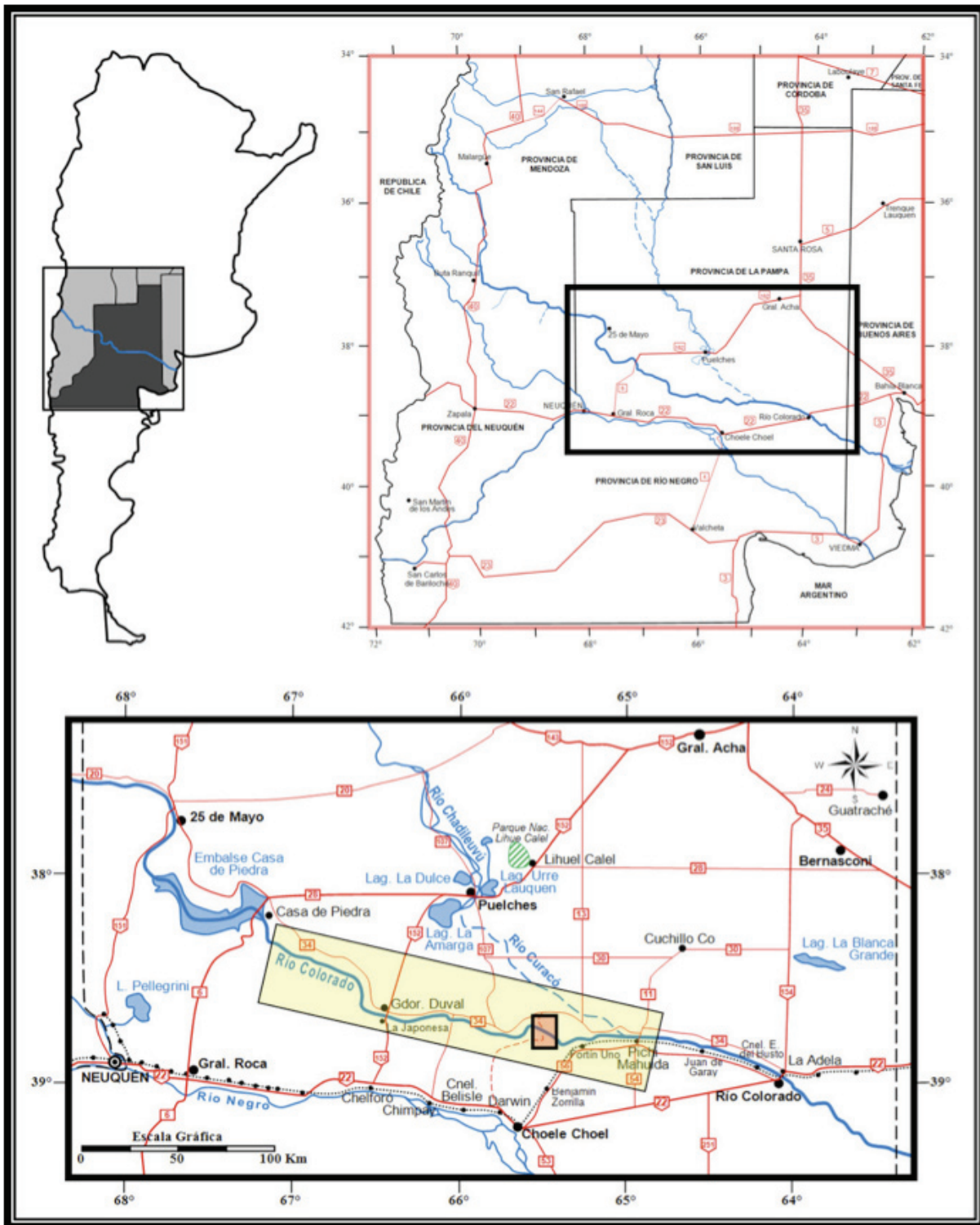


Figura 1. Plano de ubicación. El rectángulo menor ilustra la ubicación del Paso Huelches, dentro de un marco más amplio de estudios en el Río Colorado.

Antecedentes

Antecedentes geológicos

Martin de Moussy (1873), elabora la Carta Física de la Confederación Argentina. La misma plantea a grandes rasgos las unidades geológicas de los "Territorios Indios del Sur".

Las expediciones científicas de Döering (1882) y de Von Siemiradzki (1893), describen afloramientos graníticos y porfíricos en las Sierras de Choique Mahuida y de Pichi Mahuida.

Stappenbeck (1913) realiza una descripción geológica de la región, con implicancias hidrogeológicas.

En 1914, Bailey Willis analiza la orografía del área con especial énfasis en Lihue Calel.

Wichmann (1918), relaciona los datos de las perforaciones hidrogeológicas disponibles con los afloramientos geológicos de la región.

Groeber (1929) incluye los granitos y pórfidos estudiados por Wichmann (1928) dentro de la Serie Porfírica de edad permo-triásica y Sobral (1942), acuña el término Pórfiros Rojos y Pórfiros Negros, en referencia a las rocas de edad permotriásica.

Bouchonville, en 1945, da a conocer el primer relevamiento geológico de la Sierra de Lihue Calel, Vilela y Riggi (1956) describen en detalle los pórfidos andesíticos y riolitas, emplazados en la Sierra de Lihue Calel.

Dragonetti y Mazza (1961) y Quartino y Rossi (1961), llevan a cabo un estudio del Río Colorado, tendiente al aprovechamiento de su potencial hídrico. Galván (1966), estudia el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico del agua subterránea y elabora el mapa geológico e hidrogeológico de este sector.

Criado Roqué (1972a, b) integra la comarca de Huelches dentro del Cinturón Móvil Mendocino - Pampeano, a la vez que asocia la Serie Porfírica con el Sistema de la Sierra Pintada.

Llambías y Leveratto (1975), estudian las vulcanitas de la provincia de La Pampa, interpretando la existencia de un extenso plateau riolítico. Linares, Llambías y Latorre (1980), publican un compendio sobre la geología de la provincia de La Pampa, con una importante colección de datos geocronológicos.

En 1976, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, 1976), a pedido del Comité Interjurisdiccional del Río Colorado, elaboran un plan de manejo integral de la cuenca, resaltando aspectos socioeconómicos.

González Díaz y Malagnino (1984) publican sus trabajos sobre la geomorfología de la provincia de Río Negro.

Espejo y Silva Nieto (1996) elaboran la Hoja Geológica 3966-II Puelches a escala 1:250.000.

Gregori, et al. (2008), formulan una propuesta de evolución morfoestructural de la región, en base al conocimiento geológico, sumado a nuevos datos geofísicos.

Antecedentes geotécnicos

Los inicios del proyecto de embalse del Río Colorado en el Paso Huelches, se remontan a principios de la década de 1940, cuando la Dirección General de Irrigación, luego Dirección General de A. y E. Eléctrica, analiza las características del terreno de fundación de los que aun se conservan informes, planos y documentos, en el actual Archivo Técnico de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, los cuales han servido de base a la reevaluación y adecuación del proyecto, en base a las nuevas técnicas y conocimientos en el terreno de la geología aplicada a la ingeniería.

De la documentación recabada, se destacan los siguientes antecedentes:

González Stegemann (1942) presenta el primer informe geológico del Proyecto Huelches, en el cual plantea las características y dificultades que presentaban las dos variantes de cierre consideradas.

Lambert (1943, 1944), completa los estudios geológicos, proporcionando una nueva interpretación de la situación. En 1948, publica los resultados obtenidos de los estudios precedentes, puntualizando una serie de recomendaciones sobre las distintas variantes de cierre en Huelches.

Di Salvo (1969), presenta su Tesis de Licenciatura, focalizada en la geotecnia del proyecto de embalse sobre el Río Diamante, en el ámbito de la Sierra Pintada, ambiente geológico comparable con el de Huelches.

Di Salvo, C. 2008 a y b.; Di Salvo, C., K. Rodríguez y A. Celli, 2008 y Di Salvo, C., K. Rodríguez y A. Celli, 2010, aportan datos geológicos y geotécnicos inherentes a distintos proyectos hidráulicos en la cuenca del Río Colorado.

Celli (2011), publica en la Universidad de Buenos Aires su Tesis de Licenciatura, con aspectos de tallados y destacados del aprovechamiento Paso Huelches.

Antecedentes Cartográficos

Entre las imágenes satelitales, cabe mencionar las del satélite Landsat 7 (NASA, 2004), entre la presa Casa de Piedra y la localidad de Río Colorado. También las imágenes suministradas por Google Earth (Google, 2008-2010); y con las imágenes de radar SRTM3 (NGA, 2000), las cuales permitieron generar un modelo de elevación digital del terreno.

Fotografías aéreas en blanco y negro, pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional (IGN, 1968), a escala 1:75.000. Asimismo, fotografías aéreas a color de COIRCO, (2005) a escala aproximada 1:10.000.

La topografía regional según las cartas topográficas a escala 1:100.000, publicadas por el IGM (1982a, b, c); mientras que para el área de Huelches, el plano topográfico confeccionado por Agua y Energía Eléctrica (A y E. E, 1940), a escala 1:5.000, es un documento básico.

Las hojas geológicas del SEGEMAR, a escala 1:250.000, 3966-II Puelches (Espejo y Silva Nieto, 1996) y 3966-I Gobernador Duval (Espejo y Silva Nieto, 2002), proporcionan un panorama geológico a nivel regional.

Dentro del Paso Huelches, el bosquejo geológico realizado por Agua y Energía Eléctrica (González Stegemann, 1942), a escala 1:2.000, resume los estudios llevados a cabo durante la primera etapa de aquel antiguo proyecto.

Geología regional

La zona bajo estudio está marcada por los siguientes rasgos geológicos predominantes:

Desde Salto Andersen al Este y hasta aproximadamente Pichi Mahuida al Oeste, aunque en forma un tanto saltuaria, el Río corre entre las estribaciones de rocas eruptivas y metamórficas, que representan la prolongación austral de litologías correspondientes a las Sierras Pampeanas. Figura 1.

Desde Pichi Mahuida ahora al este y Paso Huelches al Oeste, el Río corre moderadamente encajonado entre afloramientos de riolitas y andesitas de la Sierra de Choique Mahuida pertenecientes a la Formación Centinela, pertenecientes a la Provincia Geológica Sanrafaelino Pampeana de edad Permo Triásica o Bloque de las Mahuidas¹⁸, en una versión más actualizada.

Ya al Oeste de Paso Huelches el Río atraviesa sedimentos modernos constituidos por sedimentos aluviales, lagunas, salinas y paleocanales del Río Colorado, como así también rodados patagónicos, dentro de la denominada Cuenca Neuquina o Engolfamiento Neuquino.

En la figura 2, extraída de Linares (1980) se muestra esta situación precedentemente descrita. Esta interpretación geológica regional tiene importancia ya que la presencia tanto de rocas eruptivas y metamórficas correspondiente a la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas como de las rocas volcánicas (andesitas y riolitas) precedentemente citadas configuran un corredor de unos 40 km de longitud donde el Río es más estrecho y tiene mayor pendiente. Aquí se ubican los cierres precedentemente estudiados, es decir Pichi Mahuida, El Chivero y Paso Huelches.

Una visión más actual (Ramos, 1999) indica que la mayoría de los cierres propuestos en el Inventario en el Río Colorado (Pichi Mahuida I y II, Santo Tomás, El Chivero y Huelches I y II) se desarrollan, como se ha indicado, dentro del Bloque de las Mahuidas, mientras que el resto (Moravia, La japonesa, El Milagro) lo hacen dentro del Engolfamiento Neuquino.

En escala 1:250.000 Espejo P. y Silva Nieto G. dentro del contexto de la hoja Geológica 3966 - II Puelches, han confeccionado el siguiente mapa geológico de la comarca. Figura 3.

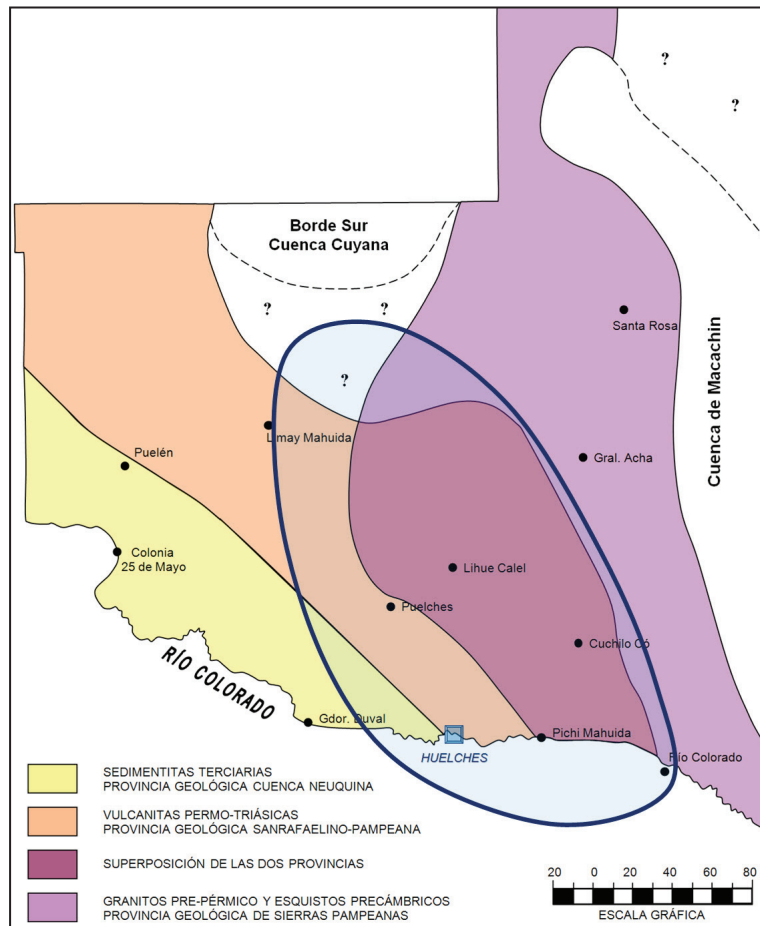


Figura 2. Esquema geológico de la Prov. de La Pampa (modificado de Linares *et al.*, 1980). El Paso Huelches se emplazaría en la Provincia Geológica Sanrafaelino-Pampeana.

El cierre de Huelches se encuentra enclavado, como se mencionó en rocas porfídicas de edad Permo Triásica, dentro de la Región del Bloque de las Mahuidas en que rocas metamórficas y vulcanitas permo - triásicas han sido sometidas a una extensa peneplanización y no han estado sometidas a los importantes levantamientos ándicos de edad terciaria. Estos afloramientos constituyen prácticamente la única zona estrecha a lo largo del curso del Río Colorado, lo que centró ya la atención en las décadas de 1940 y 1950 acerca de que este sitio podía proporcionar un buen cierre para una presa de embalse.

Estos cuerpos eruptivos tienen, en el ámbito de la hoja geológica Puelches una extensión de unos 60 km de

longitud desde el Parque Nacional Lihuel Clael al Norte hasta unos pocos kilómetros al sur del Río Colorado y unos 30 km de ancho, con marcados lineamientos estructurales, que controlan algunos rasgos geológicos como el Río Curacó y el propio Río Colorado por tramos, como así ciertos bajos como los denominados San Máximo y Gestau, al norte del área bajo análisis.

La litología es variada: riodacitas, riolitas, pórfiros e ignimbritas varicolores: del blanco que microscópicamente tiene el aspecto de una cuarcita al rojo oscuro y gris como es el caso de la localidad de Paso Huelches.

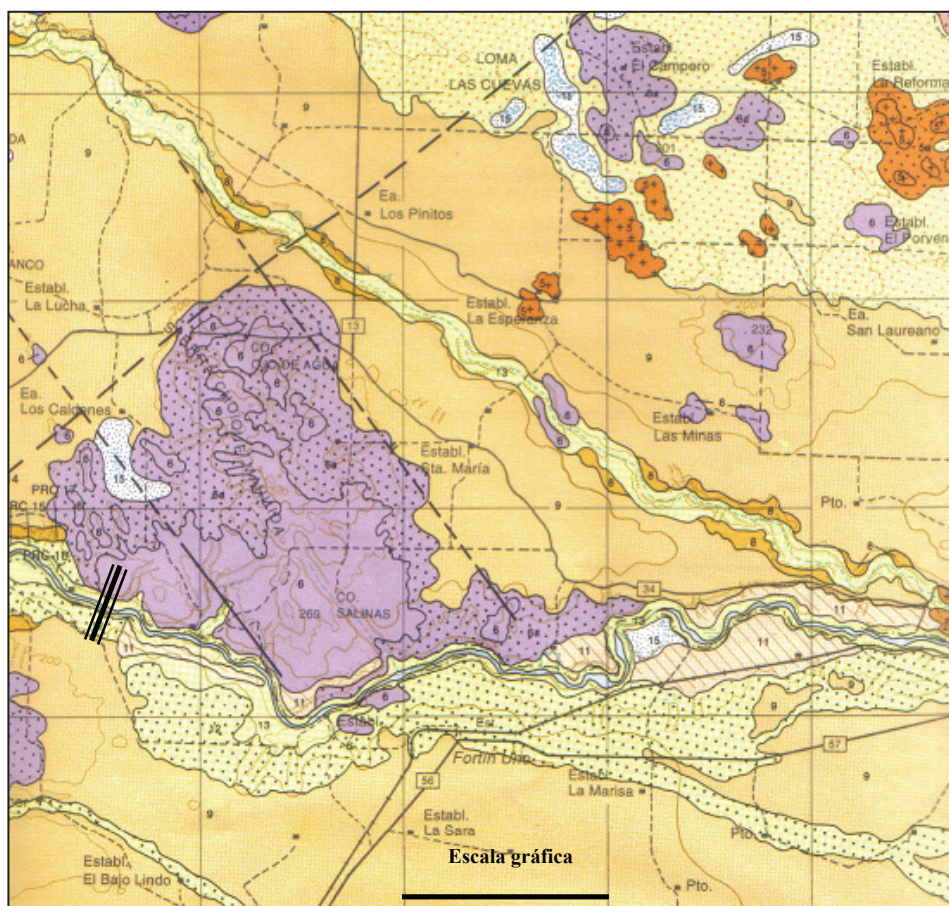


Figura 3. Ubicación del cierre en Paso Huelches en el marco regional de la Sierra de Choique Mahuida y esquema geológico extractado de la Hoja Geológica Puelches.

Conclusiones de la geología a escala regional

En base al actual conocimiento geológico de la comarca, se concluye que la obra de Paso Huelches se emplazaría en un ámbito geotectónico difuso, que podría corresponder a diferentes terrenos de diferentes provincias geológicas: sierras Pampeanas, Bloque de San Rafael, etc.

A los fines del presente trabajo, basta con definir la presencia y características de las vulcanitas permotriásicas, las cuales conforman el basamento ingenieril del Proyecto Huelches.

Geología local. Litología, estructura y morfología de la zona del cierre principal

Como se comentó en el apartado de antecedentes geotécnicos, en el año 1942, le fue encomendada a Eduardo González Stegemann, la tarea de reconocimiento geológico del área correspondiente al llamado Paso del Indio Huelches, con motivo de interpretar las características que ofreciera el terreno y establecer los condicionantes geológicos que pudieran presentarse, con vistas a la fundación de una obra de cierre en dos sitios alternativos (1ra. y 2da. Solución), distantes entre sí, unos 800 metros.

González Stegemann distinguió, en la zona del cierre principal, dos unidades litológicas separadas por una fractura neta de rumbo transversal al río. La Primera Solución, fue ubicada dentro de la unidad más occidental, constituida por "rocas oscuras porfíricas altamente silicificadas, atravesadas por numerosas diaclasas rellenas por cuarzo, calcita, fluorita y por filones de pórfido cuarcífero". Esta localización y para una cota 192 msnm IGN necesitaba de la construcción de numerosos cierres laterales, ya que se presentaban fugas topográficas de agua en determinados portezuelos: Foto N° 1.



Foto N° 1. Sitio de la 1ra Solución, enclavada en los pórfiros grises, vista desde aguas arriba y desde margen izquierda.

La Segunda Solución, se planteó al este de la falla, caracterizada por "rocas de color predominante rosado (riodacitas), con un grado de fracturación mayor que en la 1ª solución, con importantes fracturas secundarias rellenas por brecha tectónica". Esta solución no presentaba una problemática tan extensa de los cierres laterales mencionados más arriba. Foto N° 2.



Foto N° 2. Posición denominada 2da. Solución, sobre pórfiros rojos, vista desde la posición de la 1ra. Solución sobre margen derecha.

En la figura 4. se representa el Mapa geológico del Paso del Indio Huelches cuya base topográfica fue obtenida mediante imágenes radar SRTM3, Los segmentos grises de trazo más grueso, representan a los cierres principales (1ª y 2ª. Variante) y en trazo más fino, los laterales, para cada una de las alternativas evaluadas, Celli 2011.

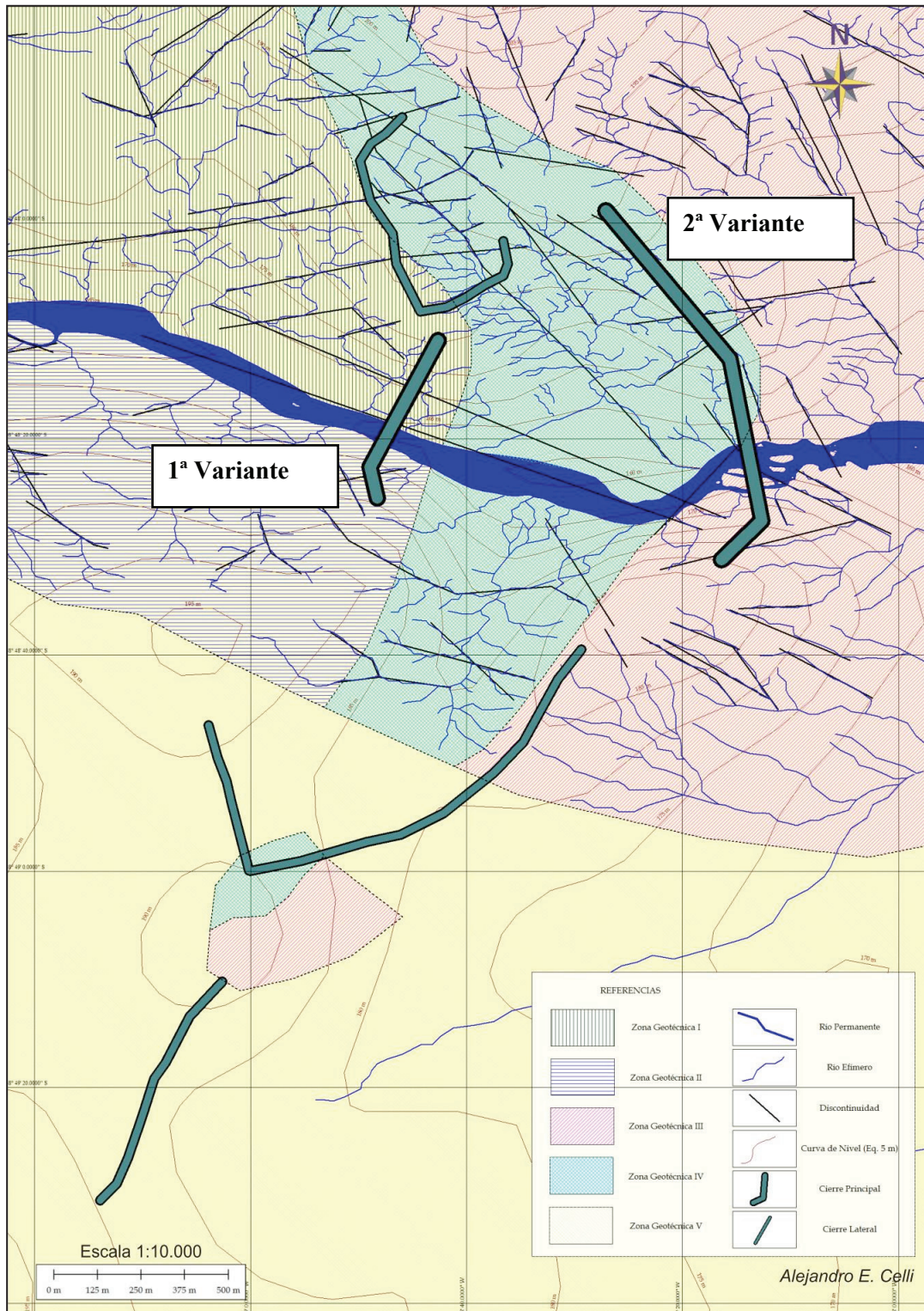


Figura 4. Mapa geológico - geotécnico del Paso del Indio Huelches. Celli 2011.

Luego de analizar las condiciones del terreno superficial, González recomienda la elección de la Primera Solución para la localización del cierre principal. En el año 1943, queda a cargo de los estudios geológicos Luis Lambert, cuya primera tarea sería la realización de las perforaciones y el estudio de los perfiles de las mismas. Lambert opina que una falla separa ambas unidades litológicas, y en 1944, vuelve al sitio con el objeto de profundizar los estudios en los cierres laterales y extender las investigaciones a la llamada Segunda Solución, en vistas de la importancia adjudicada a la citada fractura. Culmina sus estudios recomendando la posición del cierre principal correspondiente a la Segunda Solución, debido a que la falla principal no intercepta ninguno de los cierres laterales planteados en esta alternativa.

Así las cosas y dentro de un marco de estudio más amplio el Departamento Provincial de Aguas (DPA) de Río Negro, con fondos del Consejo Federal de Inversiones (CFI), encara nuevos estudios y proyectos, lo que da origen a nuevos trabajos de campo y gabinete y publicaciones que representan el actual estado del conocimiento sobre este aprovechamiento. Entre ellos:

- Di Salvo, C. 2008a. Informe de Prefactibilidad Geológica y Geotécnica del Cierre de Huelches. Río Colorado. Prov. de La Pampa y Río Negro. República Argentina. Inédito.
- Di Salvo, C., 2008b. Informe Geológico y Geotécnico de Inventario. Río Colorado. Provincias de La Pampa y Río Negro. Inédito.
- Di Salvo, C., K. Rodríguez y A. Celli, 2008. Inventario geológico de cierres en el Río Colorado. Provincias de La Pampa y Río Negro. Vº Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos, Actas electrónicas, 19 pp. San Miguel de Tucumán.
- Di Salvo, C., K. Rodríguez y A. Celli, 2010. Prefactibilidad geológica y geotécnica del cierre de Huelches, Río Colorado. Provincias de La Pampa y Río Negro - República Argentina. Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Revista 25, 20 pp.
- Celli, A. 2011. Geología y Geotecnia referente al Aprovechamiento Hídrico del Río Colorado en Paso del Indio Huelech, provincias de La Pampa y Río Negro. Trabajo final de Licenciatura. U. B.A.

Durante estos últimos trabajos se realizaron numerosas tareas de campo y gabinete, entre los que cabe consignar:

- a. A partir de la interpretación, análisis y readecuación del material precedente, se elaboró un esquema geológico a nivel regional.
- b. En base a los antecedentes y realizando diversas combinaciones de bandas de imágenes ETM+ (NASA, 2004), a través del software ENVI 4.5, se elaboró un bosquejo geológico - estructural a nivel local del área de Huelches.
- c. Utilizando el software Global Mapper 13, se elaboró un mapa topográfico de Huelches, con una equidistancia de 5 metros, en base a los modelos de elevación digital SRTM3 (NGA, 2000).
- d. En 2007, se llevaron a cabo dos relevamientos de campo expeditivos, tendientes a corroborar los límites superficiales de las unidades geológicas regionales, y observar las características geológicas de la comarca de Huelches, delimitando los contactos formacionales.

- e. En 2007 también se realizó una campaña de investigación al Paso Huelches, en la cual se llevó a cabo un relevamiento geológico-geotécnico detallado, según los estándares de la International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1978a), avalados por la International Association of Engineering Geology.
- f. Se relevó una serie de perfiles geológicos, apoyados en un levantamiento topográfico de detalle, llevado a cabo en simultáneo, mediante GPS Diferencial, a lo largo de los cierres principales Huelches 1 y Huelches 2.
- g. Se realizaron perfiles geofísicos (geoeléctricos) en sitios escogidos. Empresa Proingeo.
- h. Se realizó un vuelo de reconocimiento en avioneta por el Río Colorado.
- i. A partir de las muestras recolectadas se caracterizaron las unidades geológicas, por medio de descripciones petrográficas en muestra de mano y la observación de 10 cortes delgados con microscopio petrográfico en laboratorios de la U.B.A.
- j. Por otra parte, se llevaron a cabo ensayos de resistencia a la carga puntual (Index Point Load), sobre 10 muestras irregulares, metodología ISRM (1985).
- k. Con los datos procesados, se caracterizaron las unidades geotécnicas, utilizando la última versión de la clasificación geomecánica para macizos rocosos fisurados RMR (Rock Mass Rating), de Bieniawski (1989), teniendo en cuenta las consideraciones para su aplicación en fundaciones de presas, propuestas por Bieniawski y Orr (1976) y Romana (2004).
- l. En base al procesamiento de la información recabada, se elaboró un mapa geológico y un mapa geotécnico a escala 1:10.000 de la zona de fundación de la obra de embalse, utilizando la simbología propuesta por la IAEG (1981a), y valiéndose del software de mapeo Global Mapper 13.

Con el análisis de los antecedentes y las nuevas investigaciones y centrándose en el análisis en una presa a cota 192 msnm y con central al pie, los puntos principales a dilucidar fueron los siguientes:

1. Ubicación de la presa (variante 1 o 2).
2. Tipología de presa: hormigón; hormigón HCR o escollera (gravas compactadas).
3. Posibilidad de una disminución de la cota de la presa a fin de evitar la construcción de cierres laterales.

Conclusiones sobre el sitio de emplazamiento

Como se ha comentado en varias ocasiones en este informe durante prolongadas campañas de mediados del siglo XX se estudiaron dos variantes de cierre para el cierre de Huelches. En realidad la más estudiada fue la denominada 1ra. Solución situada unos 800 metros aguas arriba. Los estudios geológicos concluyeron que la mejor posición era la segunda, situada aguas abajo en el sitio del Paso Huelches. Las razones están explicadas en el informe de Lambert (1948) y fueron expuestas en el apartado 4 de este trabajo. La razón aducida fue la presencia de una falla que, atravesando el Río Colorado, condicionaba las características geotécnicas de los pórfiros grises fundamentalmente.

En el análisis efectuado en los años 2007 y 2008 esta revisión y fundamentalmente con el control de campo se descartó esta situación, ya que se concluyó que el contacto entre ambos pórfiros se atribuye a un

contacto eruptivo y no tectónico. Es indudable que existe una fuerte afectación de ambos pórfidos por los esfuerzos tectónicos que se evidencian por un estado general de decompresión y amplia fracturación de ambos tipos de roca, pero no hay evidencia de un contacto por falla y que ésta sea un condicionante neto en la selección de la presa.

Una consideración más actual en la selección del eje de una presa tiene en cuenta una multiplicidad de factores, entre los que se citan:

- **Factores topográficos**, que condicionan los volúmenes de presa en primera instancia.
- **Factores geológicos**, que condicionan los volúmenes de excavación y tratamiento de las fundaciones, como así también los riesgos geológicos durante la construcción y explotación (deslizamientos, estabilidades locales, etc.).
- **Factores ambientales**. Si bien este es un informe geológico geotécnico, debido al carácter pionero que siempre los informes geológicos poseen, se realizó una ponderación matricial en una tabla comparativa los distintos factores que pueden incidir en la toma de decisiones para la selección de la posición o sitio de emplazamiento. Antes de entrar en el detalle de esta evaluación matricial es importante destacar que ambientalmente la denominada 2da solución afectaría a un componente singular natural del paisaje¹⁹ y cultural²⁰ de relevancia para la zona de influencia del proyecto, véase la foto N° 3. Si se ubicara la obra de cierre en esta posición se afectaría esta componente singular del paisaje, resultado de la acción de la naturaleza, como así también una zona de un alto valor como recurso cultural.



Foto N° 3. Huelches 2da. Solución. Una componente singular del paisaje.

Hecha esta salvedad se expone una tabla de factores y la tabla o matriz de evaluación:

¹⁹Concebida como una unidad de paisaje que se percibe de una sola vez (unidad autocontenida) o que presentan características homogéneas desde el punto de vista de la percepción (unidad de carácter)

²⁰La zona en cuestión se trata muy probablemente del paso de indio Huelches.

Factores		1ª solución	2ª solución
Factores topográficos	Longitud a cota 192m.s.n.m	~ 350 metros	~ 850 metros
	Ancho del cauce	~ 70 metros	~ 120 metros
	Profundidad del cauce		
Factores geológicos	Litología	Pórfido gris	Pórfido rojo
	Fracturación del macizo	Alta	Media
	Alteración del macizo rocoso	Media a alta	Baja
	Profundidad de los materiales de cobertura	Medio	Baja
Factores geotécnicos	Clasificación del macizo rocoso (promedio)	RMR = 47	RMR = 59
	Módulo de deformación del macizo (estimado)	4 GPa	11 GPa
	Profundidad de las excavaciones	1,75*	1*
	Intensidad del tratamiento	1,50*	1*
Factores ambientales (paisaje + culturales)	Afectación de componentes singulares	No hay afectación	Afectación total
	Potencial de vistas	Se potenciaría	Se anularía

Tabla de valores de factores topográficos, geológicos, geotécnicos y ambientales para la 1ª y 2ª solución.

Si se afectase de un coeficiente igual a cada uno de los factores analizados y estos fueran sucesivamente en sus extremos igual a + 1 para los positivos (p. ej.: menor longitud de presa, mayor módulo de deformación del macizo rocoso, no afectación al paisaje, etc.) y de -1 para los negativos (p. ej. menores valores RMR de calidad de macizo rocoso, mayor alteración del macizo, etc.); la tabla anterior puede convertirse en una matriz de evaluación, con los siguientes valores relativos.

Factores		1ª solución (Valores ponderales parciales)	2ª solución (Valores ponderales parciales)
Factores topográficos	Longitud a cota 192m.s.n.m	+ 1	- 1
	Ancho del cauce	+ 1	- 1
	Profundidad del cauce		
Factores geológicos	Litología	No puntúa	No puntúa
	Fracturación del macizo	- 1	+ 1
	Alteración del macizo rocoso	- 1	+ 1
	Profundidad de los materiales de cobertura	- 1	+ 1
Factores geotécnicos	Clasificación del macizo rocoso (promedio)	0,50	0,50
	Módulo de deformación del macizo (estimado)	0,50	0,50
	Profundidad de las excavaciones	- 1	0,50
	Intensidad del tratamiento	0,50	+ 1
Factores ambientales (paisaje + culturales)	Afectación de componentes singulares	+ 1	- 1
	Potencial de vistas	+ 1	- 1
Σ de valores ponderales parciales		+ 1,50	+ 1,50

La anterior manera de ponderar no define satisfactoriamente una conclusión pero una imposibilidad concreta para una mejor evaluación es que los factores geológicos y geotécnicos no poseen aún una definición precisa porque la investigación realizada no puede concretar valores precisos en cuanto a dos cuestiones capitales, que son:

- La profundidad de las excavaciones.
- La intensidad de los tratamientos de las fundaciones de las obras (principalmente la presa).

Sin embargo se nota muy claramente que los factores topográficos y ambientales son claramente favorables para la 1a solución (de aguas arriba) y que es necesaria una complementación de la información geológica y geotécnica para esta etapa.

Propuesta de estudios geológicos y geotécnicos para la definición del eje de la presa

A fin de salvar las indefiniciones explicadas más arriba se propone la siguiente complementación de estudios, antes de establecer la posición de los sitios del eje de la presa de Huelches:

- Sísmica de refracción en el eje de la 1a solución, con medición de velocidades longitudinales y transversales, que permita calcular el coeficiente de Poisson del macizo y el módulo de deformación global del mismo. Longitud aproximada 400 metros.
- Ídem para la 2a solución. Longitud aproximada 800 metros.
- Sísmica de refracción en dispositivos transversales a los anteriores en margen derecha e izquierda en ambas posiciones. Longitud aproximada 120 metros para cada margen de cada posición. Longitud total: 400 metros, con medición de velocidades longitudinales y transversales.
- Cuatro dispositivos microsísmicos superficiales en la 1a solución y cuatro dispositivos microsísmicos superficiales en la 2a solución.
- Perforaciones de estudio tanto en las márgenes como en el cauce del río. Siempre después de la realización de los estudios geosísmicos.

Se estima que con estas precisiones se estará en condiciones de tomar una decisión de proyecto en cuanto al sitio del eje de presa para la presa de Huelches, aunque en esta etapa, la 1a Solución (aguas arriba) presenta una mejor combinación de factores topográficos, geológico-geotécnicos y ambientales.

Vaso del embalse

Calculada con el software Global Mapper 13, sobre la base de curvas de nivel generadas a partir de imágenes de radar SRTM3 el área del vaso tiene una superficie aproximada de 370 km², con un perímetro de 200 km.

A partir del análisis de imágenes satelitales (Rodríguez et al., 2009), sumado al reconocimiento aéreo efectuado a lo largo del tramo inventariado, y observaciones de campo, se pudo constatar que los sectores bajo

producción agrícola actual o potencial son escasos. Existe un cruce que conecta con la localidad de Chimpay; este cruce se realiza a través de una balsa, que podría continuar utilizándose luego del embalse.

En la actualidad, un establecimiento tiene en producción un área de 700 hectáreas, sobre la planicie aluvial del río; alimentadas por medio de un canal de desvío del mismo, que recorre unos 22 kilómetros. Si bien no hay poblaciones afectadas, serán alcanzados por el embalse unos 15 puestos y estancias monofamiliares, ubicados en la actual planicie aluvial del río, los cuales deberán ser relocalizados.

En cuanto a la peligrosidad asociada al embalse, se ha planteado la posibilidad de una fuga hidrogeológica desde el Bajo de Córdoba hacia aguas abajo, a través de un antiguo paleocauce del Río Colorado. Se sugiere estudiar este problema con mayor detenimiento en las sucesivas etapas del proyecto, mediante ensayos de permeabilidad y análisis granulométrico de las unidades afectadas.

En la figura 5 se muestra un Modelo de elevación digital del terreno, a partir de imágenes radar SRTM 3, generado con Global Mapper 13. Las curvas azules indican la cota 192 msnm - máxima cota de embalse evaluada -. En celeste, se muestra el área afectada por el vaso. El área a rayas representa los campos afectados, que se encuentran sembrados; líneas de trazo continuo de color negro representan las rutas, las de puntos rojos, corresponden al ferrocarril. En líneas discontinuas de color amarillo, la traza de un posible paleocauce del Río Colorado, según Celli 2011.

En función de lo expuesto la presencia del embalse no aparece como un condicionante negativo para el emplazamiento de una presa en Paso Huelches.

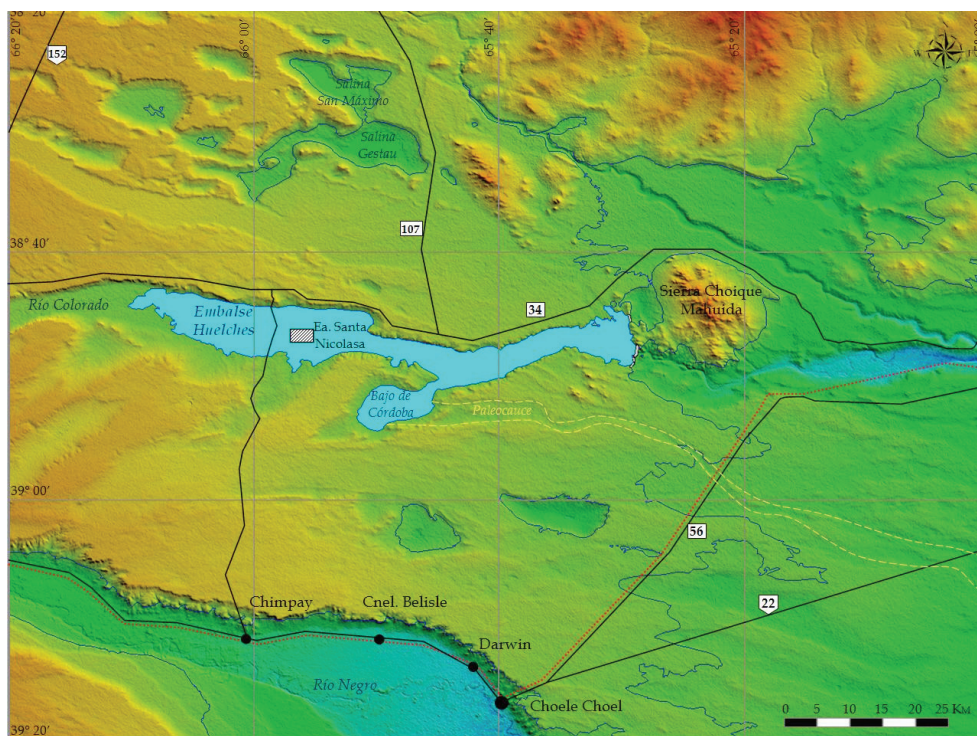


Figura 5. Modelo de elevación digital del terreno, correspondiente al embalse o vaso del Aprovechamiento Huelches, Celli A. 2011.

Sismicidad y riesgo sísmico de la comarca

Fuentes de información

Los datos de Sismicidad con que se dispone son a escala nacional por lo que sería necesario considerar estudios de mayor detalle en etapas sucesivas.

El registro de intensidades sísmicas ocurridas en la República Argentina (INPreS, 1996b), acusa para el área bajo estudio, en una zonificación que va de una intensidad máxima de IX y una mínima de III. Para la zona de estudio el registro acusa una intensidad de IV en la escala de Mercalli Modificada. Esto implica según el INPreS (1996c), sobre la base de INPreS (1991) para el sector asociado al proyecto (Zona 0), una aceleración máxima del terreno de 0,04 g. Siguiendo con la misma fuente, la aceleración máxima del terreno, con el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años es menor 0,1 gals aproximadamente.

Relación intensidad aceleración sísmica

Para la zona bajo estudio, se ha estimado en forma expeditiva la relación intensidad - aceleración, a partir de la comparación entre el registro de la máxima intensidad sísmica (INPreS, 1996b) y la máxima aceleración del terreno (INPreS, 1996c), para los diferentes valores de los coeficientes α y β (α y β son coeficientes que dependen de las propiedades del terreno, que pueden consultarse en diferentes bibliografías, Richter, 1958, Bolt 1989 y otros). En la tabla siguiente, se mencionan los principales.

Autor	α	β	a (gals)
Trifunac y Brady (1975)	0,300	- 0,014	15,346
Bolt (1989)	0,313	0,340	39,084
Murphy y O'Brien (1977)	0,250	0,250	17,783
Richter (1958)	0,333	- 0,500	6,792
Saragoni et al. (1982)	0,345	- 0,222	14,388
Aguar Falconí et al. (2010)	0,363	0,236	48,753

Tabla. Estimación de aceleraciones para una Intensidad IV (Mercalle Modificada)

Tomando como base la ecuación $\log a = \alpha I + \beta$, la relación que mejor se ajusta a la zona estudiada es la de Bolt (1989), ya que arroja un valor de, para una intensidad de IV en la escala Mercalli Modificada, una aceleración del terreno de 0,0398 g; un valor estrechamente cercano a los 0,04 gals registrados por INPreS (1996c).

En un análisis probabilístico la probabilidad de ocurrencia de un evento de determinada intensidad (p), con a un período de retorno (T), durante la vida útil de la estructura (t), está determinada por la ecuación $p =$

$1 - (1 - 1/T)^t$, González de Vallejo et al. (2002). Si la vida útil para una presa de embalse es del orden de 100 a 150 años y se analizan los valores proporcionados por INPreS (1996d), se puede establecer que para la aceleración de 100 gals, se corresponde una intensidad de 5,3 en la escala Mercalli Modificada.

Respuesta Sísmica en el Emplazamiento

De acuerdo con el tipo de material presente en el área, se puede establecer como “suelo dinámicamente estable, tipo 1-a”, es decir, “rocas firmes y formaciones similares.” Este tipo de terrenos, según INPreS (1991), presenta una velocidad de propagación de las ondas de corte mayor a 700 m/s y una tensión admisible mayor a 2 MN/m².

Por otra parte, no se esperan en este tipo de terrenos con delgado espesor sedimentario y nivel freático profundo, problemas asociados a licuefacción de suelos. Tampoco son esperables fallas superficiales, ya que no se han reconocido fallas activas en la región.

Yacimientos

Los sitios de posible aprovisionamiento de materiales para una presa de hormigón han sido divididos en dos grupos:

- Canteras de piedra para trituración
- Yacimientos de gravas y arenas

En el caso de una presa de grava compactada a rodillo son válidos los estudios que hasta el presente se cuenta para gravas.

Canteras de piedra para trituración (hormigones)

Los lugares de cantera se sitúan a ambos márgenes del Río Colorado y a unos 150 metros aguas debajo de la presa en la 2a Solución y al Este de la falla tantas veces mencionada. La selección de este sitio se debió a que la alteración superficial es menor que hacia aguas arriba y al Oeste de la falla. Los cerros se encuentran cubiertos por vegetación por lo que fue necesario realizar destapes o pozos de exploración “con la finalidad de determinar la profundidad a que se encuentra la roca apta y conocer la tapada que deberá desecharse”.

El volumen total de piedra utilizable es del orden de 1.100.000 m³.

* Estudio en laboratorio de material de cantera (piedra partida) como áridos para el hormigón.

Dado que las zonas de aprovisionamiento de arenas y gravas para áridos para hormigones se encuentran a unos 25 km del lugar de enclave de las obras anteproyectadas, fue de especial interés el estudio de la

porción fina del producto de trituración de las rocas existentes en el lugar.

Para la realización de los ensayos de laboratorio se contó con las siguientes muestras de las locaciones situadas más arriba.

Muestra I: 2.500 Kg. de pórfido pardo rojizo y gris, sana, compacta y de apreciable dureza.

Muestra II: 2.500 Kg. de pórfido cuarcífero rojizo, sana, compacta y de apreciable dureza.

Una descripción²¹ meso y microscópica general de estos pórfidos, es la siguiente: *“pórfido rosado de textura porfídica con fenocristales de cuarzo, ortosa y oligoclasa. Los fenocristales de cuarzo son subhedrales por corrosión; los feldespatos euhedrales, subhedrales y anhedrales se encuentran caolinizados. La biotita se encuentra muy desferrizada y cloritizada. La pasta está constituida por una mesostasis de cuarzo y feldespatos (a veces en forma de microlitas) y pequeñas masas de cuarzo de límites confusos y sinuosos que dan a la textura una cierta semejanza con las pegmatitas. La epidotización es bastante marcada”*.

Estas muestras han sido fragmentadas mediante una trituradora a mandíbulas con un tamaño máximo de 38,1 mm. Los estudios consistieron en:

- Estudio físico de la fracción grava (> 4,76 mm).
- Estudio físico y químico de la fracción arena contenida en la piedra triturada.
- Establecimiento de los dopajes más apropiados según los materiales disponibles.
- Posibilidad de reducir el contenido de cemento en los hormigones, utilizando la *“fracción más fina”*, contenida en las arenas de trituración.

* Fracción grava

Las muestras I y II produjeron por trituración 50 % y 65 % respectivamente de materiales retenidos por el tamiz N° 4 de la Serie Standard (4,76 mm de abertura de malla cuadrada).

La trituración produjo elementos duros y compactos, sanos de forma angulosa y superficie irregular. Algunos elementos son planares y de superficie lisa. En todos los casos se apreció un exceso de tamaños menores debido a que la trituración se realizó con mandíbulas cerradas. En obra esta situación puede mejorar sustancialmente utilizando un equipo de trituración más adecuado que asegure suficiente cantidad de material de todas las granulometrías necesarias.

²¹Descripción contenida en: González E. M. Informe geológico preliminar sobre el proyecto de Embalse en Huelches, Río Colorado. Dirección General de Minería, Buenos Aires 1942. (Inédito).

En la tabla se comparan las características principales de las gravas ensayadas.

Ensayo	Muestra I	Muestra II	Norma IRAM
Granulometría			
152,40 mm - 76,20 mm	---	---	
76,20 mm - 38,10 mm	9,60 %	---	
38,10 mm - 19,05 mm	12,00 %	11,40 %	45 %
19,05 mm - 09,52 mm	37,00 %	49,70 %	31 %
09,52 mm - 04,76 mm	41,40 %	38,90 %	24 %
Peso específico	2,64 t/ m ³	3,05 t/ m ³	
Absorción (muestra seca)	3,80 %	5,90 %	
Ataque al Sulfato	9,50 %	10 %	< 15 %

Conclusión: la fracción grava obtenida, es un material apto para ser utilizado como árido en la elaboración de hormigones.

* Fracción arena

Es la fracción que pasa la malla 4 de la Serie Standard de tamices. La trituración de las rocas ensayadas produce arenas de granos irregulares, compactos, de formas angulosas y aristas agudas, con alto contenido de material muy fino. Las dos curvas granulométricas son semejantes entre sí, presentando defecto de granos entre las mallas 16 y 30, manteniéndose los módulos de fineza dentro de los límites aceptados. La producción de arena por trituración es de 50 % y 35% respectivamente para las muestras I y II. Las características principales de las arenas ensayadas se comparan como resumen en el cuadro siguiente.

Ensayo		Muestra I	Muestra II	Norma IRAM
Granulometría				
Malla N° 4		---	---	0 – 5
Malla N° 8		24,00 %	23,40 %	10 – 20
Malla N° 16		50,90 %	48,60 %	20 – 40
Malla N° 32		59,40%	59,00 %	40 – 70
Malla N° 50		79,50 %	79,20 %	70 – 88
Malla N° 100		88,20 %	91,40 %	92 - 98
Peso específico real		2,68 t/ m ³	3,01 t/ m ³	
Modulo de fineza		3,02	3,01	2,32 – 3,21
Porcentaje de vacíos		37, 2 %	33,3 %	
Análisis químico	Sustancias orgánicas(Abrams Harder)	A	A	
	Sulfatos Sulfuros Carbonatos Hierro	No contiene No contiene Escasa cantidad Escasa cantidad	No contiene Contiene Escasa cantidad Contiene	
	Sustancias lavables (arcilla, limo)	6,50 %	5,0 %	

El estudio detallado al microscopio de los distintos tamaños que constituyen las arenas obtenidas por trituración no acusa diferencias entre sí.

Yacimientos de materiales granulares (grava y arena)

* Gravav

Los reconocimientos efectuados por la primera AyEE (1948) en las cercanías de los cierres, no arrojaron resultados positivos en cuanto a la presencia de depósitos aluvionales de gravas, hallando solamente finas lentes a lo largo de las barrancas del Río Colorado. Esta situación llevó a Borrazás (1948) a investigar las planicies que se extienden hacia el Sur, procurando hallar yacimientos de mayor consideración. Las inspecciones llevadas a cabo tampoco dieron resultado.

Las investigaciones se centraron entonces en un yacimiento de grava situada 19 km al SO de la estación Fortín Uno del Ferrocarril del Sud, y a unos 22 km al SE de la zona de obras.

Las observaciones en las labores existentes dieron como resultado que el manto de grava tenía 6 metros de profundidad y que “la disposición en el terreno permite suponer una continuidad hasta niveles inferiores”. Los rodados de diversos orígenes, tienen diámetros variables de entre 1 y 7 cm. El perfil de la Tabla siguiente resume las características del yacimiento.

Profundidad (m)	Materiales
0,50 – 0,80	Loess, arcilla y arena arcillosa con yeso.
0,80 – 1,00	Conglomerado cementado con carbonato muy compacto y arenisca poco coherente.
1,00 – 1,50	Gravas con pátinas de Ca CO ₃ .
1,50 – 6,00	Gravas con limos y arenas sueltas.

Tabla. Perfil del yacimiento de gravas y arenas en el km 935 del Ferrocarril del Sud.

Observaciones realizadas en otros siete pozos de estudio complementarios, revelaron que hacia el Sur existían características y potencia semejantes a este yacimiento. Los volúmenes indicaban aproximadamente 600.000 m³ de grava.

* Arenas

El aprovisionamiento de arenas podría producirse de tres tipos de fuentes:

Arena de médanos: se caracteriza por su grano muy fino. Constituyen promontorios desprovistos de vegetación de 3 a 4 metros de altura. Se destacan los existentes a unos 15 a 20 km al Oeste, ya en el área del vaso.

Arena de la Formación Río Negro: fue relevada en los pozos de estudio de los cierres laterales al sur (LS1-1°, LS1-2° y LS2). Son lentes delgadas que acusan un importante contenido de material volcánico y yeso. En profundidad son areniscas de escasa cementación.

Arena de las márgenes del Río Colorado: constituyen delgados horizontes de 30 a 40 cm de espesor, de tamaño algo más grueso que las anteriores; poseen concreciones calcáreo-arcillosas que perjudican su calidad.

Las características expuestas anteriormente, llevaron a Borrazás (1948) a concluir que *“las arenas existentes en los alrededores del cierre, hasta una distancia de unos 20 km al naciente y poniente [...] no coinciden con las cualidades que para estos materiales nos han sido reclamadas.”*

* Estudios en laboratorio de gravas y arenas

Se ensayaron en el Laboratorio del Dique Los Molinos (1949) en la Provincia de Córdoba muestras de gravas y arenas del yacimiento Km 953 Ferrocarril del Sud, como áridos para el hormigón, arrojando los siguientes resultados:

Muestra III: constituida por 2,1 toneladas que contiene 80% de rodados (grava) con tamaño máximo de 152,4 mm, de buena dureza y clastos sanos esféricos o alargados, con un 20% de arena de color oscuro y sucia. En

el siguiente cuadro se presentan sus principales características de las gravas ensayadas, que por sus características fue considerada como apropiada para la elaboración de hormigones²².

Ensayo	Muestra III	Norma IRAM
Granulometría		
152,40 mm - 76,20 mm	7,80 %	
76,20 mm - 38,10 mm	16,20 %	
38,10 mm - 19,05 mm	29,30 %	45 %
19,05 mm - 09,52 mm	27,50 %	31 %
09,52 mm - 04,76 mm	19,20 %	24 %
Peso específico	2,80 t/m ³	
Absorción (muestra seca)	1,30 %	

Las arenas de este yacimiento constituyen un 20% de la muestra. Son arenas oscuras, muy finas, de aspecto sucio, con las características de una arena de médano. Presentan alto contenido de materia orgánica (Abrams Harder, tipo D). Un 70% de material que pasa por el tamiz 30 y un modulo de fineza muy bajo (2,11). Las características de estas arenas²³ se exponen en el siguiente cuadro:

Ensayo	Muestra III	Norma IRAM	
Granulometría			
Malla N° 4	---		
Malla N° 8	18,00 %	0 - 5	
Malla N° 16	25,30 %	10 - 20	
Malla N° 32	29,50 %	20 - 40	
Malla N° 50	59,50 %	40 - 70	
Malla N° 100	90,10 %	70 - 88 92 - 98	
Peso específico real	2,72 t/ m ³		
Modulo de fineza	2,26	2,32 - 3,21	
Porcentaje de vacíos	33,3 %	38,50 %	
Análisis químico	Sustancias orgánicas (Abrams Harder)	A	B - C
	Sulfatos Sulfuros Carbonatos Hierro	No contiene Contiene Escasa cantidad Contiene	
	Sustancias lavables (arcilla, limo)	5,0 %	---

Las conclusiones sobre ensayos y determinaciones del informe producido por el laboratorio del Dique Los Molinos es que esta arena no puede ser usada en el amasado de hormigones sin previa mezcla con arenas más gruesas con el objeto de mejorar la curva granulométrica y elevar el módulo de fineza.

²²Laboratorio de Obras Los Molinos, 1949

²³Sobre la muestra lavada

Por un lavado cuidadoso esta arena mejora sus condiciones, disminuyendo el contenido de materia orgánica y elevándose el módulo de fineza hasta 2,26.

Conclusiones sobre las provisiones de materiales

Los materiales para construcción se evalúan para dos tipos de presas distintas.

* Presa y obras de hormigón

Las gravas pueden ser indistintamente utilizadas de las canteras de piedra partida, después de una trituración del yacimiento (préstamo), situado en el Km 935 del Sud (antigua denominación).

Las arenas obtenidas del último préstamo y de otros lugares (medanos, costa del Río Colorado) no son aptas para la fabricación de hormigones y deberían obtenerse por molienda de las canteras de pórfidos rojos cubicadas. No obstante estos materiales presentan dos condicionantes no bien evaluados hasta el presente: los aspectos ambientales derivados de la explotación de canteras en el paso Huelches y no ha sido estudiada la reacción álcali agregado de estos materiales.

* Presa de escollera

Existen en las cercanías lugares de extracción de piedra para la ejecución de una presa de escollera, ya que se estima que los materiales presentan características adecuadas para la construcción de las mismas.

No obstante ello deberían seleccionarse con mayor precisión los sitios de extracción y estudiar los geomateriales bajo los ensayos normalizados para estos tipos de obras. En especial: resistencia, alterabilidad, absorción de agua, cubicidad, etc.

* Presa de grava compactada

Ya se ha comentado en el inicio de este capítulo. Es importante hacer notar que no existe un estudio específico de materiales para este tipo de presa y es importante tener en cuenta lo expresado al comienzo de este capítulo en el sentido de *“en las cercanías de los cierres, no arrojaron resultados positivos en cuanto a la presencia de depósitos aluvionales de gravas...”*

Estudios Ambientales realizados

El objetivo de este trabajo es la verificación de los Estudios de Impacto Ambiental del área de interés mediante la utilización de los Estudios realizados, plasmados en la información previa disponible, con la valoración de los mismos, con el fin de evaluar las condiciones de las distintas obras que componen los Aprovechamientos Hidroeléctricos La Elena, La Caridad y Huelches.

Para la realización de este trabajo, se ha partido de estudios existentes, realizados para dichos proyectos.

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO LA CARIDAD

En la documentación a que se ha tenido acceso para la realización del presente trabajo, no se ha encontrado información sobre estudios de impacto ambiental para el proyecto La Caridad.

No obstante ello, en función de las características de este proyecto, es posible suponer que el mismo no tendrá un impacto negativo relevante sobre el medio, pudiéndose estimar que los efectos del proyecto serán similares a los que producirá La Elena.

Una característica importante de La Caridad es que se ha proyectado con un embalse de muy reducidas dimensiones, por lo cual la afectación de tierras por inundación es muy pequeña.

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO LA ELENA

Para el proyecto del Aprovechamiento Hidroeléctrico La Elena, se cuenta con dos diferentes desarrollos, realizado el primero de ellos por la Gerencia de Ingeniería y Planeamiento de Agua y Energía Eléctrica SE (AYE) en el año 1990, para el proyecto original de La Elena, que incluye el trabajo: Desarrollo Agropecuario y Forestal. Manejo y Conservación de Cuenca, publicado en 1992. El segundo de ellos, corresponde al proyecto de central en caverna, no desarrollado por AYE, del cual no se ha conseguido información suficiente que permita su análisis y evaluación.

La cuenca del Río Carrenleufú se desarrolla en la provincia del Chubut, sus nacientes se ubican en el límite con la República de Chile en el Lago Vintter y recibe del lado chileno el nombre de Lago Palena.

En territorio argentino, el Río describe inicialmente un recorrido hacia el norte, luego hacia el este, bordea las poblaciones argentinas de Corcovado y Carrenleufú y atraviesa la frontera para entrar en Chile y desaguar en el Océano Pacífico en el golfo de Corcovado. La superficie de la cuenca, hasta la frontera, es de 3.150 km², con un recorrido de aproximadamente 130 km y un desnivel de 711m.

La situación geográfica del Río CARRENLEUFÚ lo convierte en un recurso de jurisdicción binacional, por lo que su aprovechamiento está condicionado por la vigencia del tratado sobre medio ambiente y el protocolo específico adicional sobre recursos hídricos compartidos, firmado por Argentina y Chile el 2 de agosto de 1991.

La porción argentina de la cuenca se sitúa en el N.O. de la Provincia del Chubut en plena región cordillerana que en la latitud 44 S se encuentra cubierta por la formación boscosa conocida como "Selva Valdiviana".

El Río Carrenleufú escurre por un antiguo valle glaciario caracterizado por la existencia de estrechamientos o gargantas, donde se prevé el emplazamiento de las presas, y llanuras aluviales donde se radica la población y se desarrollan las actividades productivas más importantes.

Las condiciones climáticas imperantes en la cuenca determinan una precipitación media anual comprendida

entre 590 mm al sudeste y este -clima semiárido patagónico- y 1.750 mm al nornoroeste - clima templado húmedo andino-, en el área sujeta a las condiciones climáticas mencionadas en primer término, se produce déficit hídrico en verano.

Las aguas del Río CARRENLEUFÚ son de tipo bicarbonatadas cálcicas y no presentan contaminación orgánica. El transporte de sedimentos, tanto como carga de fondo y en suspensión, no es relevante.

El salmón del Pacífico y la trucha son las especies ícticas más importantes; utilizan el sistema fluvial del Río CARRENLEUFÚ y sus tributarios con fines tróficos y/o reproductivos. En la actualidad este recurso es poco aprovechado y solo constituye un atractivo para la pesca deportiva.

Las aguas del Río CARRENLEUFÚ se utilizan actualmente en forma poco diversificada. Al uso descrito anteriormente se suman el recreativo y el riego de pasturas naturales e implantadas, en el valle situado entre el A° Poncho Moro y la localidad de Corcovado. En este valle, y en el situado inmediatamente aguas abajo, se desarrolla la actividad ganadera bovina, que resulta significativa para la economía de la cuenca. La implantación en estos valles de especies forestales exóticas reviste singular grado de importancia.

La explotación de especies forestales nativas, ya sea como madera fina o leña, ha decaído en los últimos años, a pesar de ser este uno de los recursos naturales que permiten calificar a la cuenca con ventajas comparativas en este rubro, respecto de cuencas vecinas.

La mayor parte de la población se concentra en pequeños núcleos urbanos: Corcovado, CARRENLEUFÚ, Cerro Centinela y Palena (esta última situada en territorio chileno).

La economía del área y la fuente de subsistencia de la población, giran en torno a la producción agroforestal y al empleo público provincial, concentrado este último en las áreas de administración, salud, educación e inclusive en la producción industrial, como es el caso del aserradero provincial, situado en Corcovado.

La infraestructura, el equipamiento y los servicios son provistos casi en su totalidad por el Estado provincial, y municipal en su defecto.

Para poder evaluar el impacto que la obra tendrá en el medio y, consecuentemente, los efectos que el medio podría tener sobre la obra, se realizó un diagnóstico ambiental sobre los subsistemas involucrados.

Una vez conocido el funcionamiento del sistema e identificadas las principales variables que inciden sobre la dinámica del mismo, fue posible avanzar en la Evaluación del Impacto Ambiental.

La herramienta metodológica tomada como punto de referencia fue la matriz causa-efecto elaborada por la International Commission on Large Dams (ICOLD), aplicada por AYE en las evaluaciones de otros proyectos hidroeléctricos.

La matriz está conformada como una tabla de doble entrada, donde se representan sobre un eje los efectos sobre el ambiente económico, social, geofísico, hidrológico, climático y biológico, y sobre el otro eje (vertical), se detallan las características de la acción involucrada diferenciando el uso a que se destinará el agua, el tipo de acción, las áreas afectadas, las medidas correctivas propuestas y los aspectos institucionales-legales.

El impacto global de la obra se divide en una serie de impactos ambientales, permitiendo identificar cada factor y cada acción ejercida. Esta matriz está acompañada por comentarios escritos donde se explica y justifica la interpretación del usuario.

Con este análisis, se han determinado los impactos tanto positivos como negativos que tendrá el proyecto.

Entre los impactos positivos del embalse, cabe destacar la generación de energía eléctrica, la que contribuirá a disminuir la generación térmica, reduciendo así el consumo de combustibles. Durante la construcción de la obra, se producirá un impacto positivo sobre la industria y comercios proveedores de insumos y materiales, aumento de la oferta laboral con mayor demanda de mano de obra. Construida la presa, se generará la posibilidad de desarrollar un polo turístico, se mejorarán las vías de comunicación locales. Asimismo, la presa contribuirá a mejorar las condiciones de regulación del río, permitiendo controlar eventuales crecidas del mismo.

Un impacto negativo importante lo constituye la desactivación de un tramo del Río (13,6 km), ya que la central se propone realizarla a distancia, a unos 7 km del embalse, lo que ocasionará un fuerte impacto sobre las comunidades bióticas del río. Asimismo, para no impactar negativamente sobre condiciones ecológicas del valle inferior, es necesario el mantenimiento de un caudal ecológico, de manera que no se deba depender de los aportes de los tributarios hasta la confluencia con el Río Hielo.

La presa ejercerá un efecto negativo sobre los actuales desplazamientos de las poblaciones de peces, ya que cortará sus rutas migratorias, tanto reproductivas como tróficas.

Dado que el Río Carrenleufú desagua en el Océano Pacífico, en territorio chileno, el manejo del embalse durante la operación de la central, debe realizarse de manera tal de producir las menores oscilaciones posibles en su caudal, para minimizar los impactos ecológicos que producirían sus fluctuaciones.

Dentro de estos análisis realizados por AYE, en el año 1992 se elaboró el trabajo: *Desarrollo Agropecuario y Forestal. Manejo y Conservación de Cuenca*, vinculado con el área que sería afectada por el Cierre La Elena. El objetivo de este trabajo, era en primera instancia, el de demostrar, a nivel Inventario, las posibilidades técnicas y económicas de desarrollar un proyecto de producción agropecuaria a partir de los beneficios generados por el Proyecto Hidroeléctrico La Elena.

Con ese objetivo, se realizó un Inventario y Evaluación de Tierras del área afectada, se realizaron Estudios Agroclimáticos, se analizaron Aspectos Agroeconómicos (actividad agrícola, riego, ganadería, etc.), se plantearon Alternativas Productivas, teniendo en cuenta el uso integrado del valle y montaña practicado por los

pobladores de Corcovado y se analizaron distintas alternativas de derivación de agua para riego, como así también se analizaron las condiciones de drenaje del lugar. Los análisis económicos del proyecto productivo, concluyeron que el mismo tenía resultados aceptables para un proyecto agropecuario-forestal.

Como resultado de los estudios ambientales desarrollados por AYE, se obtuvo:

- Plan de Manejo y Conservación de Cuencas.
- Formulación de un proyecto de producción agropecuario y forestal bajo riego.

Definición de criterios para determinación de caudales mínimos a erogar durante la operación del embalse y durante el llenado del embalse.

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO HUELCHES

En el caso específico del Proyecto Huelches, el Río Colorado es un recurso hídrico de aprovechamiento múltiple, compartido, siendo utilizado actualmente en forma parcial con aprovechamientos localizados con fines de riego, regulación y uso energético por las provincias ribereñas.

En la Conferencia del Río Colorado llevada a cabo en Santa Rosa, La Pampa, en agosto de 1956, las provincias ribereñas Buenos Aires, La Pampa, Mendoza, Neuquén y Río Negro, declararon: "Que es de su derecho exclusivo reglar el uso de las aguas del Río Colorado, mediante pactos interprovinciales entre todas ellas". El 4 de diciembre de 1969, en la V Conferencia, se tomó la decisión de formular un programa único para toda la cuenca, solicitándose al Poder Ejecutivo Nacional que la Secretaría de Recursos Hídricos realizara los estudios necesarios a tal fin.

Concretados los trabajos pertinentes con la activa participación de las cinco Provincias ribereñas y utilizando los servicios del Instituto Tecnológico de Massachusetts, se elaboró un modelo que permitió la selección del programa que hoy orienta el desarrollo de toda la cuenca, conforme a lo acordado en la VI Conferencia de Gobernadores.

Con posterioridad, en el año 2009, se realizó un nuevo estudio con el objetivo de identificar y cuantificar los posibles aprovechamientos energéticos, vinculados a otros usos del recurso, y a la caracterización de la línea de base ambiental y la identificación de posibles impactos que resulten de las obras propuestas. En este estudio se plantearon varias alternativas de utilización del tramo del Río mediante la construcción de diferentes cierres, seleccionándose la que resultó técnica, económica y ambientalmente más viable.

En este trabajo se ha analizado uno de los cierres de la propuesta seleccionada en el estudio del año 2009, el que se describe pormenorizadamente en este informe.

El principal objetivo de este trabajo fue evaluar las condiciones ambientales actuales en el área del estudio y la zona de influencia, identificar los impactos que el desarrollo del proyecto puede ocasionar sobre su en-

torno y plantear acciones para minimizar toda afectación que se pudiera dar en el ambiente.

Abarca los aspectos biofísicos, socioeconómicos y culturales y prevé cuáles podrían ser más sensibles a la acción antrópica.

Se procesó la información de base ambiental con la proveniente de las intervenciones a llevarse a cabo para la construcción, operación y abandono del proyecto, interrelacionándolas específicamente en el Estudio de impacto ambiental.

De esta forma, se identificaron y evaluaron los impactos potenciales, elaborando las medidas y recomendaciones adecuadas para mitigar los mismos, las cuales permitirán conformar el Plan de Gestión Ambiental definitivo y el Plan de Monitoreo Ambiental del proyecto.

De acuerdo a los resultados obtenidos y al análisis de los mismos, se concluye que el proyecto, en general, producirá impactos potenciales de baja a moderada magnitud.

Los componentes del sistema natural que resultan más afectados varían según la fase del proyecto.

En la fase de construcción el factor más afectado es el suelo, debido principalmente a las acciones de explotación de canteras y a la limpieza del vaso de la presa, estas acciones modificarán la capacidad agraria y la erosión eólica. Otras acciones de importancia que afectarán al suelo son la derivación de aguas y ataguías, la construcción de caminos y el movimiento de materiales y equipos.

El segundo factor de mayor afectación es la fauna, el tránsito de equipos y vehículos que amedrentarán la fauna, habrá destrucción de hábitat en las zonas del vaso del embalse y de explotación de canteras.

En general, para esta fase la consideración más significativa que se ha tenido en cuenta en relación al factor humano, es la creación de puestos de trabajo en un sector de baja densidad de población por lo que se producirá una antropización del medio por parte de la actividad al intervenir en un área de explotación ganadera extensiva.

Desde el punto de vista de las unidades paisajísticas producirá cambios significativos, la presencia de equipos, campamentos, acopios de materiales, construcciones, etc. Generará impactos de baja a mediana magnitud, pero la mayoría de las acciones tendrán impacto sobre este factor.

La vegetación también es un factor afectado, si bien no por todas las acciones de la obra, pero si por la acción que es la limpieza del Vaso; este impacto visto de forma individual (Acción-Factor) es el mayor de toda la obra.

En la fase de operación, la acción más significativa es el embalsamiento que afectará principalmente al fac-

tor agua de la manera descrita en el punto (5.3.2.1 *Embalsamiento del Agua*). Se destaca que el agua proveniente de Casa de Piedra que ingrese al embalse contiene un caudal sólido despreciable, en relación al que tenía originalmente, por lo que la afectación de la calidad estará dada por la evaporación que incrementará la conductividad (el contenido de sales). La posibilidad mínima que existiera de filtración hacia la cuenca del Curacó podría perjudicar la calidad, incrementando el tenor salino del Río Colorado, aguas debajo de la desembocadura del Curacó en el Colorado. Otros efectos menores en relación a los expuestos, serían la estratificación de la columna líquida, la elevación de la temperatura y la pérdida de OD; debe tenerse en cuenta que el embalse es de baja profundidad para considerar efectos mayores.

La infraestructura producirá una fragmentación del hábitat (fauna íctica); en principio se puede decir que constituirá una barrera para las especies migratorias, pero dicho impacto ya está realizado por la presa Salto Andersen primero y por Casa de Piedra en segundo término, y debido a ello este impacto debe ser considerado como mínimo.

Las acciones inducidas estarán dadas principalmente por actividad agrícola, aguas debajo de la presa con agua disponible para riego y actividad recreativa en la costa del embalse, por lo que se prevé un cambio en el uso del suelo.

El efecto de la regulación del río estará relacionado directamente con las pautas de operación del embalse. Si se asumen las mismas reglas de variación de caudales en el tiempo que las adoptadas por Casa de Piedra, este impacto será mínimo debido a que no se cambiará el régimen actual del río aguas debajo de la presa.

CONCLUSIONES

Del análisis de los estudios ambientales realizados para los proyectos que se han revisado, en principio puede concluirse que los mismos presentan impactos positivos y negativos sobre el ambiente. No obstante, surge la necesidad de actualizar los mismos, en particular los proyectos sobre el Río Carrenleufú, dado el tiempo transcurrido desde la realización de los mismos.

Debería realizarse una nueva evaluación del uso de la tierra, cuya ocupación puede ser diferente con referencia al momento de realizarse los estudios mencionados. Asimismo, las nuevas técnicas productivas y tecnológicas aconsejan revisar los proyectos de desarrollo forestal y agropecuario que se desarrollaron en su momento.

De igual manera, es posible que el Medio Socio-económico del área sea diferente del existente en los momentos en que se desarrollaron los estudios, por lo cual es posible que las demandas de ocupación territorial y de uso del recurso suelo y agua pudieran no coincidir con las demandas actuales.

Definición del Proyecto de Obra disponible

La Caridad

Como resultado de los estudios de optimización de los aprovechamientos en cascada sobre el Carrenleufú, y en un ambiente muy restringido desde el punto de vista de los afloramientos rocosos, se seleccionó para el emplazamiento del Aprovechamiento La Caridad, el sitio conocido como Segunda Angostura (km 54,1).

Dado que entre Jaramillo y La Caridad, el Río Carrenleufú no recibe afluentes, se considera el mismo caudal módulo: $Q = 34 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para una evaluación técnico-económica se adoptaron tres diseños: presa de arco gravedad con vertedero en el centro del coronamiento, presa central vertedora de gravedad con planta recta combinada con arcos laterales de simple curvatura y presa de gravedad de planta curva. Esto es así dado que en función de los estudios geológico-geotécnicos se determinó la inconveniencia de un cierre mediante una presa de arco de doble curvatura. Como resultado de la evaluación técnico- económica, surgió la decisión de desarrollar la primera alternativa. Los niveles de embalse considerados fueron 850 y 860 IGN.

La ubicación completa del vertedero libre dentro de la garganta por inconveniencia topográfica de su posicionamiento en laderas adyacentes y la limitación geológica en cuanto a disipación de energía hidráulica a pie de obra con riesgo en su fundación, inducen a su vez la elección del tipo de presa. En efecto, la presa arco- gravedad da respuesta a estos condicionantes, ya que en su coronamiento se puede desarrollar un perfil aliviador y en su parte inferior un trampolín capaz de eyectar a distancia el flujo de descarga al valle fluvial.

El vertedero tiene una longitud neta de 56m, dividido en 4 vanos de 14m cada uno. El gasto específico máximo en cresta para la crecida de diseño ($Q_{\text{pico}} = 767 \text{ m}^3/\text{s}$) es de $13,7 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

Se adoptaron dos descargadores de fondo de 1,6m de diámetro interno, que se posicionan en el cuerpo de la presa en correspondencia con el cauce del río. El caudal máximo de erogación de cada conducto es de $47,7 \text{ m}^3/\text{s}$ para el nivel Máximo Extraordinario de Embalse (753,5 IGN). La longitud de los descargadores es de 52.3m.

El esquema de obras de generación propuesto para este cierre presenta una toma, un sistema de conducción a presión y una casa de máquinas a distancia (progresiva 57,5), cuyos niveles de restitución se compatibilizan con los del embalse inferior La Elena. Se desarrollaron alternativas de equipamiento de la central para caudales de generación de $44 \text{ m}^3/\text{s}$, $68 \text{ m}^3/\text{s}$ y $92 \text{ m}^3/\text{s}$, según se trabaje en semi base, semipunta y punta respectivamente. Asimismo se han tenido en cuenta los distintos niveles i de restitución asociados a las posibles cotas de embalse normal del Aprovechamiento La Elena (730, 735, 740 y 745 IGN).

Para determinar la ubicación de la casa de máquinas se realizó un estudio técnico económico, donde se analizaron 5 configuraciones de obra. Resultó seleccionada la zona comprendida entre las cotas de pelo de agua actual (745 IGN Y 750 IGN) en la garganta La Caridad. Finalmente con la configuración adoptada se elaboraron diseños para los siguientes caudales a turbinar $Q= 44 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 68 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q= 92 \text{ m}^3/\text{s}$. Bajo estas condiciones se definió un túnel de 850m localizado íntegramente dentro del macizo rocoso, una conducción forzada blindada en acero de una longitud de 200m y una chimenea de equilibrio fundada en roca.

Este conjunto de obras, junto a la casa de máquinas y al canal de restitución fue optimizado teniendo en cuenta los niveles de embalse anteriormente mencionados.

La torre de toma se ubica sobre la margen izquierda del embalse a 40m del eje de cierre; su alimentación se realiza mediante un pequeño canal de aducción excavado en roca a cota 803,5 IGN. A continuación de la torre de toma, se desarrolla la conducción en túnel.

Se adoptó una chimenea de equilibrio simple, debido a la alta inercia en el sistema de conducción dada la excesiva extensión de tubería de presión (túnel). La chimenea se eleva a partir de la cota 755,6 IGN, con una tubería vertical de 5,2m de diámetro. A cota 792 IGN se levanta la chimenea propiamente dicha, como una torre exterior al macizo rocoso.

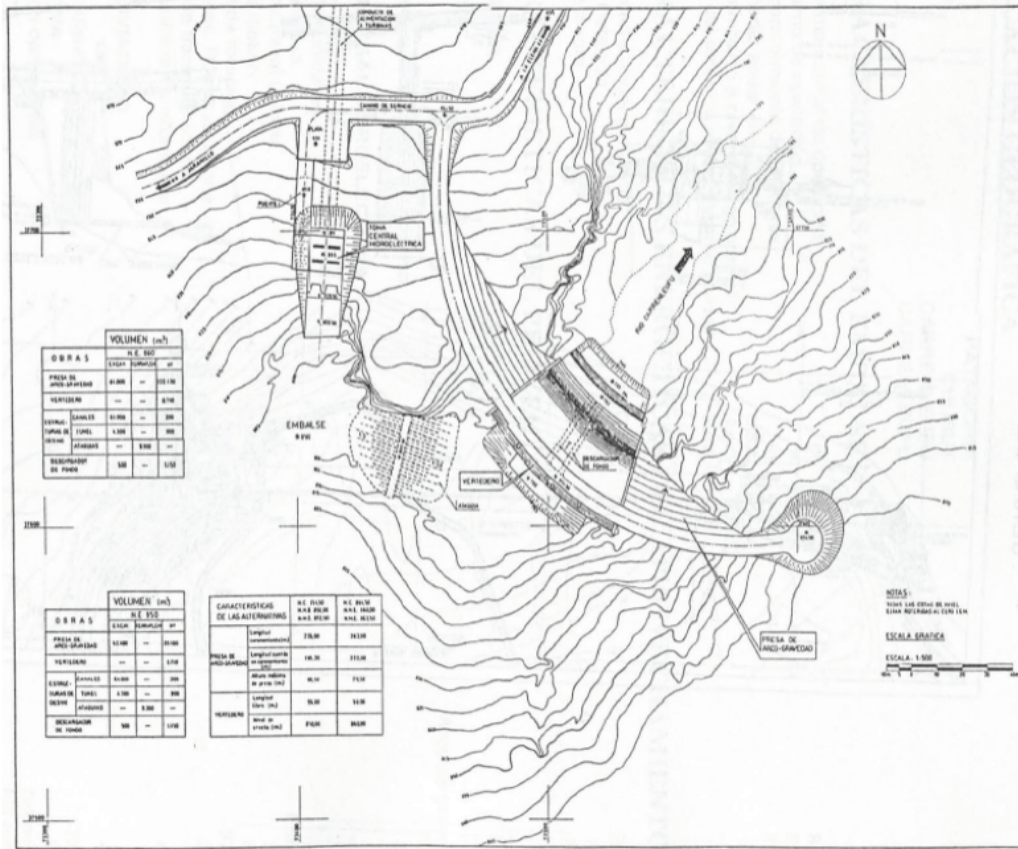
Las turbinas serán de tipo Francis, y los generadores, sincrónicos, trifásicos de eje vertical. La playa de maniobras se ubicó sobre la misma margen del Río en que se encuentra la casa de máquinas, a una cota superior a ésta. El equipamiento de maniobras a utilizar será de tipo convencional para instalaciones de intemperie.

Las obras provisionales para cierre están compuestas por ataguías de materiales sueltos y el túnel de desvío es de sección circular. Su longitud es de 175m, con una pendiente del 6%. Se desarrolla íntegramente en el macizo rocoso de margen izquierda y presenta un revestimiento de hormigón de 0.3m de espesor.

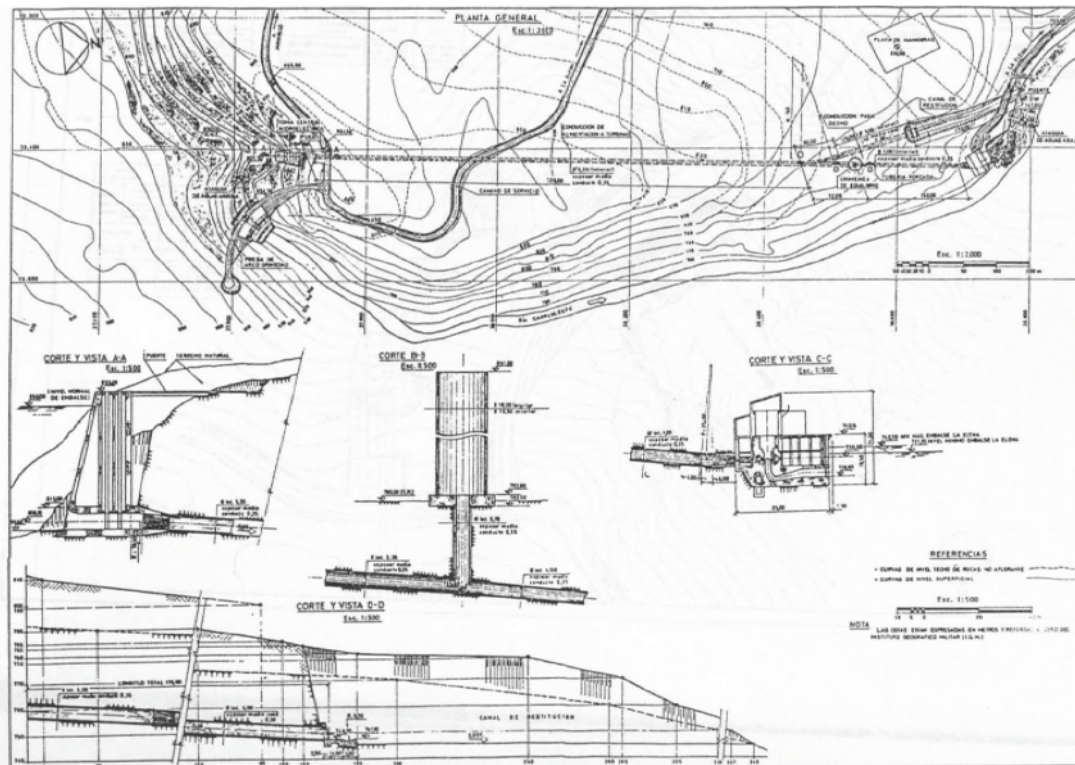
Se ha previsto la construcción de las obras en un plazo de 36 meses desde los trabajos preliminares hasta la puesta en generación de la última unidad generadora.

La zona de obras se conectará con los principales centros poblados de la región mediante la red de rutas y caminos existentes y utilizando los caminos de vinculación entre los Cierres La Elena - La Caridad y La Caridad-Jaramillo.

CIERRE LA CARIDAD- PLANTA



CIERRE LA CARIDAD DISPOSICIÓN GENERAL



CIERRE LA CARIDAD - FICHA TÉCNICA

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Región	PATAGONIA
Provincia	CHUBUT
Cuenca	CARRENLEUFÚ
Río	CARRENLEUFÚ

CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE

Nivel máximo normal de operación	m	850,0
Nivel mínimo de operación	m	820,0
Cota de coronamiento de las obras	m	854,5
Caudal medio anual	m ³ /s	34,0
Área del embalse a nivel máximo normal	km ²	0,75
Volumen del embalse a nivel máximo normal	Hm ³	10,0

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL APROVECHAMIENTO

Energía media anual generada	GWh/a	257,0
Potencia instalada	MW	42,0
Factor de planta		0,73

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

PRESA

Tipo		Arco de gravedad
Longitud	m	226,0
Altura máxima sobre nivel de fundación	m	69,5

CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Cantidad de unidades		2,0
Tipo de turbinas		Francis
Potencia nominal unitaria	MW	32,0
Caudal de diseño	m ³ /s	68,0
Velocidad de rotación	rpm	375,3
Generadores. Potencia unitaria	MVA	35,0
Cantidad de transformadores		2
Potencia unitaria transformador	MVA	40,0

ALIVIADERO

Caudal de diseño	m ³ /s	767,0
Longitud neta	m	56,0
Cantidad de compuertas		No posee
Ancho		No posee
Alto		No posee

CONDUCCIÓN FORZADA

Cantidad		1
Longitud	m	200,0
Diámetro conducto	m	8,0

VOLÚMENES DE OBRA

Excavaciones	m ³	170800
Macizos	m ³	9300
Hormigones	m ³	123563

NIVEL ESTUDIOS

Prefactibilidad

APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL RÍO CARRENLEUFÚ

CIERRE LA CARIDAD - PROVINCIA DEL CHUBUT

PRESUPUESTO DE LAS OBRAS

FECHA REFERENCIA: JUNIO/1994

PARIDAD: 1,00 \$ = 1,00 U\$S

P. INSTALADA: 42 MW

G.m ANUAL: 257 GWh

CUENTA	DESCRIPCION	MONTOS EN U\$S	INCIDENCIA
01	PRESA	23.998.623	31.84
02	OBRAS DE ALIVIO	2.856.163	3.79
03	OBRAS DE DESVIO	2.596.604	3.45
05	OBRAS DE GENERACION	21.582.095	28.64
06	TURB. Y GENERADORES	10.073.533	13.37
07	EQUIPAMIENTO	4.583.514	6.08
08	ACCESOS	4.473.673	5.94
09	AFECTIONES	7.010	0.01
10	SIST. DE TRASMISION	5.197.749	6.90

TOTAL	75.368.965	
IMPREVISTOS 15 %	11.305.345	
COSTOS TOTAL DIRECTO	86.674.310	
COSTOS INDIRECTOS	30.336.008	
PRECIO TOTAL DE LAS OBRAS	117.010.318	100.00

Otro antecedente de presupuesto es a diciembre de 1988, que tiene diferencias con el antes expuesto, probablemente por la forma en que han sido considerados los equipamientos, los costos indirectos y los imprevistos. Este presupuesto es el siguiente y tiene mejor correlación con el obtenido con la metodología RETScreen:

PRECIO EN DÓLARES

FECHA: DICIEMBRE DE 1988

1 U\$S = 16.54 A

1. PRESA	20427923
2. OBRAS DE ALIVIO	1662774
3. ATAGUIAS	123690
4 CONDUCTO DE DESVIO	1388249
5. OBRAS DE GENERACIÓN	23031376
6. ACCESOS	2625395
7. AFECTACIÓN POR EMBALSE Y OBRAS	4218
8.SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y COMUNIC	2500120
9. SUB TOTAL	51764045
10. IMPREVISTOS	7071673
11. COSTOS INDIRECTOS	20592501
12. COSTOS TOTAL	79428219

La Elena

Cierre La Elena

A escasa distancia aguas abajo de la confluencia del Río Carrenleufú con el Arroyo El Cuatro se entra en una estrecha garganta labrada en andesita masiva. Este sitio fue seleccionado para la ubicación del cierre La Elena en progresiva Km 73,3.

El Aprovechamiento del Río Carrenleufú en La Elena se realiza mediante la ejecución de un cierre frontal al Río y sus estructuras anexas compuestas por las obras de control y generación. El embalse se materializa a cota 740 IGM, con un Nivel Máximo Extraordinario de 743,5 IGM. El aprovechamiento está constituido por:

- Una presa de arco.
- Una presa lateral de materiales sueltos.
- Un aliviadero principal adyacente a la presa y un aliviadero auxiliar sobre la misma.
- Dos descargadores de fondo incorporados a la presa.
- Las obras de generación, compuestas por una toma en el embalse, una conducción en túnel; chimenea de equilibrio, tubería forzada y central hidroeléctrica externa.

El sistema de transmisión de energía en 132 Kv. parte de una playa de maniobras, situada frente a la central y con un desarrollo de 70 km alcanza la ET Futaleufú.

El desvío del Río se realiza mediante la ejecución de una obra en margen izquierda, que consta de un canal de acceso, toma, conducción en túnel y restitución al Río Carrenleufú. El túnel presenta una longitud de 105m.

El aliviadero principal se ubica adyacente a la presa de arco en la Margen Derecha. Es de tipo superficial y descarga libre, compuesto por un canal de acceso, un cuerpo vertedor con cota de cresta a 740 IGM, un cuenco de disipación y canal de restitución. La longitud total del vertedero es de 40m.

El vertedero auxiliar, incorporado a la presa de arco, es también superficial y de descarga libre. Su cota de cresta es 741,4 IGM Y su longitud 25,70m.

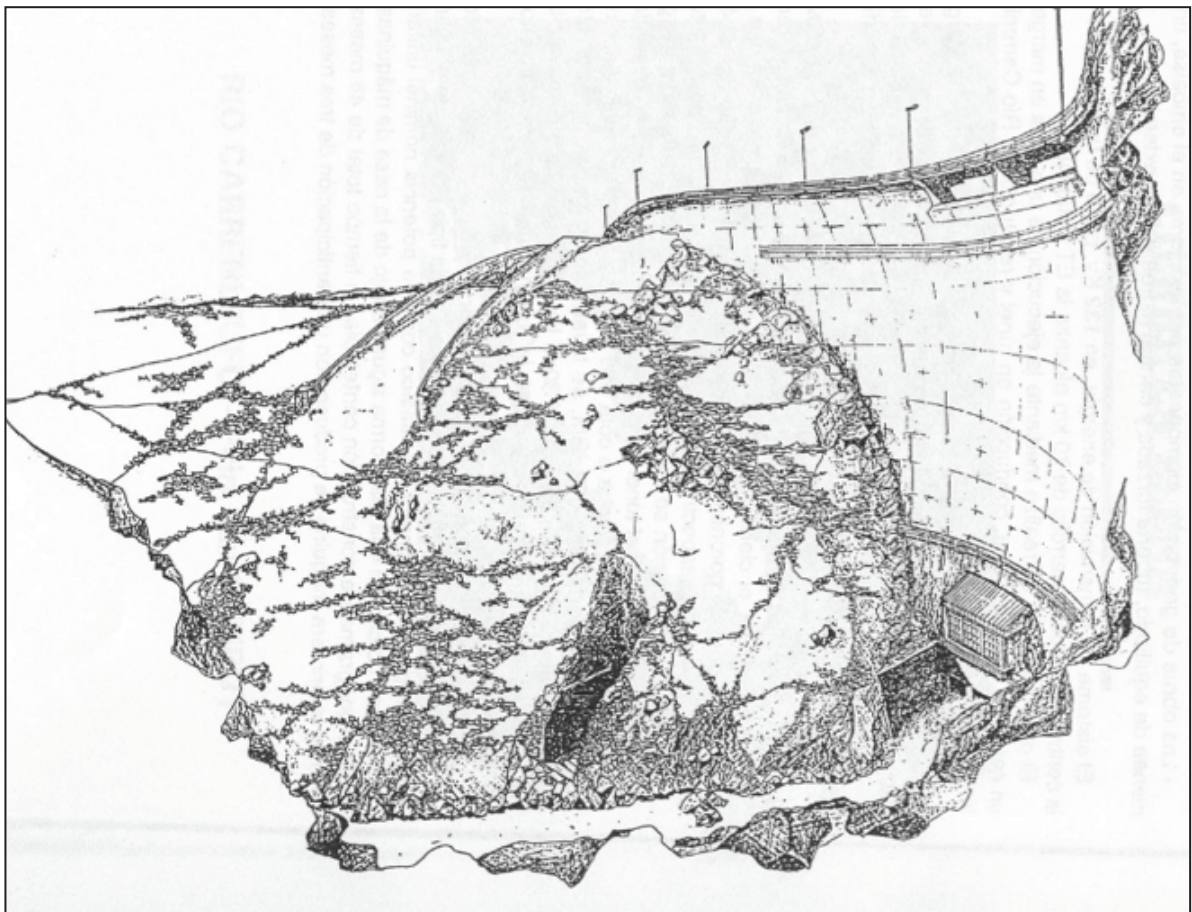
La presa de arco es de doble curvatura, coronamiento a cota 744,5 IGM, altura de 40m y longitud de 141m. El estribo de margen derecha permite vincular la presa con el Vertedero Principal.

Para completar el cierre frontal, en Margen Derecha se proyecta una presa lateral de materiales sueltos, con cota de coronamiento 745 IGM. Esta presa es de tipo homogénea con taludes 1:3 y 1:2,5 aguas arriba y abajo respectivamente. Su longitud es de 232m, con una altura máxima de 10m.

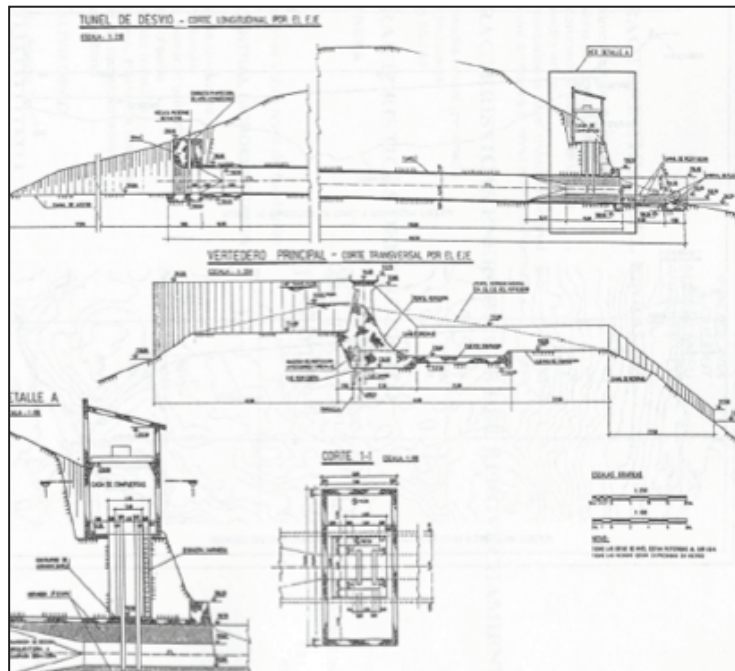
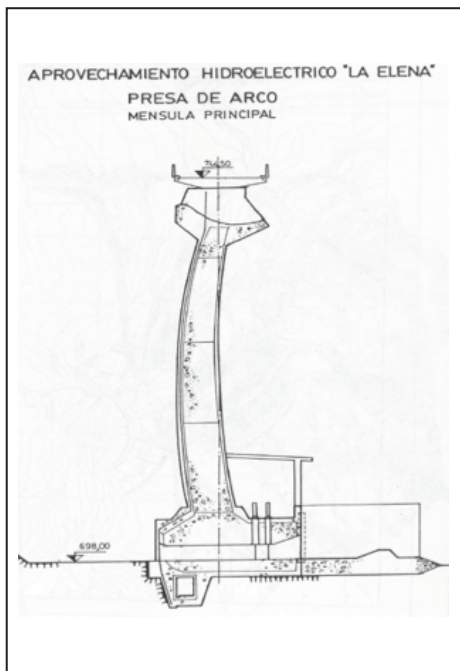
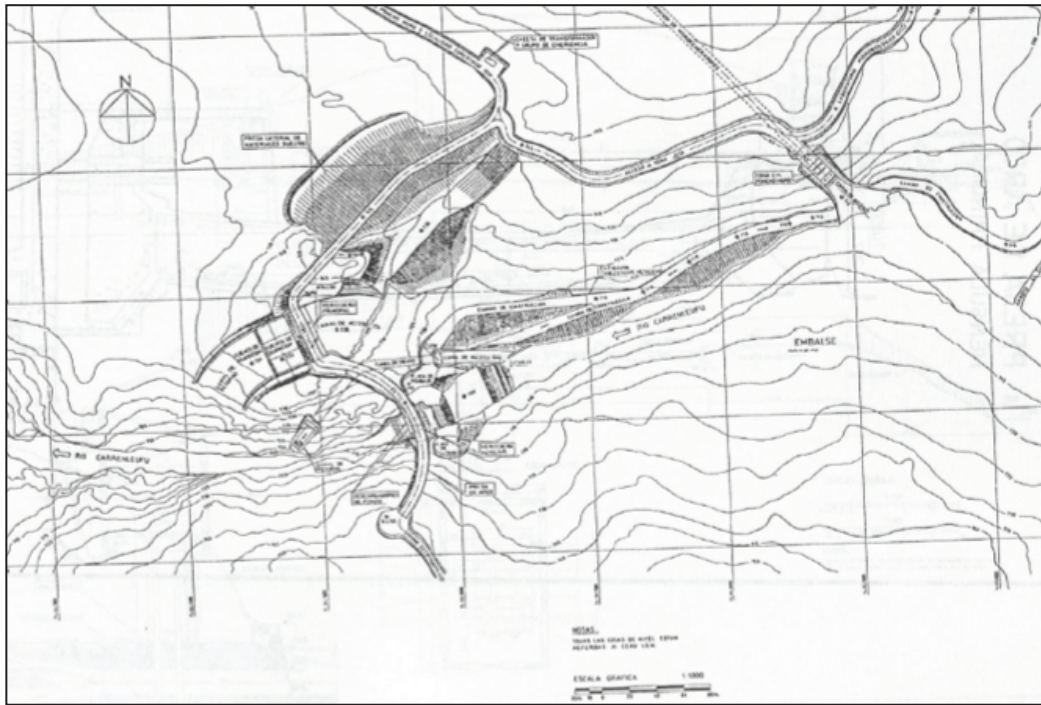
La obra de generación se inicia mediante una toma ubicada en la margen derecha del embalse. A continuación comienza el túnel de conducción en una longitud aproximada de 5.795m hasta la chimenea de equilibrio. Ésta arranca a cota 633 IGM, con un túnel vertical excavado en roca y revestido en hormigón. A partir de cota 692 IGM. se levanta la chimenea propiamente dicha, alcanzando la cota 753 IGM, con un diámetro interno de 30m. Hacia aguas abajo comienza la conducción forzada en túnel, de aproximadamente 80m, y luego la tubería forzada a cielo abierto, con un diámetro de 4m y 767m de longitud.

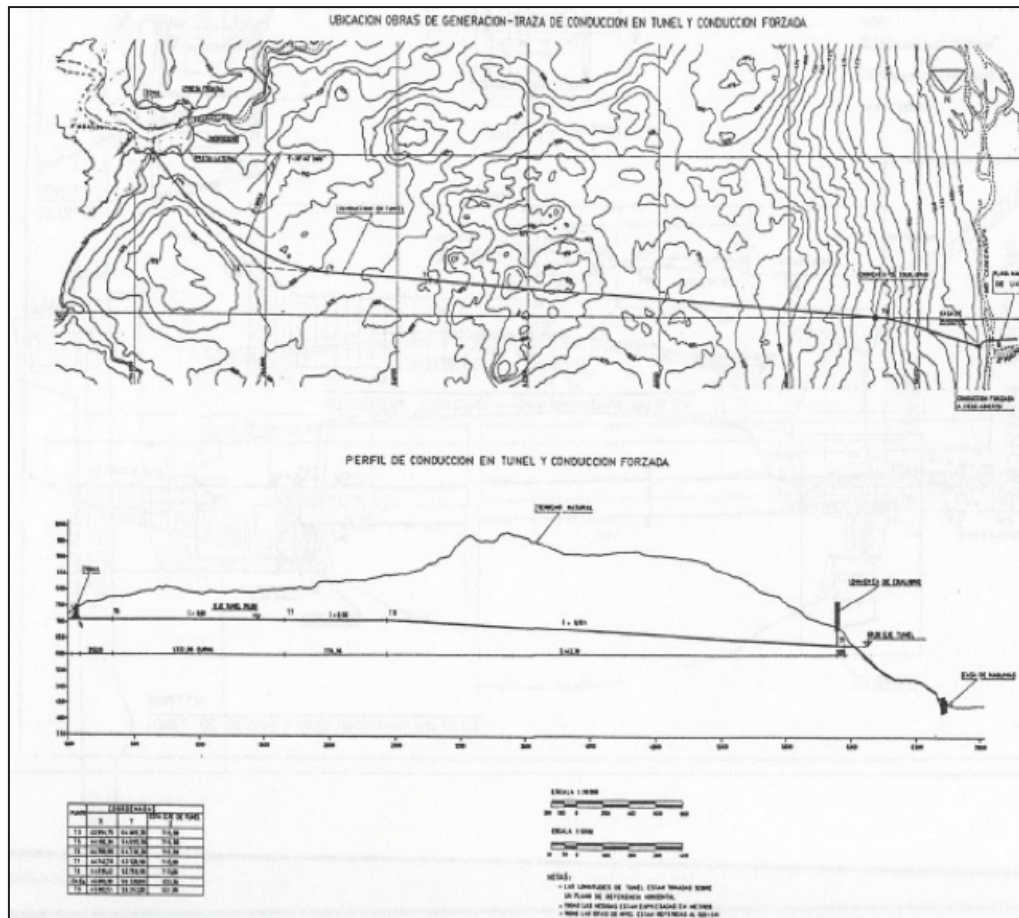
La central hidroeléctrica es un edificio externo y cubierto, que aloja dos grupos hidrogeneradores de 50 MW de potencia unitaria. Las turbinas son de tipo Francis, de eje vertical, cada una de ellas acoplada a un generador sincrónico trifásico con una potencia nominal unitaria de 59 MV A. Los transformadores se ubican en una plataforma aguas abajo de la casa de máquinas, a cota 468,8 IGM.

El cronograma de construcción contempla un tiempo total de 48 meses, el comienzo de la generación de la primera máquina se produce con una anticipación de tres meses.



La Elena, presa y vertedero, vista 3D





CIERRE LA ELENA - FICHA TÉCNICA

UBICACIÓN GEOGRAFICA

Región	PATAGONIA
Provincia	CHUBUT
Cuenca	CARRENLEUFÚ
Río	CARRENLEUFÚ

CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE

Nivel máximo normal de operación	m	740,0
Nivel mínimo de operación	m	727,0
Cota de coronamiento de las obras	m	744,5
Caudal medio anual	m ³ /s	34,0
Área del embalse a nivel máximo normal	km ²	17,0
Volumen del embalse a nivel máximo normal	Hm ³	227,0

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL APROVECHAMIENTO

Energía media anual generada	GWh/a	649.0
Potencia instalada	MW	100.0
Factor de planta		0,73

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

PRESA

Tipo		Arco doble curvatura
Longitud	m	141.0/232,0
Altura máxima sobre nivel de fundación	m	40/10

CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Cantidad de unidades		2,0
Tipo de turbinas		Francis
Potencia nominal unitaria	MW	50,0
Caudal de diseño	m ³ /s	68,0
Salto	m	272,0
Velocidad de rotación	rpm	500.0
Generadores. Potencia unitaria	MVA	59,0
Cantidad de transformadores		2
Potencia unitaria transformador	MVA	59,0

ALIVIADERO

Caudal de diseño	m ³ /s	509.3/154,9
Longitud neta	m	40.1/25.7

CONDUCCIÓN

Tipo		Túnel no revestido
Cantidad/ Longitud	Nº/m	1/5795.0
Sección bruta	m ²	43.0

CONDUCCIÓN FORZADA

Cantidad		1
Longitud	m	767,0
Diámetro conducto	m	13,0

VOLÚMENES DE OBRA

Excavaciones	m ³	699.360
Macizos	m ³	95.804
Hormigones	m ³	76.541

NIVEL ESTUDIOS **Proyecto Básico**

APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL RÍO CARRENLEUFÚ
CIERRE LA ELENA - PROVINCIA DEL CHUBUT

PRESUPUESTO DE LAS OBRAS

FECHA REFERENCIA: JUNIO/1994

PARIDAD: 1,00 \$ = 1,00 U\$S

P. INSTALADA: 100 MW

G.m ANUAL: 649 GWh

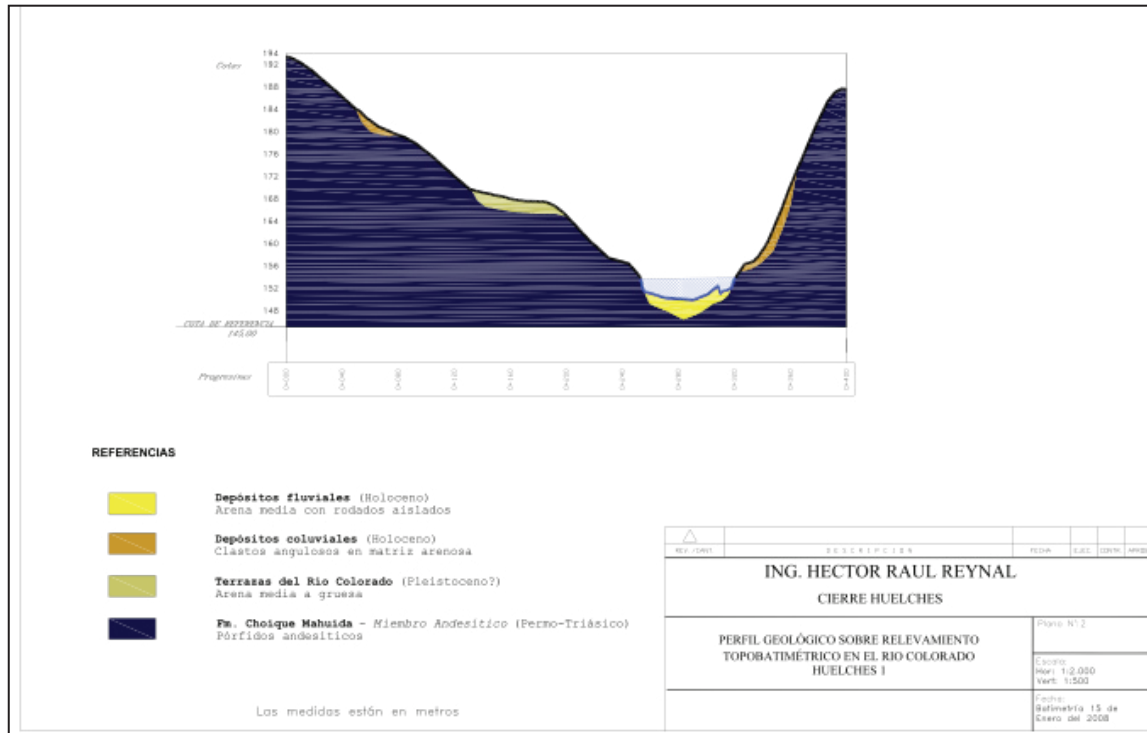
CUENTA	DESCRIPCIÓN	MONTOS EN U\$S	INCIDENCIA
01	PRESA	95.947.918	68.49
02	OBRAS DE ALIVIO	8.008.044	5.72
03	OBRAS DE DESVÍO	7.282.037	5.20
04	OBRAS DE GENERACIÓN	2.055.623	1.47
05	TURB. Y GENERADORES	4.064.240	2.90
06	EQUIPAMIENTO	1.241.716	0.89
07	ACCESOS	623.700	0.45
08	AFECCIONES	3.388.000	2.42
09	SIST. DE TRASMISIÓN	17.471.870	12.47

TOTAL	140.083.147	
IMPREVISTOS 15 %	21.012.472	
COSTOS TOTAL DIRECTO	161.095.619	
COSTOS INDIRECTOS	56.196.146	34.88
PRECIO TOTAL DE LAS OBRAS	217.291.695	100

Huelches

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO HUELCHES

Se describe a continuación el embalse, el cierre principal, los cierres secundarios del aprovechamiento Huelches, y sus obras componentes que se complementan con los planos que se adjuntan en el Anexo IV.



i) EMBALSE

a. Análisis de la información disponible

i. Topografía

Como resultado de los trabajos de campo realizados en topografía se llegó a la conclusión que la cartografía IGM en escala 1:100.000 disponible contiene un error en la ubicación planimétrica de las curvas de nivel, en especial en la parte alta del embalse donde es más importante el área afectada por el futuro embalse.

Para tratar de resolver este problema se recurrió a las curvas de nivel que pueden obtenerse a partir de los puntos relevados por el sistema SRTM, producido por la NASA utilizando los vuelos del transbordador, que tomados por otros software permiten la obtención de curvas de nivel y perfiles en los que se basa la información presentada.

El Proyecto de 1948 dispone de una curva de áreas y volúmenes probablemente basada en la cartografía IGM.

Se agregan los planos:

- Ubicación de pelos de agua y perfiles en Moravia y la Japonesa I.
- Planimetría IGM corregida por curvas SRTM.

b. Caracterización

El embalse se caracteriza, yendo desde el cierre hacia aguas arriba, por una primera parte desarrollada en un valle más estrecho que llegando a Moravia se amplía en su ancho en forma importante. Esto puede verse en la curva área volumen anexa.

Una segunda característica es que posee dos portezuelos prácticamente a la misma cota, 190 IGM, uno que lo separa del Bajo Córdoba, que es una cuenca cerrada cercana a Moravia y otro que es la divisoria de aguas entre el Río Colorado y el Río Curacó, al norte del cierre principal.

Una tercera característica es que, ubicados en una línea norte-sur en la zona del cierre principal, se encuentran una serie de escapes hacia aguas abajo y hacia el Curacó, conocidos en el Proyecto de 1948 como cierres laterales.

En el Proyecto de 1948 se los denominó Cierres Laterales Norte y Cierres Laterales Sur. Estos escapes condicionaban la cota máxima del embalse, en principio por encima de la cota 190m MOP.

II) CIERRE PRINCIPAL

En el proyecto de 1948 se estudiaron dos posibilidades de cierre llamados Solución 1 y Solución 2, que se pueden ver en planos adjuntos, optándose por la segunda solución debido a la existencia de una falla geológica que perjudicaba al cierre de la solución 1.

Sin embargo los estudios realizados en la presente etapa no encuentran una razón definitiva que desaconseje la Solución 1.

Es por ello que dado que la diferencia de volúmenes de presa es significativa y el informe geológico acepta la Solución 1 como posible, se adoptó la misma para este primer desarrollo. De todas maneras no será la diferencia de volúmenes un escollo para una solución u otra dado que los dos cierres son de bajo volumen de presa.

La roca de fundación tiene una calidad más que suficiente para fundar una presa de las alturas que

se están tratando, por lo tanto una presa CFRD o de HCR pueden perfectamente adaptarse para el cierre de la Solución 1 o cualquier otro tipo de presa es posible.

Finalmente se adoptó una presa de CFRD dados los menores costos que ella implica. En plano adjunto puede verse su perfil.

La variable a estudiar entonces es su altura en correspondencia con la cota de embalse adoptada. Para ello se adoptaron los criterios siguientes:

- 1) Según la cota de restitución del posible cierre Moravia: 173.74 msnm.
- 2) Según la cota menor del emprendimiento Santa Nicolasa: 180,00 msnm.
- 3) Luego variando de a dos metros: 182,00, 184.00, 186.00, y la
- 4) Cota máxima considerada posible 188.50 msnm. La cota de coronamiento se tomó en 192.50 msnm, en este caso, que es una variante del Proyecto 1948.

Hay dos consideraciones a tener en cuenta para limitar la cota máxima alcanzable: una de ellas es la divisoria de aguas con el Curacó y la otra es el aumento significativo del área inundada en la zona de Moravia con el consiguiente aumento de la evaporación.

III) CIERRES LATERALES

Las consideraciones sobre los cierres laterales tienen distinta significación según se trate:

- 1) Divisoria de aguas al Curacó: oscila alrededor de la cota 190 msnm y puede significar un terraplén muy importante no conocido exactamente. Aunque se hizo la topografía sobre la marcha y se completó con SRTM, no se conoce el afloramiento rocoso a que cota se encuentra. Completando con un cierre Norte 4, propuesto en el presente se puede alcanzar la cota 192.50 de coronamiento.
- 2) Los cierres Norte 2 y 3, y ahora 4, que si bien no tienen gran significación topográfica del terreno natural, exigen una pantalla hasta el afloramiento rocoso para evitar mayores pérdidas. El cierre Norte 1 en cambio no tiene significación como pantalla, pero sí la tiene como terraplén.
- 3) Los cierres laterales restantes que se encuentran en cercanías de la presa principal de la Solución 1 tienen la particularidad de tener la roca aflorante con volúmenes no muy importantes de las correspondientes obras. Son los cierres LN1, LN2 Y LN3. El cierre LN7 podría reemplazar a todos ellos pero su volumen es significativamente mayor. Para la Solución 2 estos cierres laterales no tienen validez.
- 4) Los cierres laterales Sud, 1 y 2 son necesarios para la Solución 1 y tienen cota de terreno favorable, en 185,00 aproximadamente, con cota de fundación en roca apta con profundidades máximas de 25m y media de 7m.

IV) DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS COMPONENTES PROPUESTAS

1) Presa principal

La zona del emplazamiento tiene la característica de disponer de material en cantidad suficiente para proyectar y construir tanto presas de hormigón como de materiales sueltos (enrocados).

Consecuentemente con esta posibilidad, en concordancia con el desarrollo actual, se ha planteado una variante de presa, denominada CFRD (Concrete Faced Rockfill Dams), siglas que identifican a las presas de materiales sueltos que tienen su impermeabilización en su cara mojada, constituida por una pantalla de hormigón con una mínima cuantía de acero.

Si bien esta solución es de antigua data, su aplicación masiva es reciente dado que para su construcción se han logrado progresos tecnológicos importantes en cuanto a la compactación de los materiales del cuerpo de la presa, con la consecuente disminución de asentamientos y deformaciones, y a la resolución del encuentro pantalla-fundación, que evita fisuraciones y permite su movimiento articulado.

Una característica clave es que se logra la estabilidad con taludes muchos mayores que las heterogéneas de materiales sueltos tradicionales, fundamentalmente por el material utilizado y porque el mismo se encuentra en condiciones no saturadas. Una consecuencia de esa particularidad es que el volumen y la longitud de los perfiles transversales son sensiblemente menores, con lo que se logra mayor libertad para la distribución de los distintos componentes de la obra.

En el lugar de cierre las condiciones de fundación, por lo conocido hasta el momento, son muy favorables debido a que la roca de fundación del zócalo o plinto es la roca conocida como pórfido rojo, de buena calidad.

Se diseñó buscando la menor longitud a efectos de lograr el mínimo volumen, y partiendo de la premisa de que, por principios constructivos, se debía resolver el eje del coronamiento en línea recta a efectos de facilitar la construcción de la pantalla de hormigón.

Sin embargo para cotas altas, sobre la margen derecha se proyecta un quiebre para aprovechar el mejor apoyo. Esto se produce con muy baja altura de presa.

En el plano adjunto se puede ver el perfil tipo adoptado. El ancho de coronamiento se ha fijado en 10,00m y el talud aguas arriba es 1:1,4 y aguas abajo es 1:1,25.

La pantalla de la cara de aguas arriba de la presa está conformada por losas apoyadas sobre el talud. Esa pantalla se apoya en el zócalo o plinto, que posee una junta que permite los movimientos entre ambas estructuras. El zócalo se apoya sobre la roca de fundación, y se continúa con la impermeabilización del

contacto hormigón-roca mediante una cortina de inyecciones de impermeabilización. Se ha supuesto una excavación en roca de 2,00m.

Entre la pantalla y el cuerpo de enrocado de la presa se colocan dos capas intermedias. La primera, que tiene una granulometría más fina que la del cuerpo principal, provee una superficie relativamente uniforme para facilitar la colocación de la pantalla de hormigón, uniformizada por un revestimiento de shotcrete, y añade una barrera impermeable más a la pantalla, en tanto que la capa subyacente es de transición y cumple con las leyes de filtro entre la capa anterior y el enrocado del cuerpo principal.

Se ha previsto una revancha de 4.00m sobre el Nivel Máximo Normal, similar a Casa de Piedra, respecto de la cota de coronamiento y de 5.00 respecto del nivel superior del muro rompeolas. En la próxima etapa se deberá determinar la revancha de proyecto y el diseño del rompeolas.

Igualmente se planteó una solución de cierre de HCR (Hormigón Compactado a Rodillo), que puede resultar conveniente dado su bajo costo, pero comparando costo de presa contra costo de presa resulta de menor cuantía la CFRD.

Sin embargo la solución HCR provee una seguridad adicional frente al riesgo hidrológico o de sobrepaso, que deberá ser tenido en cuenta en futuras etapas.

2) Desvío del río

El proyecto de desvío del Río siguió los criterios generales de diseño adoptados para un proyecto con desvío en túnel. La acometida, la salida de los túneles y el diámetro de los mismos, respetan la tapada mínima de tres diámetros.

Si bien se ha registrado una crecida importante durante el año 2007, se asume que dada la atenuación que produce el embalse Casa de Piedra morigera totalmente el caudal de diseño.

Teniendo presente que el tiempo de construcción será corto, puede asumirse que el caudal de diseño puede ser menor que el adoptado como crecida de caudal extraordinario de operación de embalse que es de 525 m³/s para CdP; pero como por razones operativas y de condiciones ambientales y de explotación estos caudales no pueden superar en lo posible los 360 m³/s, se adopta este como caudal de diseño del desvío.

Las características naturales del cauce del río, estrecha en la zona de emplazamiento de las obras, con cauce y laderas en roca expuesta, casi verticales en la parte baja, hacen muy pequeño el valle para los caudales para la creciente de diseño, impidiendo la realización de trabajos durante los períodos de crecientes anuales.

Sin embargo la constitución rocosa de todo el perfil de la fundación induce a pensar una solución de trabajo para el periodo de aguas bajas con la construcción de ataguías de baja altura. Dicho de otro modo el zócalo

de apoyo de la pantalla de impermeabilización puede construirse en dicho periodo y comenzar la construcción de la presa, debiendo estudiarse si es evitable la construcción de la ataguía.

A los fines actuales se supone que la ataguía es necesaria.

La presa ataguía proyectada se asume de una sección heterogénea con núcleo impermeable. Los espaldones, tanto de aguas arriba como de aguas abajo, serán construidos con enrocado producto de las excavaciones. Se adoptó un núcleo vertical simétrico, con un ancho superior de 3,00m y taludes de 0,25 en horizontal por 1,00m en vertical, iguales para aguas arriba y aguas abajo, conformado por material fino de yacimientos. Dicho núcleo se apoya en roca.

La contraataguía es de concepción similar pudiendo quedar incorporada a la presa.

El túnel de desvío, según cálculos hidráulicos teóricos, a reajustar, permite derivar hasta 360 m³/s. Cuando el caudal alcance ese valor, la cota del pelo de agua aguas arriba de las obras de embocadura será de aproximadamente 166.00m y se producirá el ahogamiento del mismo.

Los canales de entrada y salida del túnel de desvío se realizan en conjunto con la aducción y restitución de la Central Hidráulica, que aprovechan la topografía del lugar para la implantación de los mismos.

Se prevé un revestimiento con losas de hormigón ancladas en la roca, con un espesor de 1,00m desde la salida de los túneles hasta unos 30,00m aguas abajo de la misma.

Como la salida del agua se produce sobre la roca, se asume que no es necesario ningún tipo de dissipador de energía. El producto de las excavaciones será utilizado en la construcción de la presa, asumiendo un volumen útil del 75 %.

3) Obras de toma

El conjunto de obras que constituyen el sistema toma-conducciones forzadas-central hidráulica, desvío, luego descargador de fondo, se encuentra ubicado sobre la margen derecha, siendo la roca de fundación el pórfido rojo del lugar.

La toma para la central es una estructura de hormigón armado de tipo frontal, constituida por tres elementos idénticos de 12.00m de ancho independizados mediante juntas. La longitud total es de 36.00m y la altura máxima de 29.62m para la alternativa 1188 de cota de coronamiento y 184.00 de embalse máximo normal. La cota de solera es 158.38m.

Cada elemento posee embocadura abocinada, con sección de ingreso rectangular de 12.00m de ancho por 8.00m de altura, una pila central y dos vigas horizontales para el apoyo de las rejas. La zona de control es

rectangular, conformada por un vano de 4.50m de ancho por 4.50m de alto, aguas abajo de la misma se desarrolla la transición a sección circular de 4.50m de diámetro correspondiente a cada tubería forzada.

Los costados de los bloques extremos conforman muros de ala de contención de la excavación. Aguas arriba de la toma se desarrolla una dársena de acceso excavada en roca a cota 157,00m.

La obra de toma fue diseñada para un caudal de 158 m³/s, y admite las velocidades resultantes del caudal máximo operativo de las turbinas.

La embocadura de cada elemento está protegida por rejas metálicas fijas, constituidas por 4 paños de 6.00m por 8.00m Para su limpieza se ha previsto la instalación de un rastrillo limpiarrejas.

Las dos compuertas de servicio son planas, metálicas, permiten cerrar cada una de las secciones de control de 4.50m de ancho por 4.50m de alto, conformada por 3 segmentos de 3.00m de altura y 9.00m de ancho.

A nivel de coronamiento se ha previsto la instalación de un pórtico grúa, que se utilizará para accionar el rastrillo limpiarrejas y la compuerta de mantenimiento, y también permitirá efectuar tareas de mantenimiento de las compuertas de servicio y de sus servomecanismos.

4) Conducciones Forzadas

En número de tres, permite la aducción independiente a cada grupo y una de ellas para el desvío de Río y luego descargador. Cada tubería es de acero, de sección circular de 6.75m de diámetro, posibilitando la circulación de un caudal de 100 m³/s con una velocidad de 5.50m/s en condiciones normales y admitiendo los caudales máximos requeridos por la turbina, siendo el caudal de diseño de 80 m³/s.

El desarrollo de las conducciones se efectúa íntegramente en túnel. El túnel se encuentra revestido con hormigón con blindaje de acero, y las trazas de los dos túneles que alimentan a la turbina son idénticas y paralelas punto a punto, con la finalidad de obtener pérdidas equivalentes en cada uno de ellos.

La longitud de las conducciones es de aproximadamente dos de 100.60m hasta la junta de conexión con la turbina en la casa de máquinas y de 130.00m para el descargador.

5) Casa de máquinas

Se efectuó el pre dimensionamiento de los equipos hidromecánicos y electromecánicos del proyecto, que comprenden los equipos de generación (turbina, generador, transformador y equipos auxiliares). Con estos elementos se procedió a la determinación de las dimensiones principales de la casa de máquinas, conducciones y obras de toma. El caudal instalado de la central se definió en 158 m³/s con un factor de utilización de 0,73.

La central se ha previsto de tipo interior con estructura de hormigón armado, cierres laterales de tabiques de hormigón y cubierta metálica. La nave principal, de 56.95m de longitud, 19.54m de ancho y 27.81m de altura máxima, permite alojar los grupos con una separación de 16.27m entre sus ejes y además desarrollar una zona de montaje y mantenimiento.

Está equipada con dos turbinas tipo Kaplan de eje vertical, acopladas a generadores sincrónicos con una potencia total en bornes de 45 MW (2 por 22.5) para cota de embalse 188.00m.

La velocidad de rotación de los grupos es 247.63 rpm. Cada turbina cuenta con una cámara espiral de acero de 3.90m de diámetro de ingreso y tubo difusor acodado, blindado hasta el comienzo de la pila intermedia que el mismo posee.

El nivel de acceso a la central, coincidente con el de tapa de generadores, se encuentra a cota 157.86m. En el mismo nivel, en la zona hacia aguas arriba, se ubican los transformadores principales y de servicios auxiliares. En los niveles inferiores se sitúan las celdas de tensión de generación, las celdas y tableros de servicios auxiliares, las salas de baterías y los transformadores de servicios auxiliares.

En la galería de acceso a la turbina se encuentran los equipos para regulación y el nivel más bajo está reservado para bombas, filtros y equipos de drenaje de la central.

Adyacente a la zona de mantenimiento se desarrolla el edificio de comando, cuyos diversos niveles se podrán utilizar para talleres, oficinas, sala de relés y sala de comando.

La evacuación de caudales al Río se efectúa a través de un canal de 28.84m de ancho, excavado en roca, con solera en pendiente ascendente hasta la cota 152.00 donde se ubica la sección de control de los caudales de descarga.

El caudal máximo turbinado operando con salto máximo es 158.00 m³/s.

El equipamiento mecánico de la central está constituido por dos (2) grúas puente principales de 200 + 30 t y una grúa puente auxiliar de 30 t para montaje y mantenimiento de la junta existente en el ingreso de cada tubería forzada a la central.

Para la inspección de las partes sumergidas de cada turbina, se ha previsto un único juego de compuertas metálicas planas para cierre del tubo difusor, accionadas mediante una grúa pórtico de 30 t de capacidad.

6) Obras de alivio

Para el pre dimensionamiento de la obra de toma, dársena de acceso, altura de llegada, conducciones,

cuenco disipador, tratamientos de sostenimiento, y terminaciones de las obras de alivio se siguieron criterios generales de diseño.

Para la capacidad de evacuación del vertedero se adoptó la ley de descarga aproximada al solo efecto de obtener dimensiones a los fines de cómputo, que luego deberán ajustarse.

La obra de evacuación de crecidas se encuentra ubicada sobre la margen izquierda.

Está compuesta por un canal de acceso, la sección de control o vertedero, el canal de fuga, una rápida y un salto de ski como disipador de energía, siendo la capacidad máxima de descarga libre de 1500 m³/s para la alternativa "188".

El canal de acceso está excavado totalmente en roca y tiene forma abocinada, permitiendo el acceso a la zona de control.

El vertedero está formado por un umbral de hormigón con cota de coronamiento de la cresta de 174.30m El vertedero está dividido en 3 vanos de 11.00m de longitud cada uno, controlados por compuertas de segmento metálicas. Posee cuatro pilas de hormigón armado de 3.00m de ancho máximo, con lo que el ancho total del vertedero de 49.00m El canal de fuga, excavado en roca y totalmente revestido en hormigón, tiene un ancho constante de 33.00m hasta su unión con la rápida y una longitud de 310.00m.

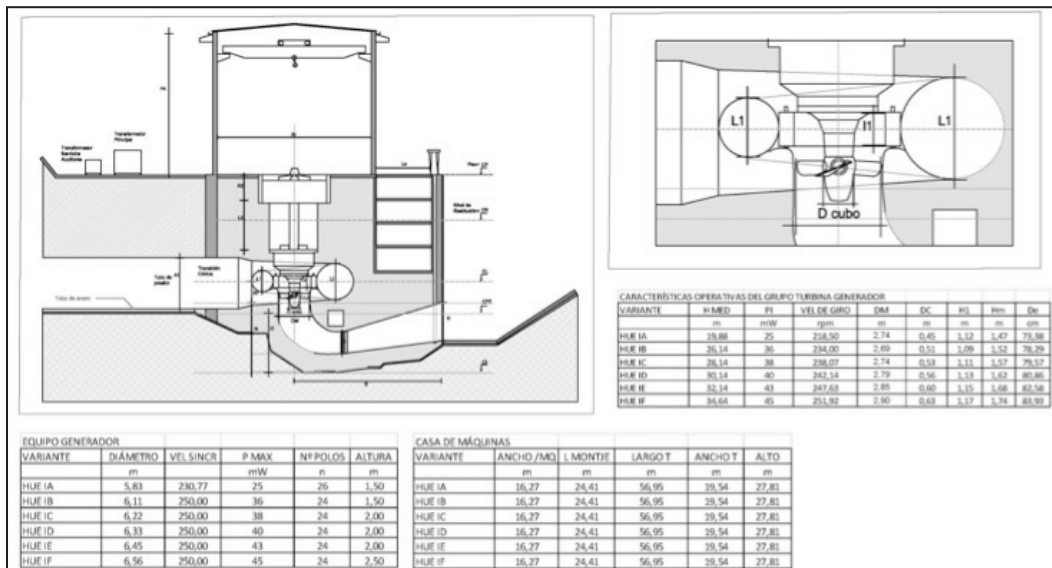
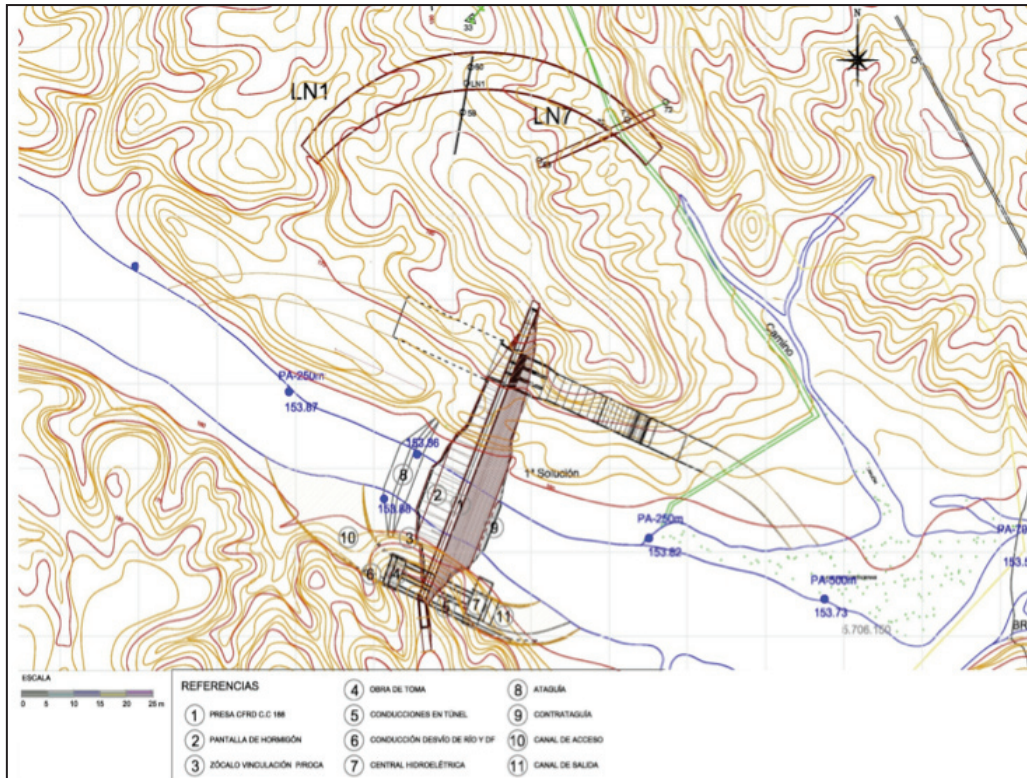
La rápida, también excavada en roca y revestida en hormigón armado, unirá al canal de fuga con el salto de ski, con una longitud de 100.00m.

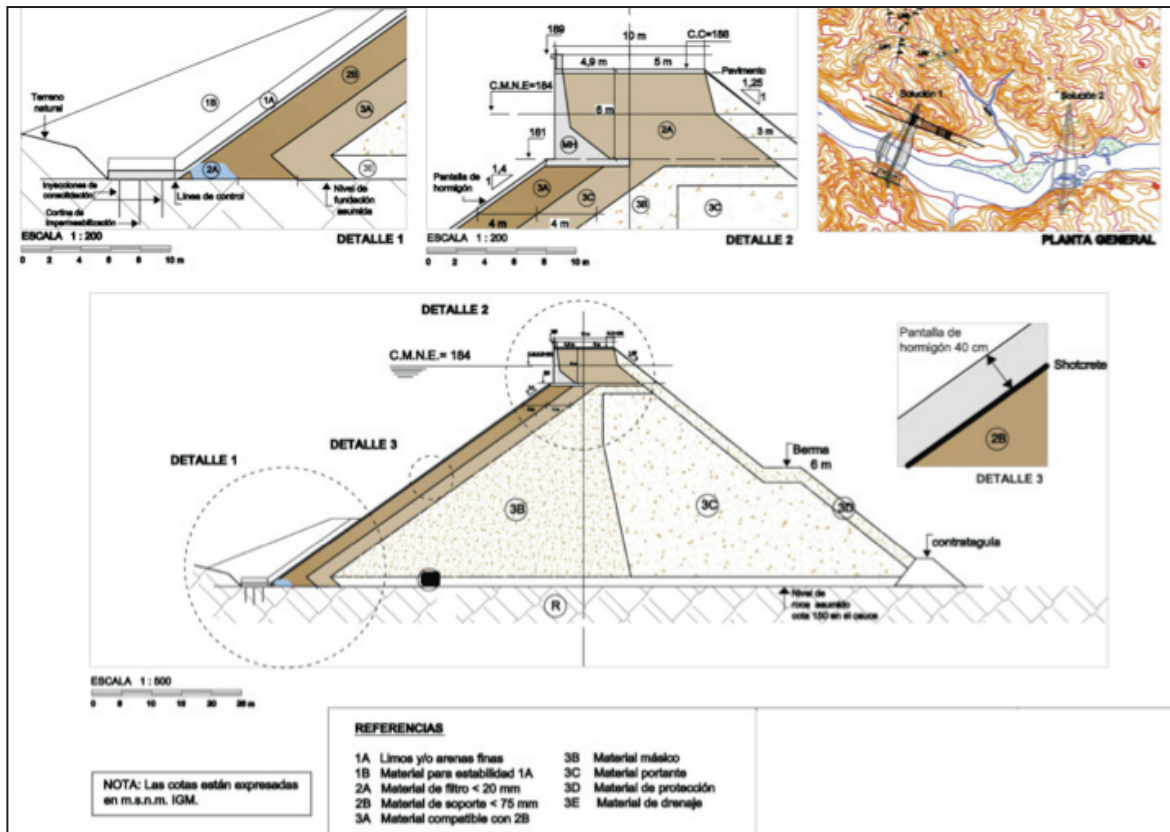
7) Descargador de fondo.

Para atender la demanda de usos consuntivos en caso eventual se agregó un conjunto de obras aptas para erogar un caudal de 360 m³/s, compuesto por obra de toma, una conducción y órganos de regulación y control. La cota de solera de la obra de toma se determinó a partir de una solución de compromiso entre la menor cota posible y una revancha para la cota inferior de solera como para detener los posibles arrastres importantes.

Debe tenerse presente que el hecho de tener un embalse como Casa de Piedra aguas arriba evita grandes acumulaciones de sedimentos.

El pre diseño efectuado para estas obras deberá ser verificado y desarrollado en una etapa posterior a la del presente estudio.





**APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL RÍO COLORADO MEDIO
CIERRE HUELCHES - PROVINCIAS DE RÍO NEGRO Y LA PAMPA**

PRESUPUESTO DE LAS OBRAS A ABRIL DE 2008: 116.528.869

Proyecto: HUELCHES		
Alternativa: "CC188"; CE184		
	Fecha de última versión: 23/04/2008	Factores de zona:
Nivel de plan de cuentas: Prefactibilidad	Río: Colorado	
Provincias: Río Negro y La Pampa	N.M.N.E.: 184	Acero y otros: Zona D
Cero de referencia: IGM	N.Mi.N.E.: 174 m	Cemento: Zona A
Caudal medio: 130 m³/s	Salto nominal: 28,33 m	Mano de obra: Zona B
Tipo de turbina: Kaplan	Cantidad y potencia: 2x22,5 mW	Altitud: Zona B
Potencia instalada: 45 Mw	Tasa de cambio: 3,14 \$/u\$s	Lluvias y nevadas: Zona A
Energía: 232 gWh/año		
COSTO TOTAL		

Cuenta	Costo final
1 - EMBALSES Y OBRAS DE CONDUCCIÓN	
1.1 - OBRAS DE DESVIO DEL RIO	1,604,200.21
1.2-PRESA PRINCIPAL	7,839,916.31
1.2.3 - Cierres Laterales	2,329,918.00
1.3-ALIVIADERO	7,192,283.98
1.4-OBRA DE TOMA	7,826,432.53
1.6 - CÁMARA DE CARGA O CHIMENEA DE EQUILIBRIO Y CONDUCCIÓN FORZADA	3,057,289.06
1.7-CASA DE MAQUINAS	5,438,431.95
1.7.3 - EQUIPAMIENTO HIDROELECTROMECHANICO	15,418,000.00
1.8 - OBRA DE RESTITUCIÓN	50,953.97
	50,757,426.00
2 - ACCESOS PERMANENTES	7,000,000.00
4- ACCIONES AMBIENTALES	4,050,000.00
5.3.1 TRANSMISIÓN	4,800,000.00
6 - COSTOS INDIRECTOS	5,534,993.50
6.2-CAMPAMENTO	3,191,349.40
6.3-INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN GENERAL	4,881,502.56
	13,607,845.45
7.3 - INTERESES INTERCALARES DE LA OBRA	18,400,000.00
8 - COSTOS COMPLEMENTARIOS	9,833,599.73
9-IMPREVISTOS	8,079,997.61
COSTO TOTAL	116.528.639

Aprovechamiento Hidroeléctrico "Huelches" Variante "188"

Río Colorado - Provincias de Río Negro y La Pampa - República Argentina

FICHA TÉCNICA

UBICACIÓN

El Proyecto y la Presa y Central Hidroeléctrica Huelches se encuentran ubicadas sobre el Río Colorado a 57 km al Oeste de la Presa de derivación Salto Andersen y a 121 km desde la ciudad de Río Colorado, tomando las distancias en línea recta.

Nombre del curso natural	Río Colorado
Área total de la cuenca imbrífera	15.320 km ²
Módulo del Río en origen	140 m ³ /s

CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE (cotas en msnm IGM)

Cota de coronamiento de la presa	188,00 m
Nivel máximo de verificación (máximo maximorum)	186.60 m
Nivel máximo normal de embalse	184.00 m
Nivel mínimo norma	178.00 m
Nivel mínimo extraordinario (mínimo para turbinado)	174.00 m
Nivel mínimo del descargador de fondo	160.00 m
Volumen total del embalse (cota 184 msnm)	1570 hm ³
Volumen útil del embalse (entre cotas 178 y 184 m)	760 hm ³
Franja de operación extraordinaria (riego y agua potable)	1500 hm ³
Superficie del espejo de agua, para nivel máximo normal	184 km ²

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL APROVECHAMIENTO

Potencia instalada	45 mW
Potencia mínima con salto mínimo	28 mW
Energía media anual	232 gWh/a
Factor de Utilización:	0,59; (5156 hs)

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Presa Principal

Tipo: Presa de enrocado y con pantalla de hormigón armado sobre el paramento de aguas arriba (C.F.R.D.).

Longitud total	390 m
Ancho de coronamiento	10 m
Altura máxima sobre el lecho del Río (cota 150 m)	38 m
Taludes: Aguas arriba	1: 1,4
Aguas abajo	1: 1,25
Fundación en roca:	Pórfido Rojo, formación
Materiales en el cuerpo de la presa:	Rocas de distinta granulometría
Impermeabilización:	Pantalla de Hormigón Armado, sobre talud aguas arriba
Zócalo (Plinton):	apoyado sobre roca

Obras para el desvío del río

Ubicación: Margen derecha
 Tipo: por túnel excavado en Roca

Aducción

Dársena y canales de acceso excavados en Roca	
Cota de solera	150,00 m
Longitud del canal de acceso	100 m
Protección:	Malla anti troncos de acero

Embocadura

Tipo: Frontal de H° A°	
Fundación:	roca Pórfido Rojo
Cantidad	uno
Ancho de la embocadura	10 m
Alto de la embocadura	18 m
Cota de plataforma de maniobras	188,00 m
Cota mínima de fundación	148.00 m
Órganos de cierre:	Juego de compuertas metálicas

Túneles de desvío

Ubicación: Macizo rocoso de margen derecha	
Cantidad:	uno
Distancia entre ejes longitudinales paralelos con túneles central:	15 m
Sección: Circular	
Diámetro interno:	6 m
Longitud:	130 m
Cota del umbral de entrada al túnel	150,00m

Cota de umbral de salida de túneles	149,50 m
Revestimiento:	Hormigón armado
Espesor revestimiento	0,50 m
Caudal máximo de descarga	360 m ³ /s

Salida del túnel al río

Tipo: Canal excavado en roca Pórfido Rojo

Estructura terminal: Protección con losas de hormigón ancladas a la roca

Ataguía

Tipo: Escollera con núcleo impermeable

Cota de coronamiento:	162m
Ancho de coronamiento:	6 m
Longitud	156 m
Altura máxima	16 m
Taludes:	
Aguas arriba	1: 2
Aguas abajo	1: 2
Fundación:	Roca: Pórfido Rojo
Materiales:	Núcleo impermeable: arcillas y limos de mediana a baja plasticidad
Filtros:	Material de transición arenas y gravas
Escollera:	Roca de excavaciones pórfido rojo

Contra-ataguía

Tipo: Escollera

Cota de coronamiento	158 m
Ancho de coronamiento	10 m
Longitud	124 m
Altura máxima	7 m
Taludes:	
Aguas arriba	1: 2,5
Aguas abajo	1: 2,5
Fundación:	Roca: pórfido rojo
Volumen:	Incluido en la presa

Vertedero

Ubicación: Sobre margen izquierda del río

Cuerpo vertedor

Tipo: Gravedad de perfil estricto controlado con compuertas tipo sector

Fundación: Roca Pórfido Rojo

Capacidad de descarga de vertedero libre: 3086 m³/s

Cota de cresta: 174.30 m

Longitud incluida pilas: 39 m

Número de vanos: 3

Ancho de vanos: 11 m

Ancho máximo de pila: 3 m

Elementos mecánicos de cierre

Permanentes:

Tipo: Compuertas de segmento metálico, cantidad: 3

Ancho compuertas: 11 m

Alto compuertas: 11 m

Accionamiento: Servomotores hidráulicos

Auxiliares:

Tipo: Compuertas planas metálicas

Número de juegos: 1

Cantidad de elementos por juego: 5 paños

Ancho compuertas: 11 m

Alto compuertas: 11 m

Accionamiento: Pórtico grúa

Canal de acceso

Tipo: Excavado a cielo abierto en roca Pórfido Rojo

Longitud: 116 m

Sección: Trapezial del ancho variable, talud 1: 4

Cota de fondo platea de aducción: 171,30m

Canal de fuga

Tipo: Excavado en roca Pórfido Rojo y revestido en H° A°

Longitud: 310 m

Ancho: 39 m

Sección: Trapezial

Pendiente: 3.5 y 6.5 â

Cota de fondo inicial: 171.10 m

Rápida

Tipo: Excavada en roca Pórfido Rojo y revestida en H° A°

Longitud:	100 m
Ancho:	39 m
Sección:	Rectangular
Desnivel que salva:	10 m

Disipador de energía

Tipo:	Salto de Ski
Longitud:	30 m
Ancho:	39 m
Radio:	30 m
Sección:	Rectangular

Descargador de fondo

Ubicación:	Margen derecha
Órgano de descarga:	Válvula Howell ñ Bunger
Cantidad de válvulas:	2
Diámetro de las válvulas:	3.30 m
Capacidad máxima de descarga:	360 m ³ /s

Toma

Tipo:	Frontal con paramento de aguas arriba inclinado
Longitud:	15,6 m
Ancho:	16 m
Altura:	31 m

Dispositivos de mantenimiento

Compuertas de servicio planas metálicas, vano a cubrir:	5.5m x 5.7 m
Compuerta de mantenimiento planas metálicas vano a cubrir:	5.5m x 5.7 m

Obra de toma para la central

Ubicación:	Margen derecha
Aducción:	Dársena de acceso excavada en roca Pórfido Rojo

Toma

Tipo:	Frontal con paramento de aguas arriba inclinado 3.8 V: 1H
Fundación:	Roca Pórfido Rojo
Cantidad de tomas:	2
Dimensiones de embocadura (cada una):	8.5m x 12 m
Longitud:	39.30 m
Ancho a nivel de fundación:	16 m

Altura total desde nivel de fundación:	9.75 m
Cota de dársena de acceso frente a toma:	156.38 m
Protección:	Rejas fijas deslizantes
Dispositivo limpiarrejas:	Tipo mecánico con grúa pórtico

Dispositivos de mantenimiento

Compuertas de servicio planas metálicas, vano a cubrir:	5,5m x 5,7 m
Compuerta de mantenimiento plana en paños, vano a cubrir:	5,5m x 5,7 m
Capacidad de cada toma:	80 m ³ /s
Capacidad de las 2 tomas, caudal máximo de turbinado:	160 m ³ /s

Tuberías a presión

Ubicación: Margen derecha	
Tipo: En túnel con blindaje de acero	
Separación entre ejes de tuberías:	15.00 m
Sección:	Circular
Diámetro interior:	4.50 m
Caudal máximo por cada tubería:	77 m ³ /s
Velocidad promedio en la conducción (para caudal máximo):	5,5 m/s
Longitud total entre juntas: (toma - conducción, conducción- central):	100,60 m
Tiempo de cierre: 9 seg	
Sobrepresión (para caudal máximo y salto nominal):	30%
Blindaje:	Chapa de acero con refuerzos

Central hidroeléctrica

Casa de máquinas

Ubicación: Margen derecha	
Tipo: Exterior, aguas abajo del pie de presa	
Longitud;	56.95 m
Ancho a nivel de piso de transformadores:	61,6 m
Altura:	27.81 m
Cota de piso de transformadores:	153.86 m
Cota de piso de generadores	151.36 m
Cota mínima de fundación	142.75 m
Cota eje de cámara espiral	148.39 m
Separación entre ejes de grupos	21,8 m
Fundación:	Roca, pórfido rojo

Equipamiento**Turbinas**

Número de máquinas:	2
Tipo: Kaplan de eje vertical	
Salto Máximo:	30.14 m
Salto Nominal:	28.33m
Salto Mínimo:	26.14 m
Caudal Máximo a salto máximo:	157.52 m ³ /s
Caudal Nominal a salto nominal:	126.02 m ³ /s
Caudal Mínimo a salto mínimo:	63.01 m ³ /s
Potencia instalada de cada unidad:	22.5 MW
Velocidad de rotación (50 Hz):	242.14 rpm

Generador

Tipo de suspensión: Paraguas	
Número de polos	24
Potencia de chapa	28 MVA

Canal de restitución

Ancho	19,54 m
Pendiente	-14 °
Cota sección de control	150,00 m

Playa de maniobras

Ubicación: Margen derecha
Cota 595,00m MOP

Vinculación de playa de maniobras con sala de comando mediante un canal de cables de 150m de longitud aproximadamente, a ras de tierra con parte superior removible.

Interconexión casa de máquinas y playa de maniobras mediante 2 líneas de 132 kV.

Salida de líneas: Una (1) salida de línea en simple terna de 132 kV.

Costos y Presupuestos

Metodología

La elaboración de los presupuestos de los aprovechamientos en análisis se basó en fórmulas de pre dimensionamiento estimativas, generadas a partir de centrales hidroeléctricas ya construidas, y en los presupuestos originales realizados por Agua y Energía Eléctrica (AyEE) en sus proyectos de la década del 90. Los resultados se consideran acordes a la actual etapa de proyecto, y permiten un análisis preliminar del negocio energético en el sitio de interés. Los criterios de diseño utilizados fueron en todos los casos conservadores, lo que permitirá en etapas posteriores una reducción de la incertidumbre y potencialmente una mayor rentabilidad.

Es importante destacar que no se han revisado los costos socio-ambientales del presupuesto original para la realización de medidas de mitigación y control de impactos, posibles costos por expropiación de tierras y los costos legales asociados, todos de difícil estimación en esta etapa de proyecto. Se supone que estos posibles sobrecostos están contemplados dentro del margen de contingencias adoptadas.

En base a los detalles de diseño de los proyectos de AyEE, se definieron los principales parámetros del aprovechamiento, el equipamiento necesario y los componentes eléctricos auxiliares. El cálculo de los presupuestos se basó en los costos detallados en los proyectos originales, que fueron actualizados a partir de su año base mediante los índices «Construction cost trends» publicados por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos. El análisis se complementó con la utilización de software y manuales específicos para el costeo de aprovechamientos hidroeléctricos, a saber:

- **Manual de inventario hidroeléctrico del Ministerio de Minas y Energía de Brasil, edición 2007:** Este Manual es una guía de diseño y costeo de aprovechamientos hidroeléctricos que recopila la extensa experiencia del país en el desarrollo de este tipo de proyectos. Se utilizó para la revisión de los costos actualizados, a partir de una desagregación de costos adecuada a un nivel de prefactibilidad. Fue utilizado como manual de consulta.
- **RETScreen:** Es el software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia producido por el Ministerio de Recursos naturales de Canadá. Fue usado para la elaboración de los presupuestos, el estudio de su factibilidad financiera y para la cuantificación del riesgo. El programa posee también un módulo que permitió analizar la influencia del uso de bonos de carbono para el financiamiento del proyecto.
- **HydroHelp:** Constituido por una serie de programas desarrollados por la empresa canadiense OEL-HydroSys y que tiene por autor principal al ingeniero James L. Gordon. HydroHelp se utilizó para la preselección del equipamiento electromecánico más adecuado y para realizar un presupuesto preliminar de control del equipamiento hidroelectromecánico (costo «water to wire»), en base a costos internacionales.

Los resultados de los programas y publicaciones mencionados fueron complementados por los criterios de los especialistas en el área de presas e hidroenergía de los profesionales a cargo de este informe.

Criterios generales

Los criterios, fórmulas y costos unitarios utilizados por los programas o el mencionado manual, provienen de diversas experiencias y por lo tanto pueden presentar diferencias. Fueron usados, sin embargo, para asegurar la robustez de los costos de inversión calculados, comparando costos totales. Es necesario señalar el marco del presente estudio, que corresponde a una etapa de pre factibilidad, con datos base que presentan incertidumbres.

Se han estimado también los costos indirectos de la realización de la obra, en general obteniéndolos a partir de porcentajes del costo directo. En estos costos se incluyen el obrador, el campamento para los trabajadores, la ingeniería del proyecto en todos sus estadios, los estudios complementarios necesarios y la administración del proyecto. Suponiendo una tasa de descuento variable, se estimaron también los costos intercalares originados por el financiamiento de la obra a lo largo de su plazo de construcción.

Los costos base de cada fuente consultada fueron nuevamente comparados a partir de su año base mediante los índices *Construction cost trends* publicados por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos.

Manual de inventario hidroeléctrico

El Manual para estudios de inventario hidroeléctrico presenta un conjunto de criterios, procedimientos y recomendaciones para la realización de estudios de inventario hidroeléctrico de aprovechamientos con potencias instaladas mayores a 30 MW.

En esta fase de los estudios de inventario, las estructuras y equipos que conforman el proyecto hidroeléctrico no pueden ser definidos en detalle porque no es suficiente el conocimiento sobre las condiciones locales topográficas y geológicas. El proceso de diseño de las estructuras y el equipamiento consiste en seleccionar de entre las soluciones típicas estándar, y con base en la experiencia actual, los que mejor se adapten a las características físicas del sitio en estudio, con criterios y supuestos conservadores.

El Manual permite calcular individualmente los costos de las diferentes estructuras en función de los importes de la construcción civil, servicios y equipos necesarios. Posteriormente se organiza el presupuesto general, desglosado en costos directos, costos indirectos, intereses durante la construcción y contingencias. Los costos directos son calculados en base a los presupuestos individuales de cada obra, los costos indirectos como porcentajes de los costos directos, los intereses intercalares como función de la tasa de interés y del periodo de construcción y las contingencias en función al valor total de la obra y asociado a la incertidumbre en este nivel de proyecto. Los presupuestos obtenidos son por lo tanto simplificados, sin entrar en grandes detalles, pero con la precisión suficiente para que la estimación sea una buena aproximación del costo real.

Modelo RETScreen

De acuerdo a datos del desarrollador, las fórmulas de costeo utilizadas por el modelo arrojan en promedio costos 11% superiores a los costos de un proyecto ejecutivo/básico. Estas diferencias, consideradas dentro

del margen por contingencias del presupuesto, se consideran aceptables para proyectos a nivel de prefactibilidad.

Estas fórmulas se generaron a partir de una extensa base de datos de proyectos completados de pequeñas centrales hidroeléctricas en todo el mundo, y permiten la realización de un análisis de costos detallados a partir de una mínima cantidad de datos necesaria. Los costos base utilizados por el programa se encuentran ajustados para Canadá, por lo que se debieron calcular factores de ajuste del costo de combustible y de la mano de obra para su utilización en Argentina.

En todas las alternativas analizadas se buscó compatibilizar los dimensionamientos previos con los realizados utilizando el Manual de inventario hidroeléctrico, como se explicó en el punto anterior. Comprobada la buena concordancia entre los resultados, se utilizaron los presupuestos obtenidos mediante el modelo RETScreen para la evaluación económico-financiera.

Resumen de resultados

Se presenta a continuación una planilla resumen del presupuesto de los proyectos La Caridad y Huelches.

Proyecto	Presupuesto RETScreen /otro [USD]	Costo por KW [USD]
La Caridad	106.746.033	1940
Huelches	132.658.105	3316
La Elena	253.307.349	2573

Tabla 1. Presupuestos adoptados de la obras

Principales planillas de los presupuestos

En anexos se agregan las planillas que surgieron del análisis de presupuestos. Se extractan a continuación las principales planillas de costos y de generación.

APROVECHAMIENTO LA CARIDAD – PRODUCCIÓN ENERGÉTICA SEGÚN RETScreen

Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de generación eléctrica

Sistema eléctrico de potencia propuesto

Tecnología	Turbina hidráulica	
Evaluación de recursos		
Proyecto Propuesto		Reservorio
Altura de caída bruta	m	120.0
Máximo efecto de agua de descarga	m	1.00
Flujo residual	m³/s	0.000
Porcentaje del tiempo disponible de flujo firme	%	100.0%
Flujo firme	m³/s	8.00
Turbina hidráulica		
Flujo de diseño	m³/s	44.000
Tipo		Francis
Eficiencia de la turbina		Estándar
Número de turbinas		2
Fabricante	Voith Siemens	
Modelo	Francis	
Coefficiente de diseño		4.5
Ajuste de eficiencia	%	1.0%
Eficiencia máxima de la turbina	%	94.8%
Flujo a máxima eficiencia	m³/s	35.1
Eficiencia de la turbina en flujo de diseño.	%	91.3%
Máximas pérdidas hidráulicas	%	5.0%
Pérdidas varias	%	3.0%
Eficiencia del generador	%	98.0%
Disponibilidad	%	95.0%
Resumen		
Capacidad de generación eléctrica	kW	42,726
Factor de ajuste de flujo disponible		1.00
Factor de utilización	%	69.1%
Electricidad entregada a la carga		
Electricidad exportada a la red	MWh	258,733
Tarifa de exportación de electricidad	\$/MWh	70.00

El calculado con el modelo AyE es 27 GWh/a, sensiblemente coincidente

APROVECHAMIENTO LA CARIDAD - Costo del Equipo de Generación Water-To-Wire

DATOS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO ESTIMATIVO				
Se resaltan datos prioritarios que deben ser revisados.				
Dato		Unidad	Valor	Comentarios
Datos básicos				
	Nivel Máximo Normal	msnm	860	
	Nivel Mínimo Normal	msnm	850	
	Nivel de restitución normal	msnm	740	Estimado a partir de planos.
	Nivel de restitución extraordinario	msnm	742	No conocido.
	Caudal de diseño	m³/s	44	Revisar ficha técnica.
	Número de turbinas deseado	un	2	Punto óptimo.
	Frecuencia del sistema	Hz	50	
Estimaciones				
	Temperatura del agua en verano	°C	16	
	Factor de potencia del generador		0.9	
	Pérdidas, % de salto bruto, a carga normal	%	7.5	Estimado a partir de fórmulas.
DETALLE DE COSTOS HIDROMECAÑICOS (ALTERNATIVA FRANCIS EJE VERTICAL)				
Los costos detallados a continuación son costos directos, y no incluyen costos indirectos o gastos generales.				
Ítem	Costo [MUSD]	Comentarios		
Casa de máquinas (obra civil)	2.91	Costo aproximado, basado en dimensiones estimativas.		
Grúas	0.76			
Transformadores	2.99			
Turbinas		Costos correspondientes a ambas turbinas.		
Partes móviles	4.46			
Cámara espiral y carcasa	3.55			
Válvulas	0.00			
Generadores	10.46			
Costo water-to-wire	18.47	No incluye obra civil, grúas o transformadores.		
Costo total	25.13			

Herramientas RETScreen - Proyecto de generación eléctrica

Método de estimación de costos mediante Fórmulas aplicadas a hidroeléctricas

País	Argentina		
Relación de costos de equipos local vs. Canadiense		0.80	
Relación de costos de combustibles local vs. Canadiense		0.93	
Relación de costos de labor local vs. Canadiense		0.36	
Coefficiente de costo de fabricación de los equipos		1.10	
Tipo de cambio	\$/CAD	1.01	
Clima frío	si/no	Sí	
Días de heladas en el sitio	día	10	
Flujo de diseño	m³/s	44	44
Altura de caída bruta	m	120	120
Número de turbinas	turbina	2	2
Tipo		Francis	Francis
Flujo por turbina	m³/s	22.00	
Diámetro de rueda de la turbina por unidad	m	1.94	
Tipo de instalación		Pequeño	Pequeño
Represa existente	si/no	No	
Longitud de cresta de nueva represa	m	260	
Roca en el sitio de la represa	si/no	Sí	
Máximas pérdidas hidráulicas	%	5.0%	5.0%
Pérdidas varias	%	3.0%	
Caminos-accesos			
Longitud	km	25.0	
Camino solo para construcción	si/no	No	
Dificultad del terreno		3.0	
Túnel			
Longitud	m	850	
Factor de pérdida de carga admisible en el túnel	%	7.0%	
Porcentaje de longitud de túnel revestido	%	100%	
Método de excavación		Mecanizado	
Diámetro	m	4.65	
Canal			
Longitud en roca	m	25	
Pendiente lateral del terreno en roca (promedio)	°	60	
Longitud en suelo impermeable	m	0	
Pendiente lateral del terreno en suelo (promedio)	°	45	

Pérdidas de carga totales del canal	m	0.0		
Tubería de presión				
Longitud	m	200.0		
Número	tubería de presión	1		
Factor de pérdida de carga admisible en la tubería de presión	%	2.0%		
Diámetro	m	2.78		
Espesor promedio de la tubería	mm	11.59		
Distancia a las canteras de material de relleno	km	4.0		
Línea de transmisión				
Tipo de red		Red-Central	Red-Central	
Longitud	km	36.0		
Dificultad del terreno		3.0		
Tensión	kV	132.0		
	Monto	Factor de ajuste	Monto	Costos relat.
Costos iniciales (créditos)	\$		\$	
Estudio de factibilidad	2,550,000	1.00	2,550,000	3.1%
Desarrollo	3,065,000	1.00	3,065,000	3.7%
Ingeniería	1,795,000	1.00	1,795,000	2.2%
Sistema eléctrico de potencia				
Turbina hidráulica	25,589,000	1.00	25,589,000	31.1%
Caminos-accesos	2,797,000	1.00	2,797,000	3.4%
Línea de transmisión	14,066,000	1.00	14,066,000	17.1%
Subestación	1,944,000	1.00	1,944,000	2.4%
Balance del sistema y misceláneos				
Tubería de presión	1,007,000	1.00	1,007,000	1.2%
Canal	1,472,000	1.00	1,472,000	1.8%
Túnel	6,484,000	1.00	6,484,000	7.9%
Otro	21,470,000	1.00	21,470,000	26.1%
Subtotal:	30,433,000		30,433,000	
Costos iniciales totales	82,239,000		82,239,000	100.0%

Costos iniciales (créditos)		Unidad	Cantidad	Costo unit.	Monto
Estudio de factibilidad					
Estudio de factibilidad		costo	1	\$ 2,550,000	\$ 2,550,000
Subtotal:					\$ 2,550,000
Desarrollo					
Desarrollo		costo	1	\$ 3,065,000	\$ 3,065,000
Subtotal:					\$ 3,065,000
Ingeniería					
Ingeniería		costo	1	\$ 1,795,000	\$ 1,795,000
Subtotal:					\$ 1,795,000
Sistema eléctrico de potencia					
Turbina hidráulica		kW	42,725.71	\$ 599	\$ 25,588,854
Caminos-accesos		km	25	\$ 111,880	\$ 2,797,000
Línea de transmisión		km	36	\$ 390,722	\$ 14,066,000
Subestación		proyecto	1	\$ 1,944,000	\$ 1,944,000
Mediciones de eficiencia energética		proyecto			\$ -
Tubería forzada		costo	1	\$ 1,007,000	\$ 1,007,000
Subtotal:					\$ 45,402,854
Balance del sistema y misceláneos					
Repuestos		%	100.0%		\$ -
Transporte		proyecto	1		\$ -
Entrenamiento y puesta en servicio		p-d			\$ -
Otros costos		costo	1	\$ 29,426,000	\$ 29,426,000
Contingencias		%	10.0%	\$ 82,238,854	\$ 8,223,885
Intereses durante la construcción		12.00%	36mes(es)	\$ 90,462,740	\$ 16,283,293
Subtotal:					\$ 53,933,179
Costos iniciales totales					\$ 106,746,033
Costos anuales (créditos)					
Operación y Mantenimiento					
Partes y labor		proyecto	1	\$ 2,134,921	\$ 2,134,921
Definido por el usuario		costo			\$ -
Contingencias		%	100.0%	\$ 2,134,921	\$ 2,134,921
Subtotal:					\$ 4,269,841
Costos periódicos (créditos)					
Reparación E&M a la mitad de vida útil (25%)		costo	25	\$ 6,397,213	\$ 6,397,213

APROVECHAMIENTO HUELCHES – Estimación de generación de energía según Modelo de Energía RETScreen - Proyecto de generación eléctrica

Sistema eléctrico de potencia del caso propuesto

Tecnología		Turbina hidráulica	
Evaluación de recursos			
Proyecto Propuesto		Reservorio	
Altura de caída bruta	m	28.3	
Máximo efecto de agua de descarga	m	1.00	
Flujo residual	m³/s	10.000	
Porcentaje del tiempo disponible de flujo firme	%	100.0%	
Flujo firme	m³/s	1990.00	
Turbina hidráulica			
Flujo de diseño	m³/s	126.000	
Tipo		Kaplan	
Eficiencia de la turbina		Estándar	
Número de turbinas		2	
Fabricante	Voith Siemens		
Modelo	Kaplan		
Coeficiente de diseño		4.5	
Ajuste de eficiencia	%	0.0%	
Eficiencia máxima de la turbina	%	93.5%	
Flujo a máxima eficiencia	m³/s	94.5	
Eficiencia de la turbina en flujo de diseño.	%	93.1%	
Máximas pérdidas hidráulicas	%	5.0%	
Pérdidas varias	%	3.0%	
Eficiencia del generador	%	95.0%	
Disponibilidad	%	96.0%	
Resumen			
Capacidad de generación eléctrica	kW	28,495	28,495
Factor de ajuste de flujo disponible		100.00	
Factor de utilización	%	95.4%	
	MWh	0	
Electricidad exportada a la red	MWh	238,018	
Tarifa de exportación de electricidad	\$/MWh	70.00	

Valor de cálculo previo en antecedentes 232 GWh/año, prácticamente coincidente

APROVECHAMIENTO HUELCHES – Costo del Equipo de Generación Water-To-Wire

DATOS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO ESTIMATIVO					
Se resaltan datos prioritarios que deben ser revisados.					
Dato		Unidad	Valor	Comentarios	
Datos básicos					
Nivel Máximo Normal		msnm	184		
Nivel Mínimo Normal		msnm	178		
Nivel de restitución normal		msnm	160		
Nivel de restitución extraordinario		msnm	162	No conocido.	
Caudal de diseño		m³/s	126.00	Revisar ficha técnica.	
Número de turbinas deseado		un	2	Punto óptimo.	
Frecuencia del sistema		Hz	50		
Estimaciones					
Temperatura del agua en verano		°C	16		
Factor de potencia del generador			0.9		
Pérdidas, % de salto bruto, a carga normal		%	4.5		
COMPARACIÓN DE COSTOS HIDROMECAÑICOS ENTRE ALTERNATIVAS POSIBLES					
Se detallan costos directos, sin incluir costos indirectos o gastos generales.					
Alternativa		Costo water-to-wire[MUSD]			
Kaplan eje horizontal o bulbo		21.73			
Kaplan tipo "S"		26.86			
Kaplan eje vertical		22.28			
DETALLE DE COSTOS HIDROMECAÑICOS (ALTERNATIVA KAPLAN EJE HORIZONTAL)					
Los costos detallados a continuación son costos directos, y no incluyen costos indirectos o gastos generales.					
En millones de dólares.					
Ítem		Costo [MUSD]	Comentarios		
Casa de máquinas (obra civil)		8.89	Costo aproximado, basado en dimensiones estimativas.		
Grúas		1.04			
Transformadores		2.99			
Turbinas			Costos correspondientes a ambas turbinas.		
Partes móviles		8.34			
Cámara espiral y carcasa		4.52			
Válvulas		0.00			
Generadores		8.87			
Costo water-to-wire		21.73	No incluye obra civil, grúas o transformadores.		
Costo total		34.65			

APROVECHAMIENTO HUELCHES - Estimación de Costos con herramientas

Herramientas RETScreen - Proyecto de generación eléctrica

País	Argentina		
Relación de costos de equipos local vs. Canadiense		0.80	
Relación de costos de combustibles local vs. Canadiense		0.93	
Relación de costos de labor local vs. Canadiense		0.36	
Coefficiente de costo de fabricación de los equipos		1.10	
Tipo de cambio	\$/CAD	1.01	
Clima frío	si/no	Sí	
Días de heladas en el sitio	día	10	
Flujo de diseño	m³/s	126	126
Altura de caída bruta	m	28.3	28.3
Número de turbinas	turbina	2	2
Tipo		Kaplan	Kaplan
Flujo por turbina	m³/s	63.00	
Diámetro de rueda de la turbina por unidad	m	3.11	
Tipo de instalación		Pequeño	Pequeño
Represa existente	si/no	No	
Longitud de cresta de nueva represa	m	390	
Roca en el sitio de la represa	si/no	Sí	
Máximas pérdidas hidráulicas	%	5.0%	5.0%
Pérdidas varias	%	3.0%	
Caminos-accesos			
Longitud	km	25.0	
Camino solo para construcción	si/no	No	
Dificultad del terreno		3.0	
Túnel			
Longitud	m	130	
Factor de pérdida de carga admisible en el túnel	%	7.0%	
Porcentaje de longitud de túnel revestido	%	100%	
Diámetro	m	6.36	
Canal			
Longitud en roca	m	100	
Pendiente lateral del terreno en roca (promedio)	°	60	
Longitud en suelo impermeable	m	0	
Pendiente lateral del terreno en suelo (promedio)	°	45	
Pérdidas de carga totales del canal	m	0.1	
Tubería de presión			

Longitud	m	100.0	
Número	tubería de presión	1	
Factor de pérdida de carga admisible en la tubería de presión	%	3.0%	
Diámetro	m	4.43	
Espesor promedio de la tubería	mm	12.93	
Distancia a las canteras de material de relleno	km	8.0	
Línea de transmisión			
Tipo de red		Red-Central	Red-Central
Longitud	km	25.0	
Dificultad del terreno		3.0	
Costos iniciales (créditos)	Monto \$	Factor de ajuste	Monto \$
Estudio de factibilidad	3,039,000	1.00	3,039,000
Desarrollo	3,653,000	1.00	3,653,000
Ingeniería	1,835,000	1.00	1,835,000
Sistema eléctrico de potencia			
Turbina hidráulica	34,394,000	1.00	34,394,000
Caminos-accesos	2,797,000	1.00	2,797,000
Línea de transmisión	9,948,000	1.00	9,948,000
Subestación	1,366,000	1.00	1,366,000
Balance del sistema y misceláneos			
Tubería de presión	907,000	1.00	907,000
Canal	13,215,000	1.00	13,215,000
Túnel	2,156,000	1.00	2,156,000
Otro	24,697,000	1.00	24,697,000
Subtotal:	40,975,000		40,975,000
Costos iniciales totales	98,007,000		98,007,000

ANÁLISIS DE COSTOS RETScreen - Proyecto de generación eléctrica

Costos iniciales (créditos)		Unidad	Cantidad	Costo unit.	Monto	C relat.
Estudio de factibilidad						
	Estudio de factibilidad	costo	1	\$ 3,039,000	\$ 3,039,000	
	Subtotal:				\$ 3,039,000	2.3%
Desarrollo						
	Desarrollo	costo	1	\$ 3,653,000	\$ 3,653,000	
	Subtotal:				\$ 3,653,000	2.8%
Ingeniería						
	Ingeniería	costo	1	\$ 1,835,000	\$ 1,835,000	
	Subtotal:				\$ 1,835,000	1.4%
Sistema eléctrico de potencia						
	Turbina hidráulica	kW	28,494.97	\$ 1,207	\$ 34,393,430	
	Caminos-accesos	km	25	\$ 279,700	\$ 6,992,500	
	Línea de transmisión	km	25	\$ 397,920	\$ 9,948,000	
	Subestación	proyecto	1	\$ 1,366,000	\$ 1,366,000	
	Mediciones de eficiencia energética	proyecto			\$ -	
	Tubería forzada	costo	1	\$ 907,000	\$ 907,000	
	Subtotal:				\$ 3,606,930	40.4%
Balance del sistema y misceláneos						
	Repuestos	%	100.0%		\$ -	
	Transporte	proyecto	1		\$ -	
	Entrenamiento y puesta en servicio	p-d			\$ -	
	Otros costos	costo	1	\$ 40,068,000	\$ 40,068,000	
	Contingencias	%	10.0%	\$ 102,201,930	\$ 10,220,193	
	Intereses durante la construcción	12.00%	36 mes	\$ 112,422,123	\$ 20,235,982	
	Subtotal:				\$ 70,524,175	53.2%
Costos iniciales totales					\$ 132,658,105	100.0%
Costos anuales (créditos)						
Operación y Mantenimiento						
	Partes y labor	proyecto	1	\$ 2,653,162	\$ 2,653,162	
	Contingencias	%	100.0%	\$ 2,653,162	\$ 2,653,162	
	Subtotal:				\$ 5,306,324	
Costos periódicos (créditos)						
	Reparación E&M a la mitad vida útil (25%)	costo	25	\$ 8,598,357	\$ 8,598,357	

APROVECHAMIENTO LA ELENA - Costo del Equipo de Generación Water-To-Wire

DATOS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO ESTIMATIVO					
A revisar en base a planos detallados del aprovechamiento La Elena.					
Se resaltan datos prioritarios que deben ser revisados.					
Dato	Unidad	Valor	Comentarios		
Datos básicos					
Nivel Máximo Normal	msnm	740			
Nivel Mínimo Normal	msnm	727			
Nivel de restitución normal	msnm	461.6	Estimado a partir de planos.		
Nivel de restitución extraordinario	msnm	465	No conocido.		
Caudal de diseño	m ³ /s	44	Revisar ficha técnica.		
Número de turbinas deseado	un	2	Punto óptimo.		
Frecuencia del sistema	Hz	50			
Estimaciones					
Temperatura del agua en verano	°C	16			
Factor de potencia del generador		0.9			
Pérdidas, % de salto bruto, a carga normal	%	11	Estimado a partir de fórmulas.		

COMPARACIÓN DE COSTOS HIDROMECÁNICOS ENTRE ALTERNATIVAS POSIBLES					
Se detallan costos directos, sin incluir costos indirectos o gastos generales.					
En millones de dólares, a abril de 2012.					
Alternativa	Costo water-to-wire [MUSD]	Costo total [MUSD]	Comentarios		
Turbinas Francis	33.94	41.09			
Turbinas Pelton	43.15	57.22	Se asume turbina Pelton de 6 inyectoros.		

DETALLE DE COSTOS HIDROMECÁNICOS (ALTERNATIVA FRANCIS)			
Los costos detallados a continuación son costos directos, y no incluyen costos indirectos o gastos generales.			
En millones de dólares, a abril de 2012.			
Ítem	Costo [MUSD]	Comentarios	
Casa de máquinas (obra civil)	3.02	Costo aproximado, basado en dimensiones estimativas.	
Grúas	1.15		
Transformadores	2.99		
Turbinas		Costos correspondientes a ambas turbinas.	
Partes móviles	6.35		
Cámara espiral y carcasa	5.13		
Válvulas	6.71		
Generadores	15.75		
Costo water-to-wire	33.94	No incluye obra civil, grúas o transformadores.	
Costo total	41.09		

PRESUPUESTO "LA ELENA" ACTUALIZADO A JUNIO 2012		
Conducción	Obra de toma	5,460,648
	Túnel de conducción	31,620,195
	Desembocadura túnel de conducción	2,528,328
	Chimenea de equilibrio	10,087,023
Tubería forzada	Obra civil	6,035,579
	Obra electromecánica	23,439,572
Obras de cierre y alivio	Presa de arco - Vertedero auxiliar estribo margen derecha	11,058,757
	Presa de materiales sueltos	849,102
	Vertedero principal	7,965,459
	Descargador de fondo	3,018,557
	Obras de desvío, obra de toma, túnel y descarga	2,330,198
	Ataguías	301,151
	Camino provisorio obra de toma conducción - obra de toma desvío	329,520
	Caminos secundarios	201,570
	Puente sobre vertedero principal	212,705
	Puente sobre vertedero auxiliar	133,860
Central hidráulica		33,592,850
Caminos y puentes	Caminos de vinculación	3,598,569
	Puente de acceso a la central	722,493
	Puente Río Carrenleufú	703,204
Turbinas		12,063,878
Generadores		16,548,011
Válvulas		7,049,817
Equipamiento hidromecánico	Obra de toma	1,728,596
	Descargador de fondo	213,257
	Central hidráulica	1,258,197
Grúas	Obra de toma	946,830
	Central hidráulica	2,028,781
Equipamiento eléctrico	Obra de toma	236,952
	Descargador de fondo	9,791
	Central hidráulica	9,871,921
Sistema de transmisión	Playa de maniobras eléctricas Poncho Moro	2,771,958
	Ampliación playa estación transformadora en Futaleufú	8,530,476
	Línea de transmisión en 132 kv	9,399,562
	Transporte y montaje	4,543,216
Plan de gestión ambiental		1,870,485
Afectaciones		904,727
PRECIO TOTAL APROVECHAMIENTO		224,165,795
Estudios de factibilidad y del sitio de obra		4,483,316
Estudios ambientales		4,483,316
Diseño de detalle y documentación de obra		8,966,632
Supervisión de obra		11,208,290
COSTO INGENIERÍA Y SUPERVISIÓN		29,141,553
PRECIO TOTAL		253,307,348

Evaluación económica

Introducción

Con el objetivo de proveer los elementos necesarios para decidir acerca de la aceptación o rechazo de los proyectos de los Aprovechamientos Hidroeléctricos estudiados en el presente trabajo, se ha procedido a evaluar económicamente a los mismos.

La evaluación económica y financiera de proyectos tiene por objetivo identificar las ventajas y desventajas asociadas a la inversión en un proyecto antes de la implementación del mismo y es un método de análisis útil para adoptar decisiones racionales sobre el destino de los fondos a invertir. El objetivo de la evaluación es la obtención de elementos de juicios necesarios para la toma de decisiones de ejecutar o no el proyecto, respecto a las condiciones que ofrece dicho proyecto.

En las decisiones de inversión aparecen recursos que se asignan y resultados que se obtienen de ellos: los costos y los beneficios. Los criterios para analizar inversiones hacen un tratamiento de los beneficios y costos de una propuesta de inversión, beneficios y costos que en la mayoría de los casos no se producen instantáneamente, sino que pueden generarse por periodos más o menos largos.

Por analizar la viabilidad de una inversión puede entenderse el hecho de plantear si los ingresos derivados del proyecto de negocio van a ser suficientes para hacer frente a los compromisos adquiridos, y en qué medida ese proyecto va a ser rentable.

La evaluación para analizar proyectos de inversión se basa normalmente en el análisis de los ingresos y gastos relacionados con el proyecto, teniendo en cuenta cuándo son efectivamente recibidos y entregados con el fin de determinar si son suficientes para soportar el servicio de la deuda contraída y de retribuir adecuadamente el capital aportado para la ejecución del proyecto.

La Evaluación Económica que se ha realizado es desde el punto de vista del inversor privado, contemplándose todos aquellos elementos que pudieran influir sobre la rentabilidad empresarial, y se han considerado en el análisis todos los costos correspondientes, incluyéndose los impuestos de carácter nacional y provincial.

La Evaluación del proyecto de las centrales hidroeléctricas se realizó comparando los Costos Actualizados con los Beneficios Actualizados de las mismas. Se han contemplado en la evaluación financiera los beneficios que otorga la Ley N° 26.190 (Régimen de Fomento para el uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica) y los ingresos por los beneficios del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Se describen a continuación la Metodología desarrollada y los criterios utilizados en la Evaluación Económica de los Proyectos de los Aprovechamientos Hidroeléctricos La Elena, La Caridad y Huelches.

Criterios de Evaluación Económica

De acuerdo a lo expresado en la Propuesta presentada para llevar a cabo el estudio, la Evaluación Económica de los proyectos se realizó comparando los Costos Actualizados con los Beneficios Actualizados de cada uno de los mismos.

Los Costos Totales de cada uno de los diferentes aprovechamientos hidroeléctricos, fueron obtenidos sumando los correspondientes a la Inversión Total (Obras civiles, turbinas, generadores, compuertas, tuberías, sistemas de transmisión asociados, etc.), más los Gastos Anuales de Operación y Mantenimiento.

El cálculo de los Beneficios del proyecto, se realizó considerando que el mismo tendrá ingresos por venta de la energía eléctrica generada en la central.

En este análisis, se han considerado dos escenarios posibles para la determinación del precio de venta de la energía eléctrica generada por los aprovechamientos hidroeléctricos en estudio, los cuales son:

- Precio del Monómico Medio de venta de energía eléctrica en el MEM.
- Costo Marginal de Expansión a Largo Plazo del Sistema Argentino de Interconexión (CME).

- Precio del Monómico Medio:

En primer lugar, se considera que toda la producción energética se comercializará en el Mercado Mayorista Eléctrico (MEM) a los precios de venta actuales de la energía eléctrica, habiéndose adoptado para este trabajo el valor medio del monómico correspondiente al período Enero 2012 - Diciembre 2012. Para determinar el valor medio del monómico de este período, se tomaron los valores medios mensuales obtenidos de CAMMESA y se convirtieron a dólares estadounidenses utilizando la paridad cambiaria correspondiente.

En el cuadro siguiente, se muestran los valores de los precios monómicos mensuales del período considerado, la paridad cambiaria utilizada y el valor mensual del monómico expresado en U\$/MWh. El valor promedio de la energía para el período Enero 2012 - Diciembre 2012 es igual a U\$S 56 /MWh.

- Costo Marginal de Expansión a Largo Plazo del Sistema Argentino de Interconexión (CME):

El CME, ha sido tomado igual al costo medio de generación de un Ciclo Combinado nuevo, considerando los costos totales de construcción, operación, mantenimiento y combustibles.

Los valores característicos del Ciclo Combinado Turbogás-Turbovapor son:

- * Inversión: U\$S 800 /KW
- * Consumo específico: 1.600 kcal/KWh
- * Proporción de Combustibles:
 - Gas Natural = 70%
 - Gas Oil = 30%
- * Precios de Combustibles:
 - Gas Natural: U\$S 16,00 /10⁶ kcal
 - Gas Oil: U\$S 0,8 /litro
- * Vida útil: 30 años
- * Horas de Funcionamiento Anual: 7.000 hs
- * Operación y Mantenimiento anual: U\$S 2/kW-h

Utilizando estos parámetros, el Costo Marginal de Expansión a Largo Plazo del Sistema Argentino de Interconexión (CME) resulta igual a U\$S 85/MW-h.

Impuestos y Tasas:

En el presente trabajo, se ha considerado la aplicación del Impuesto a las Ganancias, con una tasa del 35%, además del impuesto a los Ingresos Brutos, con una tasa del 3%.

Asimismo, se ha considerado la aplicación del canon por Regalías Eléctricas que se aplica a nivel provincial y que está fijado en el 12% de los ingresos por venta de energía eléctrica. Se ha realizado una sensibilidad de este canon tomando valores iguales al 6% y también se ha considerado la no aplicación del mismo (0%).

Flujos de fondos:

Teniendo en cuenta estos criterios de evaluación, los flujos representativos de los Costos y los Beneficios del proyecto fueron valorizados de la siguiente manera:

COSTOS

- **Inversión Total:** se representó por los presupuestos de cada uno de los proyectos que se elaboraron en función de la información técnica disponible, tomando para todos una única fecha de referencia de los costos. Se elaboró también el cronograma constructivo y su respectivo cronograma de inversiones, lo que permitió calcular los intereses durante la construcción.
- **Costos de Operación y Mantenimiento Anual:** se estimaron como un valor porcentual de la inversión directa total realizada.

BENEFICIOS

La determinación de los beneficios de cada proyecto se realizó valorizando su producción energética

con el valor medio del monómico del MEM correspondiente al período Enero 2012 - Diciembre 2012 y con el Costo Marginal de Expansión a Largo Plazo del Sistema Argentino de Interconexión (CME).

Obtenidos de esta manera tanto los Costos como los Beneficios del proyecto, para obtener los Costos Actualizados de los proyectos, los Costos de Inversión Total y los de Operación y Mantenimiento Anuales, fueron actualizados al momento de puesta en marcha del emprendimiento utilizando las Tasas de Descuento adoptadas.

Se han calculado los Intereses Intercalares, aplicando las Tasas de Interés del 8%, 10% y 12% anual. Con el mismo procedimiento, se actualizaron los Beneficios de los proyectos, obteniéndose así los Beneficios Actualizados de los mismos.

INDICADOR DE VALOR

En este trabajo, el criterio utilizado para comparar los flujos de Beneficios y Costos que se utilizaron es el Valor Presente Neto (VPN) para Tasas de Descuento del 8, 10 y 12 % anual.

TASAS DE DESCUENTO

La Tasa de Descuento utilizada en la determinación del VPN fue cuidadosamente elegida, dado que tasas elevadas favorecen a los proyectos de baja inversión y alto costo de mantenimiento, mientras que bajas Tasas de Descuento favorecen a emprendimientos de alta inversión inicial y bajos costos de mantenimiento, tal cual son los aprovechamientos hidroeléctricos.

Hay diferentes criterios para la definición de la tasa a adoptar, quizás la más adecuada sería la utilización de tasas diferenciadas en el tiempo, para cada período en que se obtienen los beneficios netos: esto supone que los ingresos netos se reinvierten a la tasa vigente en ese período. Sin embargo, este criterio tiene el inconveniente de tener una imprevisión en el comportamiento futuro de las tasas de interés.

Como resultado de los estudios efectuados, se adoptó una tasa base del 10%, efectuándose sensibilidades al 8% y 12%.

BONOS DE CARBONO

En el presente trabajo, se han sumado a los Beneficios de los proyectos hidroeléctricos, potenciales ingresos por comercialización de los Bonos de Carbono del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en las oportunidades en que el proyecto no fuera rentable. En el presente trabajo, se ha adoptado el valor de U\$S 6 para la tonelada de CO₂ equivalente.

Se han considerado ingresos por MDL para períodos de 7, 14 y 21 años.

PERÍODO DE EVALUACIÓN

Se ha tomado un período de evaluación de 30 años.

Análisis de Resultados

En los Cuadros N° 1, 2 y 3, se vuelcan los resultados de las evaluaciones realizadas para los proyectos La Elena, Caridad y Huelches, respectivamente.

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO LA ELENA

En el caso de La Elena, se puede observar en el Cuadro N° 1 que el mismo presenta una rentabilidad negativa si se consideran sus beneficios valorizados con el costo monómico medio del MEM (U\$S 56/MW-h), no logrando obtener un Valor Presente Neto (VPN) positivo para las Tasas de Descuento utilizadas, a pesar de contar con los beneficios del MDL.

En el caso de que los beneficios de La Elena fueran valorizados con el Costo Marginal de Expansión a Largo Plazo del Sistema Argentino de Interconexión (CME), la rentabilidad del proyecto mejora notablemente, mostrando Tasas Internas de Retorno superiores al 10%.

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO LA CARIDAD

El proyecto La Caridad, como puede observarse en el Cuadro N° 2 presenta resultados económicos que pueden considerarse muy buenos, aún valorizando sus beneficios con el costo del monómico medio del MEM (U\$S 56/MW-h).

En ese sentido, puede verse que los VAN del proyecto son positivos para las tasas de descuento del 8 y 10%, en todas las hipótesis formuladas de aportes del Canon Provincial y de los aportes del MDL, presentando así Tasas Internas de Retorno (TIR) superiores al 10-11% y, en el caso de no aportar el Canon Provincial, las TIR son superiores al 12%.

Si los beneficios del proyecto La Caridad fueran valorizados con el Costo Marginal de Expansión a Largo Plazo del Sistema Argentino de Interconexión (CME), los beneficios se elevan notablemente, no siendo necesario, en este caso, contar con los aportes del Mecanismo de Desarrollo Limpio.

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO HUELCHES

El proyecto del aprovechamiento hidroeléctrico Huelches, como puede observarse en el Cuadro N° 3, presenta rentabilidad muy baja, dado que, valorizando sus beneficios con el costo del monómico medio del MEM (U\$S 56/MW-h), puede verse que los VAN del proyecto son negativos en las distintas hipótesis para las

tasas de descuento utilizadas. Este proyecto, presenta así Tasas Internas de Retorno (TIR) que son inferiores, en general, al 8%.

En la hipótesis de que los beneficios del proyecto se valoricen con el Costo Marginal de Expansión a Largo Plazo del Sistema Argentino de Interconexión (CME), los beneficios se elevan notablemente para tasas de descuento hasta el 10%, a excepción de la hipótesis de no estar gravado con el canon provincial. En general, este proyecto presenta Tasas Internas de Retorno superiores al 10%.

Resumen de resultados

					Cuadro N° 1
PROYECTO HIDROELÉCTRICO					
LA ELENA - 100 MW; 560 GW-h					
EVALUACIÓN FINANCIERA: RESUMEN DE RESULTADOS					
HIPÓTESIS PRECIOS	VALOR TARIFA (U\$/MWh)	MECANISMO DESARROLLO LIMPIO (Años)	VALOR PRESENTE NETO (\$)		
			TASA DE DESCUENTO		
			8%	10%	12%
BASE - 12% CANON PROVINCIAL	85.00	0	61,331,453	8,475,261	-41,630,039
		7	65,710,571	14,488,052	-34,902,118
		14	69,492,351	17,598,097	-32,052,504
		21	71,698,983	19,194,041	-30,889,991
6% CANON PROVINCIAL	85.00	0	82,230,402	28,639,667	-21,822,761
		7	87,450,395	34,330,646	-14,339,162
		14	91,232,175	37,440,690	-11,769,217
		21	93,438,807	39,036,635	-10,606,705
0% CANON PROVINCIAL	85.00	0	103,129,351	46,826,357	-2,562,511
		7	109,190,220	52,534,892	5,192,243
		14	112,971,999	55,644,937	7,762,188
		21	115,178,632	57,240,882	8,924,701
HIPÓTESIS PRECIOS	VALOR TARIFA (U\$/MWh)	MECANISMO DESARROLLO LIMPIO (Años)	VALOR PRESENTE NETO (\$)		
			TASA DE DESCUENTO		
			8%	10%	12%
BASE - 12% CANON PROVINCIAL	56.00	21	-41,326,468	-89,639,394	-130,694,942
6% CANON PROVINCIAL	56.00	21	-22,826,800	-72,969,906	-115,912,966
0% CANON PROVINCIAL	56.00	21	-4,839,233	-56,516,261	-101,189,417

					Cuadro N° 2
PROYECTO HIDROELÉCTRICO					
LA CARIDAD - 55 MW; 260 GW-h					
EVALUACIÓN FINANCIERA: RESUMEN DE RESULTADOS					
HIPÓTESIS PRECIOS	VALOR TARIFA (U\$/MWh)	MECANISMO DESARROLLO LIMPIO (Años)	VALOR PRESENTE NETO (\$)		
			TASA DE DESCUENTO		
			8%	10%	12%
BASE - 12% CANON PROVINCIAL	85.00	0	66,044,023	43,139,914	25,666,450
6% CANON PROVINCIAL	85.00	0	76,660,338	52,029,683	33,262,649
0% CANON PROVINCIAL	85.00	0	87,276,653	60,919,452	40,858,849
HIPÓTESIS PRECIOS	VALOR TARIFA (U\$/MWh)	MECANISMO DESARROLLO LIMPIO (Años)	VALOR PRESENTE NETO (\$)		
			TASA DE DESCUENTO		
			8%	10%	12%
BASE - 12% CANON PROVINCIAL	56.00	0	19,145,786	3,156,316	-12,074,524
		7	21,178,948	5,735,799	-8,946,697
		14	22,934,774	7,179,748	-7,708,913
		21	23,959,282	7,920,722	-7,169,175
6% CANON PROVINCIAL	56.00	0	26,451,637	9,946,050	-5,247,830
		7	28,875,206	12,309,971	-1,924,086
		14	30,631,032	13,753,920	-730,897
		21	31,655,540	14,494,894	-191,159
0% CANON PROVINCIAL	56.00	0	33,757,488	16,104,183	1,323,406
		7	36,571,463	18,754,575	4,662,658
		14	38,327,289	20,198,524	5,855,847
		21	39,351,797	20,939,499	6,395,585

					Cuadro N° 3
PROYECTO HIDROELÉCTRICO					
HUELCHES - 40 MW; 232 GW-h					
EVALUACIÓN FINANCIERA: RESUMEN DE RESULTADOS					
HIPÓTESIS PRECIOS	VALOR TARIFA (U\$\$/MWh)	MECANISMO DESARROLLO LIMPIO (Años)	VALOR PRESENTE NETO (\$)		
			TASA DE DESCUENTO		
			8%	10%	12%
BASE - 12% CANON PROVINCIAL	85.00	0	26,985,712	5,892,887	-14,049,743
		7	28,799,918	8,200,145	-11,258,758
		14	30,366,655	9,488,592	-10,161,071
		21	31,280,832	10,149,769	-9,679,458
6% CANON PROVINCIAL	85.00	0	36,458,732	14,615,485	-5,235,403
		7	38,621,300	16,699,909	-2,259,124
		14	40,188,037	17,988,356	-1,194,433
		21	41,102,214	18,649,533	-712,820
0% CANON PROVINCIAL	85.00	0	45,931,751	22,559,061	3,239,285
		7	48,442,682	24,924,026	6,229,428
		14	50,009,419	26,212,473	7,294,120
		21	50,923,596	26,873,650	7,775,732
HIPÓTESIS PRECIOS	VALOR TARIFA (U\$\$/MWh)	MECANISMO DESARROLLO LIMPIO (Años)	VALOR PRESENTE NETO (\$)		
			TASA DE DESCUENTO		
			8%	10%	12%
BASE - 12% CANON PROVINCIAL	56.00	0	-19,982,599	-39,181,189	-55,324,849
		7	-16,961,943	-36,318,216	-52,584,965
		14	-15,277,893	-34,623,202	-51,067,444
		21	-14,363,716	-33,962,025	-50,585,832
6% CANON PROVINCIAL	56.00	0	-11,745,336	-31,768,826	-48,728,862
		7	-8,369,289	-28,497,163	-45,636,505
		14	-6,802,552	-26,896,034	-44,162,180
		21	-5,888,375	-26,234,857	-43,680,568
0% CANON PROVINCIAL	56.00	0	-3,762,464	-24,458,533	-42,191,240
		7	-259,268	-20,789,568	-38,744,271
		14	1,307,469	-19,304,377	-37,301,791
		21	2,221,646	-18,643,200	-36,820,179

Conclusiones y recomendaciones

1. Los proyectos en relación a los PET:

- a. En relación al aprovechamiento del Carrenleufú, los proyectos se incluyen en los planes de desarrollo estratégico taxativamente.
- b. En el caso del Aprovechamiento hidroeléctrico de Huelches, éste se halla contemplado desde hace mucho tiempo en el desarrollo de la cuenca y sus estudios integrales, aunque no haya un desarrollo específico en los PET regionales al no ser considerado particularmente.

2. En relación a los estudios ambientales:

Uno de los mayores beneficios que presentan los aprovechamientos hidroeléctricos, es el reemplazo de generación térmica, con lo cual se produce una reducción de las emisiones de gases contaminantes generados por la quema de combustibles utilizados por las centrales termoeléctricas. Las centrales térmicas pueden incidir negativamente sobre los medios agua, suelo y aire, así como sobre el ser humano, los animales, la vegetación y el paisaje.

Los efectos ambientales de las centrales térmicas provienen del proceso de combustión así como de las emisiones de polvo y gases contaminantes y las disposiciones de los residuos que originan.

El perjuicio al ser humano puede ser directo (acción de gases contaminantes sobre el organismo) o indirecto (cadena alimentaria y alteraciones del medio ambiente). El SO_2 , NO_x , PM_{10} y O_3 , tienen entre sus efectos la reducción de la esperanza de vida, mientras que otros contaminantes emitidos como Benceno, partículas Diesel, 1-3 Butadieno, son cancerígenos. Los efectos no mortales de estos contaminantes llegan a la producción de afecciones en los órganos respiratorios, deficiencia cardíaca congestiva, cánceres no fatales, enfermedades cerebro-vasculares, entre otros efectos. Los problemas sanitarios incluyen la ingestión de metales pesados (Plomo, Cadmio, Mercurio) a través de la cadena alimentaria (agua potable y productos vegetales y animales).

La salud humana también se puede ver afectada por el calentamiento global, acidificación de aguas superficiales, desaparición de bosques por lluvia ácida o efecto invernadero por acción de los GEI. Otro tipo de contaminante ambiental de una central térmica sobre la salud humana lo constituye el ruido.

- a. Del análisis de los estudios ambientales realizados, en principio puede concluirse que aunque los proyectos presentan impactos positivos y negativos sobre el ambiente, en general los mismos no resultan de envergadura importante. No obstante, surge la necesidad de actualizar los mismos, dado el tiempo transcurrido desde la realización de los mismos.
- b. Debería realizarse una nueva evaluación del uso de la tierra, cuya ocupación puede ser diferente con referencia al momento de realizarse los estudios mencionados. Asimismo, las nuevas técnicas productivas y tecnológicas aconsejan revisar los proyectos de desarrollo

forestal y agropecuario que se desarrollaron en su momento.

- c. De igual manera, es probable que el Medio Socio-económico del área sea diferente del existente en los momentos en que se desarrollaron los estudios, por lo cual es posible que las demandas de ocupación territorial y de uso del recurso suelo y agua pudieren no coincidir con las demandas actuales.

3. Los estudios hidrológicos:

- a. La Caridad y la Elena: son suficientes con un adecuado registro de datos que permiten asumir como confiable la producción energética. En cuanto a los caudales de seguridad para el dimensionamiento de las obras de evacuación podrían verificarse con la actualización de datos nuevos en los registros, aunque no aparecen como influyentes en los criterios de diseño utilizados.
- b. En Huelches se da el mismo caso con los registros naturales aunque puede haber algún cambio en la utilización consuntiva de los mismos.

4. Los estudios geológicos y geotécnicos:

a. La Caridad

En lo concerniente al APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO LA CARIDAD, elaborado por AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA S.E. (AYE), cabe destacar que la orientación de los estudios geológicos y geotécnicos realizados también tuvo como finalidad esclarecer acerca de los principales condicionantes que aparecían en este proyecto: los depósitos morénicos presuntamente permeables en el área del vaso de la presa y que también podrían interesar al túnel de conducción dependiendo de la cota de diseño del mismo y la debilidad estructural que presenta el macizo rocoso en el área de implantación de la presa y probablemente del túnel de conducción en una buena parte de su recorrido.

En forma somera se estudiaron estos aspectos con investigaciones geofísicas, que permitieron establecer los contactos entre el macizo de roca y los depósitos glaciogénicos suprayacentes. Algunos datos de permeabilidad y modelización llevados a cabo para La Elena son aproximadamente válidos para este caso, aunque deben realizarse estudios de campo a tal efecto.

La fundación de la presa y la travesía del túnel de conducción presentan problemas geotécnicos como: orientación de estratos proclives a deslizamiento, debilidad estructural (zonas de falla o cizallamiento) y otros que deberán ser estudiados en profundidad para una etapa de Anteproyecto o Factibilidad, ya que los problemas que han sido detectados ameritan una inversión importante en este aspecto.

b. La Elena

En lo referente a las condiciones geológicas y geotécnicas del proyecto del APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO LA ELENA elaborado por AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA S.E. (AYE), cabe destacar que la orientación de los estudios geológicos y geotécnicos realizados tuvo como finalidad esclarecer acerca de los principales condicionantes que aparecían en

La Elena, a saber los depósitos morénicos presuntamente permeables en el área del vaso de la presa, y la debilidad matricial y estructural que presenta el sustrato rocoso granítico (Granitoide Río Hielo) en el área de la tubería forzada y la casa de máquinas.

En lo que concierne a los depósitos morénicos, los resultados de los estudios permitieron concluir que los potenciales problemas que se presentaban, no tenían la magnitud que se preveía y que si pueden producirse pérdidas de agua, éstas serían mínimas y no entrañarían arrastre de materiales.

En lo que concierne al sustrato de fundación en el área tubería forzada y central, los primeros estudios habían detectado, una debilidad tanto matricial (alteración) como estructural en el macizo rocoso en la zona de implantación de estas obras, por lo cual se modificó el criterio de diseño de la obra pasando a considerar una tubería de conducción exterior, lo cual fue posible dado la existencia de roca apta para fundar a una profundidad aceptable. El resto de las obras civiles del proyecto no presenta dudas sobre la viabilidad técnica de su construcción.

Los yacimientos de materiales, en especial los granulares, presentan volúmenes que exceden largamente las necesidades de las obras. Sin embargo en el caso del yacimiento EG 3 (granulares en el área de la presa), presenta algunos materiales deletéreos y una diferencia de cota con relación a la presa importante, lo que obliga a prestar una atención especial a ambos condicionantes.

En el caso de yacimientos de cohesivos, es necesario estudiarlos con mayor profundidad. En lo que refiere al proyecto e investigaciones geológico geotécnicas realizadas con posterioridad a la etapa de AYE, cabe destacar que se propusieron modificaciones sustanciales de proyecto con vías a la Construcción de la Obra, sin apoyo en investigaciones geológicas y geotécnicas que aporten un sustento a las mismas.

Si bien algunas de las propuestas realizadas aparecen como interesantes, se considera que para aceptar algún cambio en el proyecto, el mismo debe estar ampliamente documentado, con una fuerte investigación de campo, incorporando un análisis de lo ya realizado, investigaciones complementarias y específicas (estado tenso deformacional del macizo, entre otros) sobre todo in situ.

c. Huelches

De la Información recopilada puede decirse que el proyecto del APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO HUELCHES, posee estudios avanzados con información autosuficiente para un nivel de Prefactibilidad, restringida en cuanto a lo que actualmente se considera como investigación del subsuelo, que debe complementarse según las conclusiones del informe de geología geotecnia.

Existe un desarrollo importante previo de la topografía del emplazamiento elegido en su oportunidad para Huelches y un estudio geológico de superficie, que alcanza a los materiales de cobertura de la roca subyacente, así como también relevamientos de diaclasas, fracturas y fallas para el mismo sitio.

5. El análisis de la disposición y de los componentes de las obras:
 - a. En La Caridad es posible el planteo de obra que se dispone del proyecto antecedente, aunque puede pensarse en algún otro tipo de obra principal como presa con HCR, pero que en todo caso mejorarían los costos.
 - b. En La Elena se ha desarrollado lo suficiente como para adoptar la solución prevista, aunque puede aparecer algún condicionante de tipo ambiental que condicione la cota de coronamiento.
 - c. En Huelches el diseño es típico de las soluciones actuales por lo que se considera aceptables las disposiciones de obra y la solución a este nivel.

6. El análisis de los equipamientos Hidroeléctromecánicos:
 - a. Al utilizar las herramientas del Sistema RETScreen se han confirmado los equipamientos seleccionados originalmente de los proyectos antecedentes.

7. El análisis de los presupuestos:
 - a. Al utilizar el sistema de costeo del sistema RETScreen se consigue resolver un tema muy importante, difícil de alcanzar con precios de mercado, que es el costeo water-to-wire de los equipamientos que incluyen turbinas, generadores y todo equipo complementario de obra civil y electromecánica de operación y control necesario para la generación de energía.
 - b. El sistema tiene en cuenta las características locales para la provisión del resto de los insumos aunque esto es perfectible, pero los costos se entienden como razonables a este nivel.
 - c. En el caso particular de La Caridad, éste aparece como un valor intermedio, más bajo que el de 1994 entre los presupuestos antecedentes, por lo que se vuelve como un aprovechamiento interesante que amerita elevar el nivel de análisis primero en gabinete y luego de confirmarse su posible conveniencia complementarlo con estudios en campo para elevar su nivel de conocimiento.

8. La Evaluación Económica:
 - a. Los resultados de los análisis económicos realizados en este trabajo, bajo la hipótesis de inversión netamente a cargo de un inversor privado, indican que la rentabilidad que entregan los proyectos está íntimamente vinculada con la remuneración que perciben por venta de la energía eléctrica generada, entregando los mejores resultados el proyecto La Caridad.
 - b. En los resultados obtenidos tienen gran influencia las exigencias que reciben las inversiones por aportes del 35% del Impuesto a las Ganancias y el 3% de Ingresos Brutos, al igual que el Canon Provincial del 12%.
 - c. Si se planteara la construcción de estos proyectos desde la órbita del estado, y no se consideraran los cargos impositivos mencionados, la rentabilidad mejora notablemente, alcanzando Tasas Internas de Retorno superiores al 8% para La Elena, el 9% para Huelches y

más del 15% para La Caridad, con la hipótesis de venta de la energía al precio medio del MEM (56 U\$/MWh). Si se considera el aporte del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), las tasas de rentabilidad mejoran aún más.

- d. Es claro que la carga impositiva vigente tiene un peso importante en la rentabilidad de estos proyectos, por cual, para que sea atractiva la construcción de los mismos por el inversor privado, será necesaria la intervención supletoria del Estado.
- e. La capacidad financiera es un elemento fundamental a considerar, en particular en el caso de los inversores privados que buscan construir los aprovechamientos hidroeléctricos para explotarlos comercialmente. Para favorecer la iniciativa privada, es necesario contar con una ingeniería financiera que permita la obtención de créditos a largo plazo, con tasas adecuadas a la realidad de dichos proyectos, y un sistema de garantías que permita la obtención de créditos para los inversores privados. En este punto, puede ser muy importante la intervención del Estado para facilitar esta gestión crediticia.
- f. En forma complementaria a este punto, debe contarse con un sistema retributivo adecuado para la energía comercializada por las centrales hidroeléctricas para mejorar la rentabilidad de las tarifas vigentes, tal cual los resultados obtenidos en las evaluaciones económicas realizadas en este trabajo. Un elemento a tener en cuenta al momento de decidir la estructura tarifaria, son los beneficios que presentan al reducir la quema de combustibles de origen fósil, con las consecuentes reducciones de emisiones de gases contaminantes al ambiente.

Síntesis

Puede decirse, entonces, que los Aprovechamientos que han sido analizados en este informe constituyen una fuente de energía renovable de bajo impacto ambiental y de buenos beneficios económicos.

En consecuencia resulta pertinente recomendar que se continúe avanzando con los estudios necesarios a fin de afianzar las posibilidades de sus construcciones.

