

CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA RALCO EN CHILE



Por: Luis Uribe C.

Resumen

El proyecto Ralco incluye varias características técnicas especiales que son pioneras en la construcción de presas de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR). Con la experiencia adquirida se espera contribuir a mejorar la aplicación de las técnicas constructivas del HCR, tanto en Chile como en el resto del mundo, sobretodo en aquellos lugares donde se emplacen presas con similares condiciones climáticas extremas y dificultades de acceso. Este artículo describe las principales características del diseño de la presa como son: el uso de la técnica del HCR enriquecido con lechada (HCR-EL) en los paramentos como principal elemento impermeable; requerimientos para evitar el congelamiento del HCR; y el uso de un delgado espesor de mortero para garantizar las exigencias de resistencia en las juntas entre capas. El HCR es transportado íntegramente



Abstract

The Ralco project includes various special technical characteristics which pioneer the construction of RCC dams. It is expected that the obtained experience will contribute to improving the application of the construction techniques of RCC, both in Chile and worldwide, especially in those places where dams are constructed under similar extreme climatic conditions and difficult access. This paper describes the main features of the dam design. It includes the use of the grout enriched RCC (GE-RCC) for the faces of the dam and as the main impervious element the requirements for preventing freezing of RCC and the use of a thin layer of mortar to guarantee the strengths demands in the joints between lifts. RCC was transported entirely by means of conveyor belts. The transport system included the first use of a "sandwich" type belt that confines the RCC in

por medio de cintas transportadoras. El sistema de transporte incluye el uso de una cinta tipo "sandwich" que permite confinar el HCR para evitar su deslizamiento, la cual funciona a alta velocidad e inclinada en 45° y con una longitud máxima de 150 m. Se presentan aspectos del diseño de la mezcla de HCR y se entregan los resultados obtenidos del control de calidad de los hormigones, incluyendo la información proporcionada por testigos extraídos desde la presa.

order to avoid it sliding down the belt, which operates at high speed and is inclined in 45° over a maximum length of 150 m. Aspects of the RCC mix design are presented and the results from the site quality control tests are detailed, including the information provided by the cores extracted from the dam.

1. INTRODUCCION

El proyecto hidroeléctrico Ralco aporta un promedio de generación eléctrica anual de 3.100 GWh, utilizando un caudal promedio de 232 m³/s y una altura de caída de 175 m. El proyecto es propiedad de Endesa Chile, filial del Grupo Enersis, y está localizado en el río Biobío, entre la octava y novena región de Chile.



Un embalse de 3.467 hectáreas fue formado por la construcción de una presa gravitacional de hormigón compactado con rodillo (HCR). Esta presa es la segunda en su tipo en Chile y tiene una altura máxima de 155 metros, una longitud de 360 metros en su coronamiento y un volumen total de 1,5 millones de metros cúbicos. La presa Ralco, al momento de la puesta en servicio, fue la tercera más alta del mundo y la quinta en volumen del tipo gravitacional en HCR.

El embalse cubre territorios pertenecientes a comunidades Pehuenches, por esa razón Endesa implemento un amplio programa de relocalización para las familias afectadas y un plan de monitoreo del medio ambiente con el objetivo de mitigar los impactos resultantes de la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico.

El diseño de la presa consideró un paramento vertical aguas arriba y escalonado aguas abajo con una pendiente de 0,8:1 (horizontal/vertical). Las obras del embalse incluyen un vertedero equipado con tres compuertas radiales, localizado cerca del centro de la presa con una capacidad de evacuación máxima de 6.550 m³/s. La presa también incluye un desagüe de fondo que proporciona un

caudal ecológico al río de 27,1 m³/s para la zona comprendida entre la presa y la salida del túnel de evacuación de la casa de máquinas.

La casa de máquinas está localizada en una caverna subterránea que tiene 110 m de largo, 26 m de ancho y 48 m de alto. El agua desde el embalse será conducida a la casa de máquinas a través de un túnel en presión de 9,2 m de diámetro y 7 km de longitud.

Tabla 1: Principales características de la presa Ralco.

Tipo de presa	Gravitacional de HCR
Altura máxima (m)	155
Longitud coronamiento (m)	360
Ancho coronamiento (m)	8,5
Cota de coronamiento (m.s.n.m)	727,30
Volumen total de HCR (m ³)	1,5 x 10 ⁶
Nivel máximo del embalse (m.s.n.m)	725,00
Superficie máxima inundada (ha)	3.467
Volumen total embalsado (m ³)	1.222 x 10 ⁶
Volumen máximo de regulación (m ³)	800 x 10 ⁶
Caudal de diseño del vertedero (m ³ /s)	6.550

2. DISEÑO DE LA PRESA DE HCR

El diseño de la presa Ralco fue desarrollado íntegramente por la Empresa de Ingeniería Ingendesa S.A. de Chile, quienes contaron con la asesoría técnica del especialista en HCR, Sr. Brian Forbes perteneciente a la consultora australiana

Gutteridge Haskins and Davey Pty Ltd. Ingendesa proporcionó los servicios de ingeniería, inspección y control de calidad para el proyecto y actuando como el representante de Endesa durante la construcción.

2.1 *Análisis Estructural*

Para una presa como Ralco, con una altura total de 155 metros entre el punto más bajo de su fundación y su coronamiento, uno de los mayores desafíos ha sido la necesidad de realizar estudios exhaustivos para definir su geometría, de manera de garantizar su estabilidad y resistencia frente a distintas condiciones de

solicitud, entre las cuales destacan las de peso propio, empuje hidrostático del agua, empuje de sedimentos, subpresión, acciones sísmicas y térmicas. En tal sentido se han efectuado diversos análisis mediante modelos computacionales bi y tridimensionales de elementos finitos (programas ANSYS 5.4, EACD-3D), pudiéndose mencionar análisis estáticos, pseudo estáticos, dinámicos y térmicos. En cada uno de los análisis realizados se ha



representado la geometría de la presa, las condiciones de borde y las cargas solicitantes. Además, se consideró la división de la presa en 18 bloques, limitados entre sí por juntas transversales de contracción situadas a 20 m en promedio una de otra aproximadamente, evaluándose en todos estos análisis las interacciones entre bloques sucesivos y entre éstos y la roca de fundación y el agua embalsada.

Debido a que la presa se ubica en un área de alta sismicidad, el diseño de la estructura consideró una aceleración máxima del terreno de 0,18 g para el sismo de operación, el cual corresponde a un sismo de ocurrencia durante la vida útil de la presa, y un valor de aceleración de 0,28 g para el sismo máximo probable. La resistencia requerida del hormigón fue establecida a partir del análisis estructural, tomando en cuenta las diferentes combinaciones de carga y factores de seguridad, determinando un valor máximo a la tracción directa de 2,08 MPa a 365 días de edad del HCR. Adicionalmente, fue necesario estudiar las características y determinar la disponibilidad de los materiales pétreos existentes en la zona para producir HCR, definiendo en último término las dosis necesarias, tanto de estos materiales como las mínimas de cemento por utilizar, a fin de cumplir con los requerimientos de resistencia establecidos en los análisis estructurales. En orden a optimizar el uso del cemento, la sección de la presa fue dividida en tres zonas con diferentes requerimientos de resistencia.

2.2 *Diseño de las mezclas de HCR*

Los estudios de laboratorio y la ejecución de un terraplén de pruebas permitieron establecer las dosis mínimas de cemento Portland puzolánico (30% de puzolana) para satisfacer los requerimientos de las tres zonas de la presa, cantidades que correspondieron a de 190, 165 y 135 kg/m³ (ver Tabla 2). Para la definición de las dosis de cemento se consideró un nivel de confianza del 80% y un coeficiente de variación del 15%. El diseño de la dosificación del HCR fue determinado utilizando el método de Faury, el cual fue adaptado para el HCR sobre la base de la experiencia adquirida por Ingendesa durante la construcción de la primera presa de HCR construida en Chile, la presa Pangué. Debido a las características de los áridos disponibles, fue necesario considerar la adición de material fino para asegurar la trabajabilidad del HCR. Para ello, se dispuso de una planta de molienda en seco que entrega un material denominado "filler" que poseía una granulometría inferior a la malla #100 ASTM, con una finura Blaine

promedio de 3.000 cm²/g. El requerimiento de material filler se basó en la falta de disponibilidad de arenas finas en las cercanías de la presa y la falta de disponibilidad de ceniza volante en la región. El diseño de la mezcla de HCR estableció una dosis de agua para obtener una trabajabilidad Vebe en terreno de 15 segundos (controlada según norma EM 1110-2-2006 del U.S. Corp of Engineers).

Tabla 2: Dosificaciones del HCR y mortero de junta (áridos secos)

Proporciones de las mezclas en kg/m ³		
Materiales	HCR Presa	Mortero
Grava 1 ½"	629	-
Gravilla ¾"	548	-
Arena Gruesa	479	1062
Arena fina	276	453
Filler	115/85/60	-
Cemento	95/116/133	280
Puzolana	40/49/57	120
Agua libre	145	320
Densidad	2396	2235
Trabajabilidad (tiempo Vebe o asentamiento cono)	15 s	26-28 cm

2.3 Tratamiento de las juntas

El diseño de la presa Ralco definió la colocación del HCR en capas de 30 cm de espesor compactado. Para asegurar una buena adherencia entre las capas de HCR, se estableció el uso de un mortero de junta de un centímetro de espesor que se coloca con una trabajabilidad de 26-28 cm de asentamiento de cono. Se ha procedido a eliminar el uso del mortero de junta cuando la superficie de la capa

no ha superado una madurez de 100°C-Hr, es decir, antes del inicio de fraguado del hormigón definido sobre la base de las características del cemento en uso. El tratamiento de junta es exigido en caso de superar una madurez de 1.000 °C-Hr, de lo contrario la superficie de la capa requiere una limpieza con agua y aire a presión para retirar todo el material suelto. La madurez es calculada con la temperatura promedio ambiente en grados Celsius más diez grados multiplicado por las horas de exposición de las capas.

2.4 Condiciones de colocación del HCR con lluvia o tiempo frío

La construcción de la presa no fue interrumpida durante las épocas de invierno, procediendo de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas para colocación de HCR en tiempo frío y con lluvia. Sobre la base de la experiencia obtenida durante la construcción de la presa Pangué, ubicada 30 km aguas abajo de la presa Ralco, se estableció la posibilidad de mantener la colocación de HCR con intensidades de lluvia inferiores a 3 mm/hr y temperatura ambiente superior a $-4,5^{\circ}\text{C}$; ello siempre y cuando se cumplieran ciertas restricciones y requerimientos especiales, tales como el uso de protecciones o mantas térmicas sobre las superficies expuestas y calentamiento del agua del hormigón. Las mantas térmicas fueron confeccionadas con una geomembrana de polietileno blanca de 0,20 mm de espesor en la cara inferior y otra de color negro de 0,10 mm en la parte superior para capturar la radiación solar, entre las cuales se colocó un geotextil Bidim OP 30.

2.5 Uso de la técnica del HCR-EL

En la construcción de la presa se empleó la técnica del HCR enriquecido con lechada (HCR-EL) aplicado en todo su contorno, esto es, en los paramentos y en los contactos con la roca de las laderas. La mezcla de HCR-EL contiene una dosis de 100 l/m³ de lechada, cuyas características principales fueron una razón A/C = 0,78:1, con uso de aditivo superplastificante al 2% de la dosis de cemento,

que le proporcionaba una viscosidad Marsh de 34-36 segundos para garantizar la penetración en la masa de HCR y obtener un asentamiento de cono del HCR-EL entre 6-8 cm, el cual permitía entonces ser vibrado internamente como si fuese un hormigón convencional.

2.6 Juntas de contracción

En las juntas transversales de contracción, se especificó la colocación de una doble lámina de estanqueidad en el paramento de aguas arriba confeccionado de HCR-EL y la materialización de un dren aguas abajo de las láminas, todo ello con el objetivo de asegurar la impermeabilidad y buen funcionamiento de las juntas.

2.7 Trabajos de inyección de la fundación

El diseño de la presa estableció trabajos de inyecciones de consolidación para sellar el agrietamiento de la roca de fundación y mejorar de esa manera las características geotécnicas del macizo rocoso. Las perforaciones de inyección definidas son de 8 metros de profundidad, utilizando el método GIN para establecer los límites máximos de presión de 10 kgf/cm² y volumen de admisión de 800 l/m. Inyecciones secundarias fueron necesarias en aquellos casos que las primeras no alcanzaban el valor de presión máxima establecida, y se efectuaron inyecciones terciarias cuando la secundaria indicaba una presión inferior a 7 kgf/cm². La lechada de inyección tenía una razón agua/cemento de 0,72, con un peso específico de 1,63 t/m³, una viscosidad Marsh de 33 segundos y una decantación máxima de 5% a las 2 horas.

La presa Ralco incluye en su interior la ejecución de tres galerías de drenaje ubicadas a diferentes niveles de elevación y entre 8 a 13 metros de paramento de aguas arriba. Estas galerías están destinadas a facilitar los trabajos de ejecución de la cortina de impermeabilización y funcionar como drenaje durante

la operación de la central. La cortina de impermeabilización fue diseñada con inyecciones separadas a 3 m y que alcanzaron hasta 130 metros de profundidad en el lecho del río. Se utilizaron presiones máximas entre 10 y 30 kgf/cm², dependiendo de la sobrecarga de hormigón de la presa, y un volumen de admisión límite de 800 l/m. El procedimiento de inyección fue el mismo utilizado para las inyecciones de consolidación, siendo necesario efectuar inyecciones adicionales en aquellas áreas de la cortina donde la admisión de lechada superó 75 l/m.

2.8 Control de calidad

El control de calidad del HCR se basó en controles granulométricos de las mezclas de hormigón, trabajabilidad Vebe, densidad Vebe después de 2 minutos de vibración, densidad de los cilindros moldeados con el martillo Kango y densidad in situ controlada con densímetro nuclear. El control de las resistencias se realizó principalmente a través de ensayos de tracción indirecta (hendidamiento) a diferentes edades de los cilindros de 150 x 300 mm confeccionados con muestras de HCR tomadas en el sitio de colocación. El control de densidad del HCR compactado exigía un mínimo del 99% de la densidad teórica libre de aire, la que normalmente se obtenía con 4 pasadas (ida y vuelta) del rodillo doble tambor de 10,6 toneladas. Los resultados entregados por los cilindros fueron comparados y correlacionados con las resistencias y densidades entregadas por muestras obtenidas de testigos extraídos desde diferentes niveles de la presa.

Las resistencias obtenidas del control de calidad del HCR y HCR-EL indican que los requerimientos especificados para las tres diferentes zonas de la presa han sido cumplidos satisfactoriamente. El coeficiente de variación arrojado por los valores de resistencia a la tracción indirecta fue de 16%, lo que indica que el nivel de control alcanzado fue bueno. En la Tabla 3 se resumen las resistencias promedio del HCR obtenidas para los diferentes contenidos de cemento usados durante la construcción. Los testigos de HCR y HCR-EL (150 mm de diámetro)

extraídos desde la presa, entregaron valores de resistencia del orden del 90% de las resistencias obtenidas a partir de los ensayos de las probetas cilíndricas a 90 y 180 días de edad para igual contenido de cemento. Los ensayos de permeabilidad in situ arrojaron un coeficiente de permeabilidad del HCR de $6,26 \times 10^{-9}$ m/s.

Tabla 3: Resistencias a la tracción indirecta del HCR de la presa Ralco.

Proporción de cemento	Valores promedios de resistencia (kgf/cm ²)					
	Edad (días)					
	7	28	56	90	180	365
135 kg/m ³	10,8 (45)	15,8 (45)	18,2 (30)	20,6 (45)	25,6 (45)	26,4 (13)
145 kg/m ³	13,3 (36)	17,8 (36)	21,6 (10)	22,1 (36)	27,2 (36)	30,0 (26)
165 kg/m ³	15,5 (168)	20,6 (168)	22,3 (31)	25,2 (129)	30,1 (165)	33,6 (115)
175 kg/m ³	18,6 (33)	23,4 (33)	27,2 (10)	27,8 (33)	34,4 (33)	37,7 (23)
190 kg/m ³	17,0 (36)	22,4 (36)	- -	25,1 (36)	28,9 (36)	37,2 (30)
205 kg/m ³	18,2 (20)	23,0 (20)	- -	25,7 (20)	31,6 (19)	40,3 (20)

* Entre paréntesis se indica el número de muestras ensayadas.

2.9 Instrumentación

Por último, para el monitoreo futuro del comportamiento de la presa, se consideró la instalación de termocuplas (34) a diversos niveles para registrar la evolución de las temperaturas producto de la hidratación del cemento en el núcleo del muro, así como también, piezómetros (42) y acelerógrafos (2) para analizar el

desempeño estructural de la presa en caso de ocurrencia de sismos, muy comunes en la región donde se emplazan las obras de la central.

3. PROGRAMA DE CONSTRUCCION

La construcción de la presa Ralco comenzó en febrero de 1999 con los trabajos de excavación de la fundación sobre el nivel del cauce del río Biobío. Simultáneamente se iniciaron los trabajos de excavación de un túnel de desvío, de 13,5 m de diámetro y 500 m de largo, por la ribera norte. En diciembre de 2000 se desvió el río y se iniciaron los trabajos de excavación de la fundación bajo el nivel del cauce.

Para aislar la zona de fundación de la presa, se construyeron a partir de diciembre de 2000 las ataguías gravitacionales con núcleo impermeable.. En mayo de 2001, antes de que la ataguía de aguas arriba estuviera terminada, una crecida del río Biobío sobrepasó el coronamiento y causó la destrucción parcial de ella y la destrucción total de la ataguía de aguas abajo. La restitución de la sección erosionada de la ataguía de aguas arriba se ejecutó con HCR. Para minimizar el atraso al proyecto se redujo la altura de dicha ataguía, reduciendo el tiempo de reconstrucción de ésta. Esta configuración consideró una alta probabilidad de vertimiento sobre la ataguía durante el primer invierno de construcción de la Presa por lo que se debieron proteger todas las zonas expuestas de la ataguía original.

La colocación de HCR en la presa comenzó en enero de 2002. Durante el año 2002, las altas precipitaciones registradas produjeron que el río Biobío vertiera en dos ocasiones por sobre la presa en construcción, destruyendo nuevamente la ataguía de aguas abajo y los caminos de acceso a la presa. El

primer vertimiento ocurrió en el mes de agosto 2002 cuando la presa presentaba una altura de 43 m, y el caudal máximo que escurrió por sobre la presa alcanzó a 250 m³/s aproximadamente. El segundo evento se produjo en octubre 2002,. En esa oportunidad, la presa tenía 52 m de elevación, controlándose un caudal por sobre la presa cercano a 550 m³/s, equivalente a un nivel de agua cercano a un metro sobre la superficie en construcción.

En ambas oportunidades se tomaron todas las acciones tendientes a evitar daños en equipos y maquinarias, y se protegieron las estructuras que soportaban el sistema de cintas transportadoras. Los caminos de acceso fueron rápidamente recuperados, por otra parte, la pendiente de 1% hacia aguas abajo que consideraba la sección de la presa facilitó la limpieza de la superficie expuesta, permitiendo reanudar los trabajos en un plazo de aproximadamente una semana. La presa no sufrió ningún tipo de daño estructural, ni se detectaron daños significativos en la última capa de HCR colocada. Los escalones de aguas abajo de la presa, cuya pendiente es 0.8:1 (H:V) y altura de escalón 60 cm, tampoco presentaron daños a pesar de que trabajaron como elementos disipadores de energía del escurrimiento, lo que evidenció el buen comportamiento del HCR-EL frente a la acción erosiva del agua.

El rendimiento máximo de colocación fue de 7.793 m³/día y 149.215 m³/mes (enero 2003). Durante el período peak de la construcción (noviembre de 2002 a abril de 2003) se colocaron un total de 661.900 m³ de hormigón, lo que representó un rendimiento medio mensual de 132.380 m³. Los primeros 500.000 m³ de hormigones se colocaron en 267 días lo que correspondió a un rendimiento medio de 1.873 m³/día. Asimismo, 1.000.000 m³ de hormigones se colocaron en 387 días, con un rendimiento medio de 2.584 m³/día.

Los trabajos para la ejecución de las obras del vertedero, el cual involucra un volumen adicional de 40.000 m³ de hormigón convencional, se iniciaron a mediados de marzo de 2003, y el término de las obras civiles del vertedero está programado para diciembre de 2003.

4. METODOS DE CONSTRUCCION Y EQUIPAMIENTO

La presa de Ralco fue construida por la empresa constructora FEBRAG, consorcio formado por las empresas chilenas Fe Grande y Brotec, que cuentan con la asesoría técnica de ASI RCC Inc., de los Estados Unidos, que aportó su experiencia en construcción de presas de hormigón compactado con rodillo.

La presa Ralco es una de las presas de HCR más altas y grandes en el mundo. El sitio de la presa está localizado en un cajón muy estrecho y profundo del río Biobío, con condiciones climáticas extremas, todo lo cual representaba un significativo desafío de construcción. El programa de construcción de la presa Ralco consideró elevadas tasas de colocación de HCR, lo que requirió de eficientes y confiables sistemas de producción, suministro, almacenamiento y transporte de todos los insumos involucrados. La construcción de la Presa Ralco requirió un suministro diario, durante el período peak de colocación de HCR, de 9.600 toneladas de áridos y de 760 ton de cemento, aproximadamente.

4.1 *Suministro de áridos*

Las especificaciones técnicas del contrato indican 4 tamaños de áridos para la fabricación de los hormigones: dos áridos gruesos (grava tamaño máximo 40 mm y gravilla tamaño máximo 20 mm) y dos áridos finos (arena gruesa tamaño máximo #4 y arena fina tamaño máximo #16). Adicionalmente, se requirió de un material bajo malla #100 proveniente de la molienda de arena

denominado "filler". Para la producción del filler se instaló una planta equipada con un molino de bolas de 25 ton/hr de capacidad de producción.

Para el suministro de todos los áridos requeridos se consideró la explotación de yacimientos de origen fluvial ubicados en las cercanías de la obra. Se consideró además la instalación de 3 plantas de áridos, con capacidad individual de producción teórica de 300 ton/hr, que incluyen, cada una, chancadores primarios de mandíbula, chancadores secundarios de cono, harneros para el lavado y separación de los tamaños de los áridos y un clasificador de arena para la producción de las dos arenas.

4.2 Producción de hormigón

Las condiciones del terreno hicieron necesario localizar las plantas de hormigón sobre un relleno de tierra armada de 35 metros de altura, reforzado con geotextiles, colocado sobre una quebrada ubicada a la derecha del paramento de aguas arriba de la presa. La producción de HCR se realizó a través de dos plantas, con un total de 3 mezcladores de tambor de 9,5 m³ de capacidad. La producción de los morteros de junta y hormigones convencionales del vertedero se realizaron con una tercera planta con un mezclador de eje vertical de 2 m³ de capacidad.

La capacidad máxima teórica de las plantas de HCR es de 700 m³ por hora. Durante todo el período de construcción fue necesario incorporar continuas modificaciones en las plantas con el propósito de optimizar la capacidad de producción. Con el objetivo de mejorar los tiempos de amasado se ejecutaron modificaciones en el sistema de control de la planta y en la secuencia de carga de los materiales. Se adaptaron además las paletas de los mezcladores con el fin de mejorar el vaciado del HCR, ya que al tener una baja trabajabilidad, parte del material se adosaba a estas paletas.

La gran humedad ambiental que presentaba la zona, fundamentalmente en invierno, generó dificultades en el sistema de transporte del cemento y filler desde los silos de acopio hasta las plantas de HCR, ya que en presencia de humedad estos materiales formaban grumos producto de la condensación los cuales obstruían las cañerías del sistema. Asimismo, las temperaturas bajo cero formaban en las arenas grumos congelados, que a veces no eran disueltos en su totalidad durante el mezclado del HCR. Para reducir estos efectos se incorporó a la planta, durante los meses de invierno, una caldera para calentar el agua de amasado, y se incorporaron protecciones a los silos para evitar que fuesen afectados por las condiciones climáticas.

4.3 Sistema de transporte del HCR

El diseño, disposición y montaje del sistema de transporte de HCR fue extremadamente complicado debido a las condiciones topográficas del terreno entre las plantas de hormigón y la fundación de la presa. El proyecto de este sistema fue ejecutado por la empresa Rotec Industries Inc, quién diseñó un sistema de cintas de alta velocidad de capacidad máxima teórica de 600 m³ por hora, conformado principalmente por 3 tramos, no obstante el rendimiento máximo registrado alcanzó a 500 m³ por hora.

Un primer tramo, que transporta el hormigón desde las plantas hasta un buzón regulador, corresponde a una cinta



de 1.220 mm de ancho y 35 m de longitud. Posteriormente, entre el buzón regulador y el sitio más alto de la presa ubicado en la ribera derecha, se utilizaba una cinta de 760 mm de ancho y 100 m de largo. Las condiciones del terreno hicieron necesario la construcción de un túnel para la disposición de esta cinta transportadora.

El tercer tramo que bajaba por la superficie del empotramiento derecho de la presa con aproximadamente una pendiente de 45 grados correspondía a una cinta de 910 mm de ancho y cerca de 150 m de largo. Debido a la pendiente fue necesario utilizar una segunda cinta montada sobre la cinta principal, cuyo objetivo era confinar el hormigón entre las 2 cintas y así evitar que deslizará o cayera fuera de la correa (Cinta tipo "sandwich").

La cinta de 910 mm que bajaba por el empotramiento derecho de la presa se extendía horizontalmente para cruzar hasta el empotramiento izquierdo, ya sin la cinta de cubierta. El diseño de este tramo de cinta permitía adaptarse al nivel de colocación de HCR en la presa mediante un sistema de sustentación sobre pilares metálicos denominados "Jackpost". Este último tramo poseía un sistema móvil denominado "Tripper" que permitía la descarga del HCR hacia una cuarta cinta que conectaba el sistema de transporte con el equipo distribuidor del HCR llamado "Crawler Placer". La "Crawler Placer" consiste en un equipo diesel dotado de orugas y una cinta telescópica, que le permite distribuir directamente el hormigón en cualquier punto del área de trabajo.

4.4 Colocación del HCR

El promedio anual de lluvia en el sitio del proyecto es aproximadamente de 3.000 mm, de los cuales cerca de un 80% ocurre durante el período invernal (abril a septiembre). Durante el invierno es común que se presenten temperaturas

bajo cero (de hasta -12°C) y nieve. Asimismo durante el verano la temperatura ambiente puede alcanzar los 39°C .

Durante el primer año de colocación de HCR (2002), las lluvias fueron sustancialmente más altas que lo normal, alcanzando un total de 4.230 mm. El segundo año (2003) de construcción de la presa fue más seco que lo normal, con excepción del mes de junio cuando se registro un total de agua caída de 1.097 mm en ese mes. Durante todo el período de construcción se registraron 140 días con lluvias de intensidad superior a 10 mm y con un máximo diario de 197 mm.

El rango de temperaturas durante la colocación de HCR fue de $-5,9^{\circ}\text{C}$ a $36,4^{\circ}\text{C}$, registrándose 115 días con temperaturas bajo cero y 130 días con temperaturas superiores a 25°C .

Se estableció la posibilidad de mantener la colocación de HCR con intensidades de lluvia de hasta 3 mm/hr y con temperaturas ambiente superior a $-4,5^{\circ}\text{C}$, cumpliendo ciertas restricciones y requerimientos especiales. Las precauciones para el hormigonado en tiempo lluviosos fueron: control continuo de la intensidad de la lluvia y detención cuando se presentaban más de 3 mm/hora; incremento de la trabajabilidad Vebe del HCR producido de 15 a 25 segundos, y limitación del área de extensión del mortero de junta próximo al HCR que se estaba colocando para evitar su saturación.

Durante el tiempo frío se consideró el calentamiento del agua de amasado y protección de la superficie expuesta de HCR mediante el uso de mantas térmica. Por otra parte, cuando la temperatura ambiente excedía los 25°C , se consideró la disminución de la temperatura a través de un riego permanente mediante aspersores y aumentó de la trabajabilidad del HCR producido, de manera que, por la pérdida de humedad durante el transporte, se cumpliera con la trabajabilidad especificada para la colocación (15 segundos Vebe). Durante las

condiciones climáticas más extremas se procedió a la detención de los trabajos de colocación de HCR, situación que se produjo aproximadamente durante 40 días completos.

5. SEGURIDAD

Los resultados en el ámbito de la seguridad han sido muy exitosos. En efecto, en el ámbito nacional, el Índice de Frecuencia de accidentes en el rubro de la construcción asciende a 60. El Índice de Frecuencia obtenido en la construcción de la presa Ralco es de 3. De la misma forma, en el ámbito nacional, el Índice de Gravedad de accidentes en el rubro de la construcción asciende a 863. El Índice de Gravedad logrado en la construcción de la presa Ralco es de 82.

Estos índices de seguridad son los más bajos en toda la historia de los proyectos hidroeléctricos desarrollados por ENDESA.

6. CONCLUSIONES

El proyecto Ralco fue desarrollado bajo condiciones físicas y ambientales muy adversas, lo que hizo necesario la implementación de soluciones pioneras. A pesar de ello, la presa Ralco ha sido concluida con óptimos niveles de calidad y altos rendimientos de colocación, incluyendo el récord mundial de colocación de HCR en una presa utilizando un sistema completo de cinta para transportar el hormigón. Por esta razón, la experiencia adquirida durante la construcción de la presa Ralco será extremadamente provechosa para futuros proyectos que se diseñen bajo condiciones similares, tanto en Chile como en el extranjero.