

▶ **HITOHISTÓRICO**



CENTRAL HIDRÁULICA RAPEL ENERGÍA QUE ATRAVIESA EL TIEMPO

NICOLE SAFFIE G.
PERIODISTA REVISTA BIT



Fue la más grande en su momento y hasta hoy cumple un rol importante en el panorama energético nacional. La Central Hidráulica Rapel –construida exactamente hace 40 años– se constituyó en todo un hito de la ingeniería, no sólo por la magnitud de la obra, sino porque su muro de hormigón en forma de arco contiene un enorme caudal y disminuye la fuerza del agua con sus originales “saltos de esquí”.

FICHA TÉCNICA

H

ASTA EL SIGLO XIX, el enorme potencial hidráulico de los ríos chilenos sólo se había utilizado en la molienda del trigo y en algunas experiencias aisladas. Muy poco. En 1897 las cosas comenzaron a cambiar, se dio un gran salto al sustituir las ruedas hidrúlicas por las turbinas generadoras de electricidad. Así nació Chivilingo, la primera central hidroeléctrica de Chile, ubicada en la Octava Región.

Este desarrollo tomó un gran impulso con la creación de la Empresa Nacional de Electricidad (Endesa) en 1944, compañía que se abocó a la construcción de una serie de centrales hidroeléctricas. En este tiempo, como ahora, en Santiago crecían las necesidades energéticas. Había que hacer algo. Se comenzó a estudiar el río Maipo, en plena Región Metropolitana, que poseía una gran hoya o cuenca hidrográfica. Pero la mala calidad de los terrenos de fundación demandaría una altísima inversión. Se desechó rápidamente ese proyecto y de inmediato surgió un prometedor candidato: el río Rapel, en la Sexta Región, de 230 km de longitud y nacido de la unión de los ríos Cachapoal y Tinguiririca.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Potencia instalada: 350 MW

Generación media anual: 1.379 GWh

Frecuencia: 50 Hz

Caudal turbinable: 535,0 m³/s

Altura de caída neta: 75,5 m

EMBALSE

Volumen total del embalse: 696 millones m³

Muro de presa: Bóveda de hormigón

Altura por long. de coronamiento: 112 x 350 m

VERTEDERO

Capacidad de vertimiento: 10.000 m³/s

Número de compuertas: 5

CARACTERÍSTICAS UNIDADES

Potencia por unidad: 75,4 (MW)

Tipo turbina: Francis de eje vertical

Tensión generador: 13,8 (kV)

Potencia transformador: 28,5 (MVA)



La Central Hidroeléctrica de Rapel aprovecha las lluvias en invierno y sirve como reguladora del sistema eléctrico de la zona.

Sí a Rapel

Las fortalezas para construir una represa en Rapel empezaban en su cercanía a Santiago, a tan sólo 120 km al suroeste de la capital, asegurando el abastecimiento energético de la zona central. Otro punto positivo estaba en su enorme hoya hidrográfica que drena una superficie total de 13.695 km², una de las más grandes del país según el estudio “Cuenca del río Rapel”, de la Dirección General de Aguas, diciembre de 2004. Este sistema hidrográfico tiene un régimen característico pluvial-glacial complejo con dos máximas anuales, un peak en agosto y otra menor en diciembre. El gasto o cantidad de agua media del río cerca de su desembocadura es de 162 m³/segundo.

“Los ríos Cachapoal y Tinguiririca tienen hoyas muy importantes; con las lluvias atraen mucha agua y hacen que el Rapel sea muy caudaloso”, explica Hiram Peña, ingeniero que estuvo a cargo del estudio y las obras de la central Rapel. De esta forma, esta nueva planta aprovecharía los altos gastos producidos por las lluvias en invierno y serviría como reguladora del sistema eléctrico zonal.

Otra característica a favor eran los terrenos en donde estaba emplazado el río Rapel. Se trata de “alfisoles” o suelos con buen grado de evolución, los que se han desarro-



Soluciones Concretas para Armaduras en Corte y Doblado

llado directamente a partir de roca granítica. Son de buena calidad, con texturas livianas a medias en el horizonte superficial, mientras que en la profundidad se registra abundante contenido de arcillas. Esta composición favorece la impermeabilidad de los suelos.

Además, el río Rapel conforma una especie de embudo que orienta su parte más ancha hacia el este y la más angosta al poniente. La última constituye una verdadera garganta, formada por el río al horadar la roca con el paso del tiempo, facilitando la construcción de un embalse que represara el agua. Todo a favor, se construía la represa en Rapel.

Todo un desafío

El primer estudio de la Central Hidroeléctrica Rapel fue realizado en 1938, por el Departamento de Riego de la Dirección General de Obras Públicas. Según este documento, "por sus características extraordinarias, (este proyecto) constituye una novedad en la ingeniería chilena". Con este antecedente de peso, el informe pasó a ENDESA en la década del '40. Sin embargo, las obras comenzaron casi dos décadas más tarde. Esto se debió a que aún no se requería una central de las dimensiones de Rapel. De hecho, como comenta Hiram Peña, "la central que estudió el Departamento de Riego era mucho más grande que la ejecutada finalmente. Se hacía un embalse más alto, inundando una mayor cantidad de terreno".

La pregunta es obvia, ¿por qué se construyó una central más pequeña que la estudiada? La respuesta es simple: las dificultades en la compra de tierras. En esa época, los terrenos a inundar por la central pertenecían a más de quinientos propietarios, desde quienes poseían grandes extensiones hasta aquellos que tenían unos pocos metros cuadrados. Nada sencillo. Los trabajos recién comenzaron a principios de la década del '60, inundando 8.000 hectáreas.

Los escollos quedaron atrás y se dio luz verde para el inicio de las faenas. Primero se secó un tramo del río para ejecutar las obras. Para ello, se perforó un túnel en el cerro y se levantó una ataguía para desviar el paso de las aguas a 150 m más arriba de los trabajos. Como explica Peña, "se hizo un tranque

que formó un pequeño embalse y se desvió el agua hacia el túnel, para eliminarla a través de otro tranque construido más abajo".

A continuación había que cerrar la garganta rocosa para embalsar el agua. Un nuevo desafío a la vista ¿Cómo construir una presa de más de 100 m de altura, que soportara la fuerza de un tremendo volumen de agua acumulada? La solución fue construir un muro en forma de arco. "Como el agua empuja horizontalmente, se usó el 'efecto del arco'. Es decir, el agua empuja hacia los apoyos. Al ser éstos de granito, se aprovecha mejor la condición natural del terreno y además se emplea menos hormigón. Si se hiciera un muro recto, habría que colocarle peso adicional para soportar la fuerza del agua", comenta el jefe de la obra.

No se exagera, Rapel representó una potente innovación para Chile. De hecho, en el país no existía otra presa de este tipo. Por ello, ENDESA contrató los servicios de la empresa francesa Coyne y Bellier, con amplia experiencia en este tipo de obras en Europa. Un tema aparte, porque el propietario de esta empresa, el ingeniero hidráulico André Coyne, participó en el estudio de Malpasset, una presa en arco más baja que la de Rapel, en la Costa Azul, Francia. Por una falla en la roca donde se apoyaba la presa francesa, el muro no soportó la fuerza del agua, la estructura colapsó y se desplomó casi por completo en diciembre de 1959, provocando la muerte de más de 400 personas que vivían en las cercanías.

El antecedente generó inquietud en el Banco Mundial, organismo que otorgó el préstamo para construir la central Rapel, y formó un "Comité de Sabios" para examinar el proyecto. Expertos extranjeros llegaron a Chile para revisar los estudios de la presa que se comenzaba a construir. Todo aprobado afirmó el "Comité de Sabios", podían continuar las obras.

Los desafíos no terminan. Había que evacuar las grandes crecidas del río. Se calculaba que con las fuertes lluvias invernales se podían llegar a acumular hasta 10.000 m³/segundo, un volumen impresionante que se debía eliminar sin erosionar el terreno. ¿Cómo? André Coyne propuso una idea: el



**Mejor Calidad de las Armaduras.
Menores Costos Totales.
Cero Desperdicio.
Menor Costo Financiero.
Eliminación de Espacios Físicos
en la Obra.
Simple, Seguro y Operativo.
Servicio Post Venta Permanente.
Mayor Capacidad de Respuesta y
Flexibilidad en las Entregas.**



ARMACERO®

Respuestas en armaduras de acero.

CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN CHILE

Chivilingo, en la VIII región, fue la primera central hidroeléctrica del país, construida para abastecer las minas de carbón de Lota. Paralelamente, el desarrollo urbano de Santiago estimuló la instalación de tranvías eléctricos, los que funcionaban gracias a la central termoeléctrica Mapocho, alimentada a carbón. En aquella época, como la corriente generada era continua y no podía trasladarse a grandes distancias -debido a las pérdidas por resistencia de los cables- las centrales eléctricas se construían cerca de las áreas de consumo.

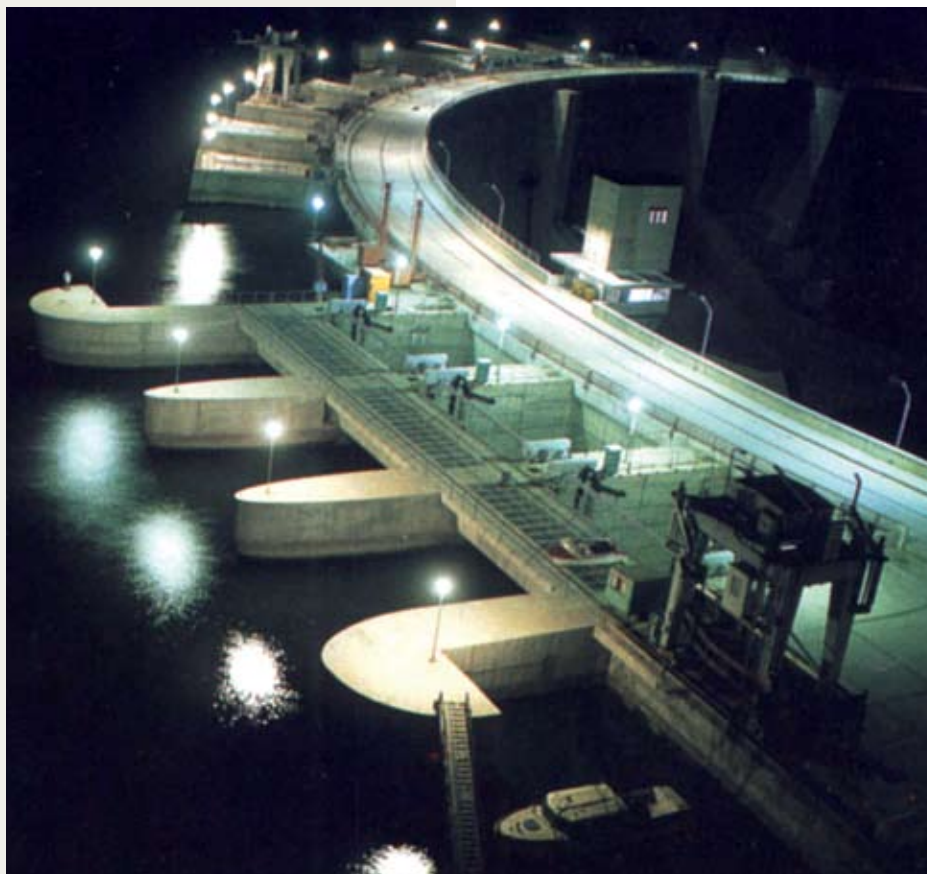
Gracias a los avances tecnológicos, fue posible transformar la corriente continua en alterna. Esto se logró elevando su potencial y disminuyendo la intensidad, minimizando así las pérdidas por conducción. Así se instaló cerca de Valparaíso la central El Sauce, la primera hidroeléctrica con alternadores del país. En 1909 se inauguró la central Florida, dando origen al llamado "Núcleo central". Dichas obras estaban destinadas a abastecer la demanda urbana de Santiago y Valparaíso; otras ciudades también hicieron lo suyo y construyeron sus propias redes eléctricas.

En 1905 se fundó la Compañía General de Electricidad, para aprovechar los saltos de agua de la región del Bío-Bío y Concepción. Pero el período de mayor auge de la electricidad en Chile fue la década del '20. En esta época se fundó la empresa chileno-estadounidense "Compañía Nacional de Fuerza Eléctrica" (CONAFE) y se construyó la hidroeléctrica de Maiteines, en el río Colorado, un afluente del Maipo. Seis años después se creó la Sociedad Austral de Electricidad (SAESA) en la Novena región. Luego, en 1928 se inauguró la central hidroeléctrica de Queltehue y se perfeccionó la interconexión entre las redes de Santiago y Valparaíso.

Pese a los avances, hasta fines de 1939 Chile era uno de los países menos desarrollados en cuanto al uso de la electricidad de la región. La situación empezó a cambiar, ese mismo año, con el establecimiento de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), entidad estatal que planificó la electrificación sistemática del país. La encargada de desarrollar este plan sería la Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA), creada en 1944 con el propósito de optimizar los recursos hidroeléctricos.

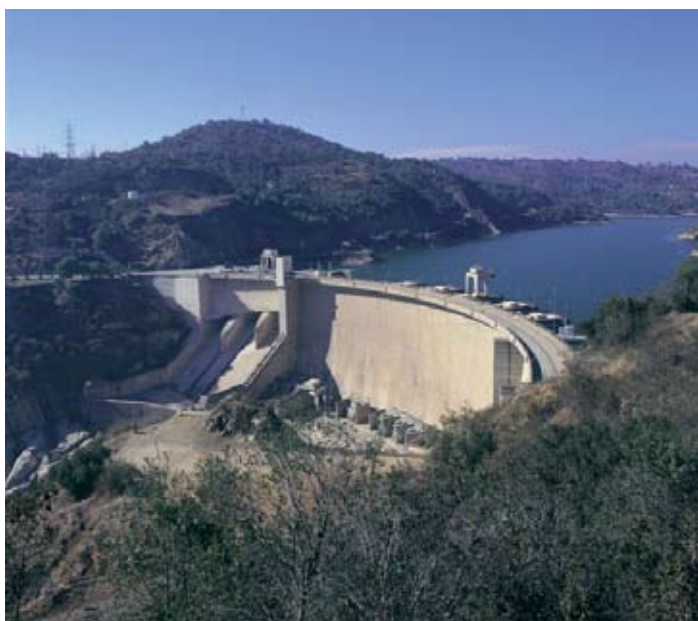
De esta manera, ENDESA comenzó la construcción de grandes centrales: Pilmaiquén, en 1944 (X región), Sauzal (VI región) y Abanico (VIII región) en 1948, y Los Molles en 1952 (IV región). Sin embargo, la mayor obra fue Rapel, inaugurada en 1968.

¿Cómo construir una presa de más de 100 m de altura, que soportara la fuerza de un tremendo volumen de agua acumulada? La solución fue construir un muro en forma de arco.



llamado "salto del esquí", utilizado en otras presas en Europa, siendo la primera en la francesa Marèges, en 1935.

¿Salto del esquí? Sí, eso. Se trataba de dos rebales de 47,6 m de ancho cada uno, con forma de los saltos que se encuentran en la práctica de esquí. Tal cual. Por estas estructuras el agua que salía por las compuertas desde el pie de la presa se expulsaba hacia arriba a gran velocidad, chocando los dos torrentes en el aire y cayendo como gotas de lluvia. Así, se restaba energía al agua, que descendía suavemente sin erosionar el suelo. Hasta la fecha, la máxima cantidad de agua expulsada por rebalse ha sido 7 mil m³/segundo, y el sistema de "salto de esquí" ha respondido exitosamente.



Las faenas se prolongaron por alrededor de siete años. En ella participaron más de dos mil obreros, técnicos e ingenieros, que trabajaban en turnos continuos.



En la historia

La obra escribió una de las grandes páginas de la construcción chilena. Las faenas se prolongaron por alrededor de siete años. En ella participaron más de dos mil obreros, técnicos e ingenieros, que trabajaban en turnos continuos día y noche. Ellos se instalaron con sus familias en un campamento ubicado cerca de la quebrada de Querentaro, en Rapel, en unas viviendas livianas desmontadas tras el término de la presa, salvo unas pocas que quedaron en poder de ENDESA. "Era una verdadera ciudad. Teníamos escuela, hospital, pulpería y casino", relata Hiram Peña.

El abastecimiento de este enorme campamento provenía de Santiago, por medio del camino que ENDESA construyó de Melipilla hasta Rapel. Hasta ese entonces sólo existía una calle de tierra, por lo que se uti-

lizó la llamada "Ley del tercio" –Ministerio de Obras Públicas asumía dos tercios del costo y la compañía el resto– para pavimentar la vía.

Así se pudieron trasladar los materiales hasta el lugar de las faenas y facilitar la logística de abastecimiento. "Colocamos 700.000 m³ de hormigón. La arena y las piedras las extraíamos del mismo río, y el cemento venía desde La Calera", acota Peña.

Por otra parte, los equipos se importaron desde el extranjero como las turbinas Hitachi provenientes de Japón. Se desembarcaban en el puerto de San Antonio y de ahí se trasladaban por tierra hasta Rapel, por lo que ENDESA también debió mejorar esa carretera, conocida como el "Camino de la Fruta".

"La maquinaria utilizada en la construcción fue impresionante para la época. Para colocar el hormigón se usaban unas máquinas que se llaman 'cable de rieles'. Consisten en dos equipos gigantescos a cada extremo del río unidas por un riel que desplaza un cable que contiene un carro. Éste a su vez posee una grúa que vierte el hormigón", explica Hiram Peña.

Las fundaciones, otro reto. Para los cimientos se hicieron profundas excavaciones y se instalaron sobre granito reforzado con hormigón, formando una base de 18,6 m de ancho por 350 m de largo, que atravesaba toda la quebrada. Así comenzó el largo ciclo de perforaciones, encadenamiento de moldajes, estructuras de hierro y la colocación del hormigón. El resultado monumental: un muro de 112 m de altura, con un radio de

MAC

MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

POSTULACIÓN 2º SEMESTRE 2008

- ✓ **Programa único de su clase en Chile:** combina una formación en gestión de proyectos, gestión de producción y gestión de negocios con aspectos técnicos del sector.
- ✓ **Dirigido** a ejecutivos y profesionales del ámbito público y privado, que participan en obras civiles, industriales, mineras y del sector inmobiliario, incluyendo a gestores urbanos.
- ✓ **Orientado** a las necesidades reales de los profesionales.
- ✓ **Prestigioso cuerpo docente.**
- ✓ **Acceso a becas** de la Cámara Chilena de la Construcción y Universidad Católica.



INFORMACIONES Y CONTACTOS:

Postulación y Admisión 2º semestre 2008

www.macuc.cl

coordinacionmac@cchc.cl

376 33 75 – 354 7035

La Central Hidroeléctrica Rapel se convirtió en el proyecto más grande de los años '60, con un volumen total de 696 millones de m³ y una producción media anual de 1.000 millones de Kwh.

curvatura en la parte superior de 174 m y 350 m de largo.

En la parte exterior del muro se encontraba la casa de máquinas, verdadero corazón de la central. Se llega a ella por un túnel de 46 m de largo y 7 m de diámetro, cuya boca está en la cota 60 bajo el muro. Allí se instalaron cinco cilindros de gran volumen que transportan el agua hacia las turbinas. Cada uno tiene una capacidad de 70 MW, con un total de 350 MW.

Para la transmisión de la energía se construyó una línea de 220.000 V que une la central Rapel con la subestación Cerro Navia en Santiago, y otra de 66.000 V que se extiende hasta la subestación Melipilla.

Tras la construcción, llegó el gran momento. Conteniendo la respiración se probó la resistencia de la represa en 1968. Se cerraron las compuertas de la base y se clausuró el túnel de desviación. Lentamente se elevó el nivel de las aguas. Antes de terminar la etapa de llenado, se probaron las grandes compuertas de los evacuadores dejando salir el agua, la cual salió con gran estruendo por el salto de esquí y cayó suavemente, en un espectáculo impresionante. Todo bien. La obra funcionó a la perfección y se inauguró el 21 de junio de ese año, paradójicamente en uno de los inviernos más



secos de la historia del país.

La Central Hidroeléctrica Rapel se convirtió en el proyecto más grande de esos años, con un volumen total de 696 millones de m³ y una producción media anual de 1.000 millones de Kwh. Sin dudas, un hito de la ingeniería en Chile. ■

www.endesa.cl

EN SÍNTESIS

En 1957 partieron las obras de la Central Hidroeléctrica Rapel, en la VI región, con el fin de abastecer la zona central, cuyo sistema energético estaba sobrecargado y obsoleto. La construcción debió enfrentar varias dificultades. Para partir, la compra de terrenos a más

de quinientos propietarios, lo que demoró en varios años el inicio de los trabajos. Luego, el problema era cómo contener la fuerza del agua, lo que se resolvió con un muro de hormigón en forma de arco. Por otra parte, se trataba de un río sumamente caudaloso con fuertes crecidas en invierno, por lo que había que idear la manera de eliminar los excesos. Se crearon entonces los "saltos de esquí", dos evacuadores que permitían botar el agua, la que perdía su fuerza al chocar en el aire, cayendo al suelo sin erosionarlo. De esta forma, este verdadero gigante se transformó en la central más grande de la época, aportando una producción media de 1.000 millones de Kwh al año.



Líderes en fundaciones especiales

Av. Alonso de Córdova 5151, oficina 1401, Las Condes
Teléfono 4372900



**Muro Pantalla
Seawater Intake
GNL Quintero**

Representantes exclusivos de:

**ISCHEBECK
TITAN**

www.terratest.cl

Agrega Color a tus veredas

Artevia

ARTE EN CONCRETO

Color que permanece

Artevia® Color es una colección de concretos de color en una amplia gama de tonalidades. Suave o brillante; natural o intenso, **Artevia® Color** permite crear **coloridos diseños** en concreto como nunca antes.

Contacto

Max Cifuentes_Product Manager

Fono (56-2) 367 8724_Móvil (9) 8 209 9118

E_mail: max.cifuentes@lafarge.cl

WWW.LAFARGE.CL

LAFARGE

damos *vida* a los materiales