

La nueva central Ralco ya no tiene secretos, tres protagonistas de esta mega obra desmenuzan sus principales aportes tecnológicos para la industria de la construcción.

Por Josefina Lamas U.

Ralco: «Presa» de la tecnología

Innovadoras herramientas tecnológicas y procesos aplicados en su planificación, ejecución y control convierten a la central hidroeléctrica Ralco, que entrará en operaciones en los próximos meses, en una obra emblemática para el sector de la construcción. Para superar complejos desafíos como el clima adverso y un terreno agreste, se utilizaron tecnologías y mecanismos constructivos de punta para montar una de las represas más grandes del mundo en los altos del Bío Bío, en la novena región de nuestro país. Profesionales que participaron activamente de este proyecto destacaron seis hitos tecnológicos de Ralco.

Hormigón compactado con rodillo

La innovación de la técnica del Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), que se utiliza en toda la presa salvo en la zona central del vertedero compuesta por hormigón armado convencional, sobresale por una aplicación más sencilla que simplifica el proceso constructivo en comparación con el hormigón habitual. «Es un gran avance tecnológico en la construcción debido al rendimiento de colocación del hormigón que se alcanza con esta técnica, incluso se duplica en relación con el sistema tradicional», afirma Hernán Zabaleta, ingeniero asesor de Ingendesa y especialista en hormigones.

Esta técnica posibilitó que la presa se

construyera en capas de 30 cm de espesor en donde el hormigón utiliza una dosis de agua del orden de 110 a 120 l/m². Además, el HCR se compacta con un rodillo a diferencia del convencional que emplea un vibrador, que aunque permite compactar capas más gruesas, no otorga la trabajabilidad requerida por el hormigón y su proceso es más lento. «Se pueden lograr rendimientos similares a los logrados con el HCR, pero con mayores recursos. El ejemplo está en la presa de Rapel que se construyó con hormigón convencional y demoró 3 años. En cambio en Pangué, presa del mismo volumen, se utilizó el HCR y los tiempos se redujeron a la mitad», explica Zabaleta.

Esta novedosa técnica comenzó a utilizarse en la década de los '80 en Estados Unidos y en nuestro país se aplicó por primera vez en 1995 (Pangué) y ahora en Ralco, convirtiéndose esta última en la 3^{er} más grande del mundo. Además, en Europa, particularmente en España, la técnica HCR se utiliza como base en pavimentos porque disminuye costos e incrementa la velocidad de ejecución.

Material: Alta definición

Para mejorar la impermeabilidad del hormigón se agregó al cemento un material fino o filler, compuesto por

arena molida y seca, al punto de quedar tan delgada como el cemento (finura de alrededor de 3 ml). El filler -elaborado en obra- llena los espacios de la banda granulométrica y la hacen más precisa y constante. Además su utilización incidió principalmente en un menor costo sin afectar su resistencia característica de 180 kg/cm².

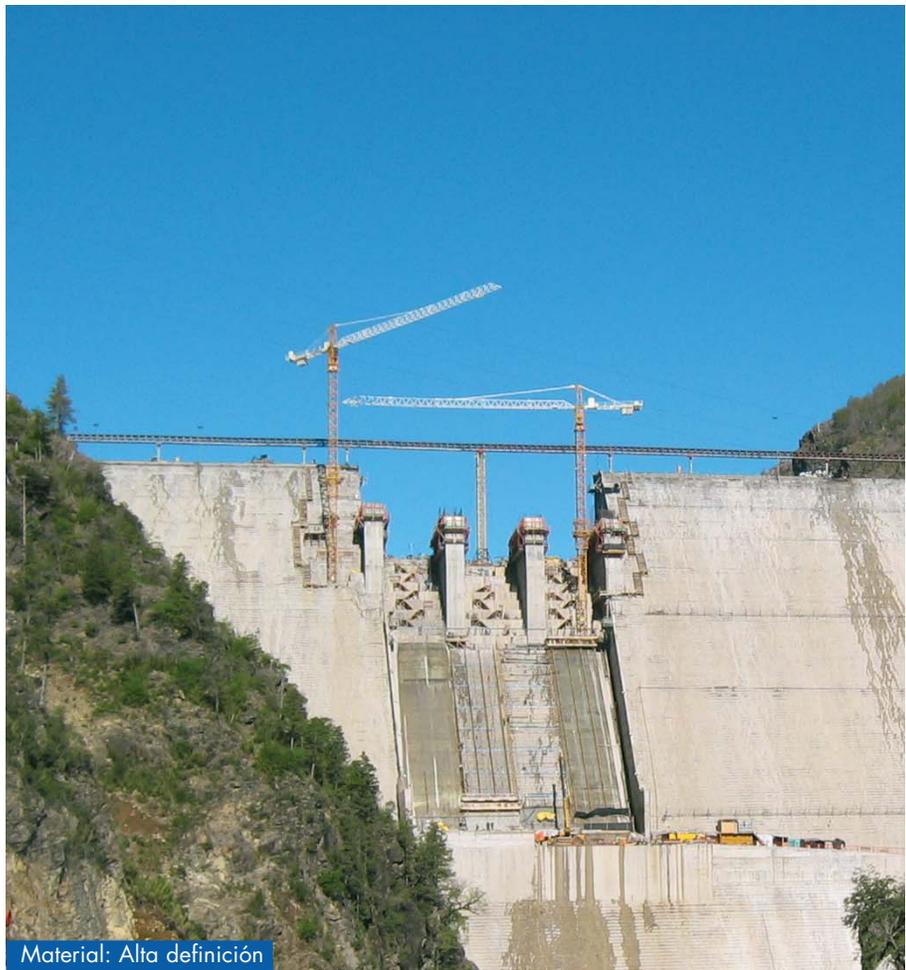
Como la presa se encuentra en un área de alto riesgo sísmico, el diseño de la estructura consideró aceleraciones del terreno de 0,18 gr para el sísmo de operación y 0,28 gr para el movimiento máximo probable. Por lo tanto, la resistencia requerida del hormigón fue establecida por este análisis estructural, tomando en cuenta las diferentes combinaciones de carga y factores de seguridad. Para diseñar las mezclas y dosificaciones del hormigón se utilizó el método Faury, considerándose un nivel de confianza del 80% y un coeficiente de variación del 15%. Finalmente, los estudios de laboratorios y pruebas permitieron establecer las dosis mínimas de cemento para satisfacer los requerimientos en cantidades de 190, 165 y 135 kg/m² para las tres zonas que componen la obra. Aunque en pocos países se recurre al método Faury, la novedad está en que «permite simplificar los estudios previos a la construcción, alcanzando mayor precisión», dice Zabaleta.



Hormigón compactado con rodillo



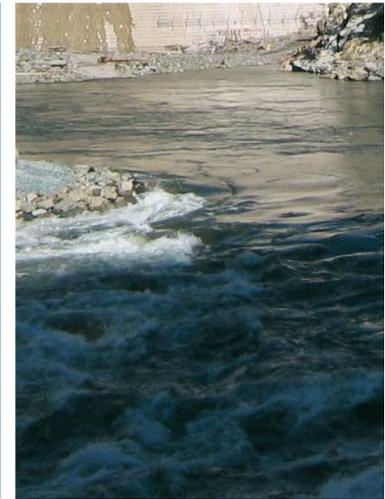
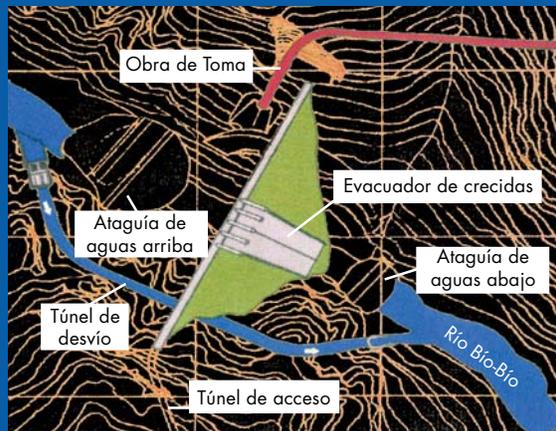
Hormigón enriquecido con lechada (HCR-EL)



Material: Alta definición

Ficha técnica de Ralco

Altura:	155 m. (en superficie, 180 m. en total)
Longitud de coronamiento:	360 m.
Cemento:	270.000 ton.
Filler:	150.000 ton.
Áridos:	3.200.000 ton.
Cinta Transportadora:	volúmenes transportados 400 m ³ / h (se alcanzó 600 m ² / h)
Rendimiento máximo de colocación de HCR:	7.793 m ² / día



Hormigón sobre ruedas



Túnel de aducción

Hormigón enriquecido con HCR-EL

A causa de las condiciones climáticas extremas, el HCR fue enriquecido con lechada (HCR-EL) como elemento impermeable para evitar su congelamiento. Por ello, se recurrió a un delgado espesor de mortero para garantizar las exigencias de resistencia en las juntas entre las capas. Para obtener una buena adherencia se aplicó un mortero de junta de 1 cm de espesor colocado con una trabajabilidad de 26-28 cm de asentamiento de cono. En el caso de que la superficie de la capa no superara una madurez de 100° C/h -antes del inicio del fraguado- se prefirió eliminar el uso del mortero. Las razones para esta decisión descansan en que «cuando está muy fresco, el hormigón de la capa siguiente puede penetrar», comenta Zabaleta.

Según Gerardo Moreno, gerente general de Febrag (consorcio que agrupó a las empresas Brotect y Fe Grande), en los bordes de las aguas que rodean la presa y en las orillas en contacto con la roca «se buscó obtener un hormigón totalmente impermeable sin interrumpir el proceso de construcción. Con la aplicación de esta lechada, evitamos la utilización de moldaje». La solución elegida requiere de menos elementos, otorga mayor agilidad y entrega buenos resultados.

Aplicada en toda la presa, «la lechada o EL actuó como un aditivo para poder vibrar el hormigón», añade Zabaleta. Según detallan especialistas de ENDESA, la mezcla de HCR-EL contiene una dosis de 100 l/ m² de lechada, con una razón de A/C=0,78:1, con uso de aditivo super-plastificante al 2% de la dosis de cemento, proporcionándole una viscosidad Marsh de 34-36 segundos. Así se garantizó la penetración de la masa de HCR y se obtuvo un asentamiento de cono del HCR-EL entre 6 a 8 cm, el cual permitió ser vibrado internamente como si se tratase de hormigón convencional.

Hormigón sobre ruedas

Aunque es un elemento común en obras, en Ralco el montaje del sistema de transporte de hormigón (cinta desplazada por medio de rodillos o polines en forma de canoa, provista por la empresa estadounidense Rotec Industries Inc.) resultó sumamente complejo debido a las condiciones topográficas y del desnivel del terreno, con una pendiente inédita de 45°.

A grandes problemas, grandes soluciones. Para no derramar material, que debía recorrer una distancia de 800 m desde la planta hasta el punto de colocación, «se ubicó otra cinta superior para tapar y aplastar el material, de manera que no tuviera despla-

zamiento durante el transporte. Como esto no fue suficiente, cada un metro intercalamos una aletas que bajaban y presionaban el material a medida que se desplazaba el hormigón», explica Moreno.

Otro aspecto destacable fue la velocidad de 12 km/ h que alcanzó la cinta, tres veces más a la normal (4 km/h). Así, este elemento se convirtió en un factor clave ya «que permitió cumplir con la ejecución del proyecto en los plazos estimados», afirma Moreno. Según ENDESA, la capacidad máxima teórica de transporte alcanzó los 600 m²/h.

Mantas térmicas

Abundantes lluvias, especialmente durante el invierno, y temperaturas de hasta 12° C bajo cero, podían afectar la colocación del HCR y paralizar el avance de la obra. Sin embargo, «el ritmo de trabajo varió muy poco ya que incluso con días lluviosos se progresó en la construcción», sostiene Zabaleta. Claro, que debieron tomarse precauciones y recurrir a nuevas tecnologías, como elementos geotextiles cubiertos con polietileno «formando una verdadera manta térmica que arropó al hormigón», señala Moreno. Este sistema, si bien disminuyó los rendimientos de colocación, no los interrumpió y permitió que se trabajara siempre con un hormigón por sobre los 5° C, a pesar de



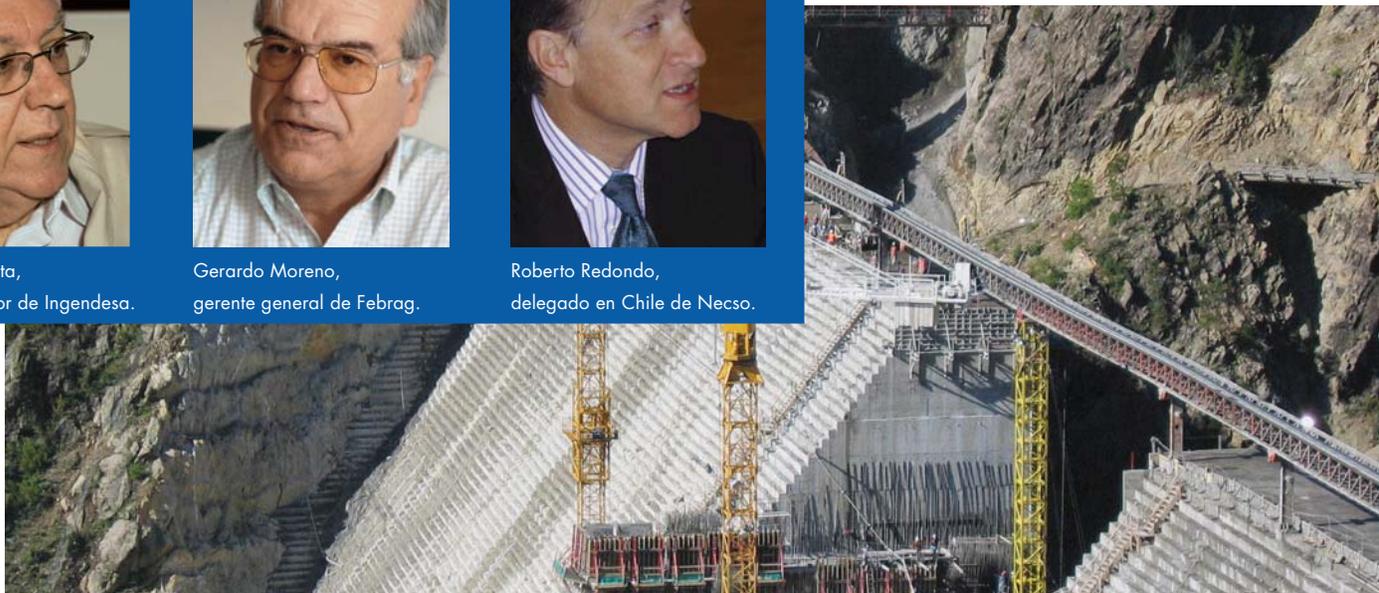
Hernán Zabaleta,
ingeniero asesor de Ingendesa.



Gerardo Moreno,
gerente general de Febrag.



Roberto Redondo,
delegado en Chile de Necso.



sufrir temperaturas ambiente de 3 y 4° C bajo cero. Por esto, se instaló una estación meteorológica permanente en terreno que anticipaba el posible congelamiento del hormigón, así se continuaba con su proceso químico, aunque un poco más lento. Incluso con lluvias, se permitieron hasta 3 mm de agua por hora para continuar con los trabajos.

Un especial cuidado se tuvo en la colocación del mortero de junta entre las capas de 30 cm de HCR, para evitar su saturación. «Afortunadamente se logró construir rápidamente en tramos cortos. En los que el rodillo podía compactar rápidamente y luego proteger al hormigón», comenta Moreno.

Túnel de aducción

Creado para conducir las aguas desde el embalse hasta la sala de máquinas donde finalmente se producirá la energía, el túnel de aducción -de 9,2 m de diámetro por 7,2 km de largo, revestido con hormigón- fue encargado a la empresa Necso Entrecanales Cubiertas Chile. En el extremo aguas abajo del túnel se dispuso una chimenea de equilibrio -25 m de diámetro y más de 100 m de altura- para regular los efectos de los fenómenos hidráulicos transitorios causados por la operación de las unidades generadoras. En las aguas ubicadas debajo de la chimenea, la aducción continúa en forma de pique vertical y luego por un túnel inferior, el cual se bifurca y da origen a dos túneles blindados que llevarán las aguas a cada una de las dos turbinas de la central. Tres elementos tecnológicos se destacan en su construcción:

a) *Moldaje deslizante*: para construir la chimenea de equilibrio (encargada de regular la presión al interior del túnel) tradicionalmente se habría utilizado un moldaje tradicional más una grúa. Pero en este caso se optó por uno deslizante de

25 m de diámetro -que va subiendo sobre sí mismo en el hormigón que se va colocando- a una sola cara, permitiendo que la obra tomara sólo 35 días, lo que según el delegado en Chile de Necso, Roberto Redondo «podría incluso transformarse en un récord mundial», debido a que con un moldaje tradicional el plazo se hubiese extendido a 8 meses.

b) *Maquinaria de punta*: la perforación de la roca en plena cordillera se transformó en uno de los más fuertes dolores de cabeza de la empresa, ya que, aunque se efectuaron estudios previos y diferentes análisis geológicos y geotécnicos, «hubo zonas en que la roca tenía una estructura más compleja a la prevista», comenta Redondo. En pleno avance de las obras encontraron una falla en el macizo central, por lo que se optó por un sistema de galerías paralelas al túnel «que permitió avanzar desde varios frentes», acota Redondo. Convivieron en el lugar equipos de punta a nivel mundial como los jumbos con tres brazos de perforación, totalmente computarizados y guiados por láser, a los que se les introducía un software, y sin intervención humana se iniciaba el plan de disparo y perforación previamente diseñado en los puntos adecuados. También se emplearon jumbos suizos Tamrock, catalogados como los más avanzados y excavadoras Broytt que funcionan con energía eléctrica, «lo que presenta una gran ventaja, al no contaminar al interior del túnel», explica Redondo.

c) *Inyección a base de microcemento*: Debido a las fallas y la mala calidad de la roca, se optó por una novedosa solución traída desde Noruega que consiste en la aplicación de una serie de inyecciones a presión mediante un microcemento, caracterizado por ser muy pulverizado, de rápida expansión y de contar con resinas especiales expansivas.

Seis hitos tecnológicos destacan en la central hidroeléctrica Ralco:

Hormigón compactado con rodillo: Su aplicación más sencilla simplifica el proceso constructivo en comparación con el hormigón habitual.

Mayor rendimiento en la colocación del hormigón, duplicando sistemas convencionales.

Material: Para mejorar la impermeabilidad del hormigón se agregó al cemento un material fino o filler, compuesto por arena molida y seca. El filler llena los espacios de la banda granulométrica y la hacen más precisa y constante.

Hormigón enriquecido con lechada: A causa de las condiciones climáticas extremas, el HCR fue enriquecido con lechada (HCR-EL) como elemento impermeable para evitar su congelamiento.

Cinta de transporte: El desnivel del terreno, con una pendiente inédita de 45°, obligó a agregar en la habitual cinta en forma de canoa una cinta superior para tapar y aplastar el material para evitar desplazamientos durante el transporte.

Mantas térmicas: Para no interrumpir el proceso de colocación de hormigón durante meses de invierno se utilizaron elementos geotextiles cubiertos con polietileno que formaron una especie de «manta térmica» para proteger el hormigón.

Túnel de aducción: Aquí destacan las innovaciones del moldaje deslizante completo a una cara utilizado para construir la chimenea de equilibrio (redujo en casi siete meses el plazo de un moldaje tradicional); maquinaria de punta (jumbos con tres brazos de perforación, computarizados y guiados por láser); microcemento (aplicación de una serie de técnicas de inyección a presión). ■

www.endesa.cl

