

CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DE PANGUE CON HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO

J.A. Marsellá Andía.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefe del Servicio Técnico de Obras Hidráulicas y Subterráneas.

Dirección Técnica - Dragados.

F. Ortega Santos.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

División de Obras Hidráulicas.

Dirección Técnica - Dragados.

RESUMEN

En este artículo se describe la construcción de la Presa de Pangue (Chile) con hormigón compactado con rodillo (HCR), primera de su tipo en este país. En él se exponen las características de los materiales y dosificaciones empleados en la construcción del cuerpo de presa. También se analizan los procesos de fabricación, transporte y colocación de hormigón.

ABSTRACT

This article describes the construction of the Pangue Dam (Chile) using roller compacted concrete (REC), the first of its kind in this country. Details are given of the materials and proportions used in the construction of the dam body as well as of the processes of fabrication, haulage and placement of the concrete.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La Presa de Pangue se engloba en el proyecto hidroeléctrico PANGUE que se está construyendo en el curso alto del río Biobío, en Chile, a unos 87 km al sureste de la ciudad de los Angeles, 600 km al sur de Santiago de Chile.

El proyecto general consta de una presa de hormigón compactado y de una central subterrá-

nea, en la que se montarán 2 grupos generadores con turbina tipo Francis con una potencia total instalada de 450 Mw. El propietario de las obras es la Empresa Eléctrica Pangue S.A., filial de la Empresa Nacional de Electricidad de Chile (ENDESA). La consultoría técnica está a cargo de la Empresa de Ingeniería INGENSESA.

La construcción de las Obras del Proyecto Hidroeléctrico Pangue se ha dividido en cinco contratos principales:

*Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
junio de 1996.*

Recibido en ROP:
marzo de 1996

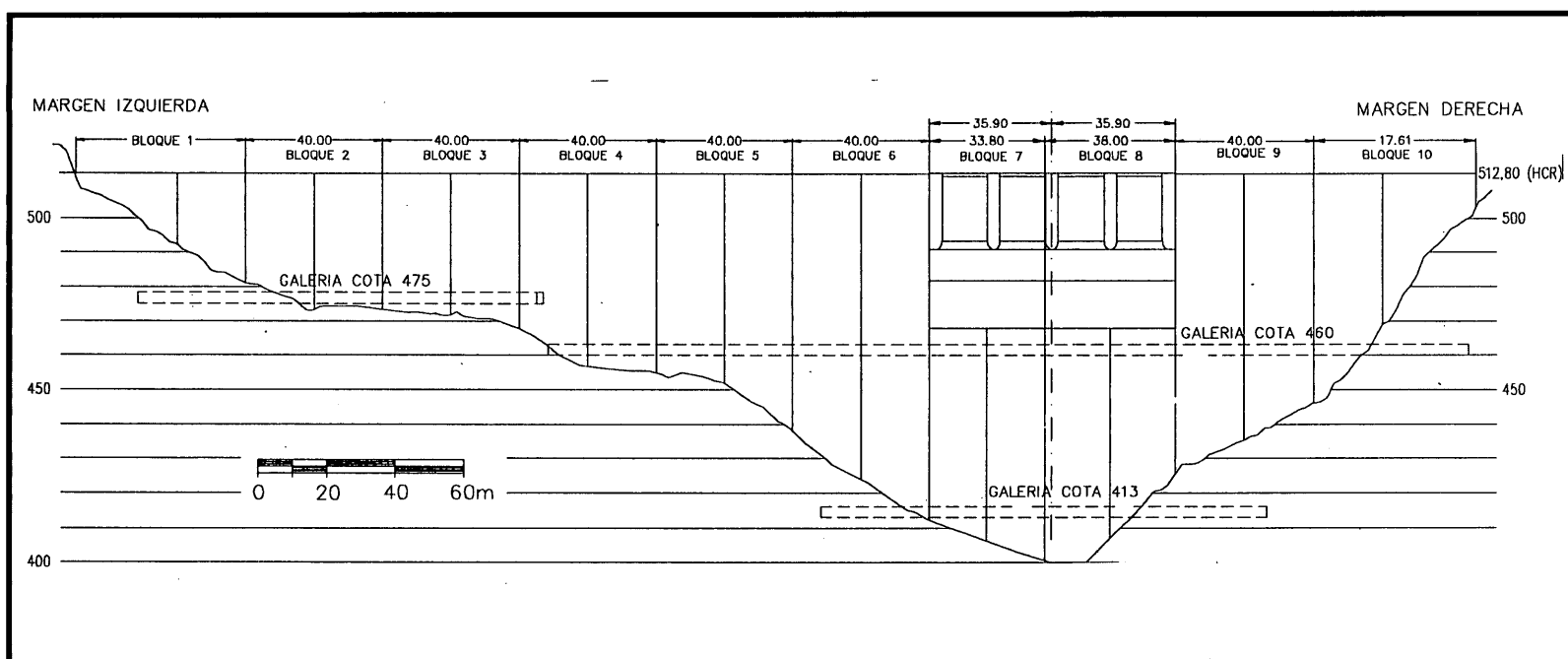


Figura 1. Perfil longitudinal.

- ▼ Excavación de las laderas para la fundación de la presa,
- ▼ Obras subterráneas, incluyendo la central y el túnel de desvío,
- ▼ Presa de hormigón compactado, incluyendo la presa, las ataguías, la excavación del cauce y los tratamientos del terreno. Este contrato fue adjudicado en Diciembre de 1993 a la UTE DRAGADOS-GTMI,
- ▼ Fabricación y montaje de equipos electromecánicos, y por último,
- ▼ Fabricación y montaje de equipos hidromecánicos.

La Presa de hormigón compactado con rodillo (HCR), primera que se construye en Chile, es de gravedad y planta recta, de 121 metros de altura y 410 metros de longitud de coronación. El volumen de HCR es de aproximadamente 660.000 m³.

La presa tiene un aliviadero de superficie en su zona central diseñado para evacuar 8.000 m³/s, con cuatro compuertas de 13,2x17,6 m. Los hormigones convencionales suman un total de 130.000 m³, de los cuales cerca de 80.000 m³ son hormigones vibrados en paramentos y contactos con roca, así como hormigones en juntas horizontales, que se incluyen en el cuerpo de presa junto con el HCR.

En el interior del cuerpo de presa existen tres niveles de galería, para la ejecución de los tratamientos del terreno y control de filtraciones.

El desvío del río Biobío, uno de los mas caudalosos de Chile (aportaciones medias en la cerrada de 100-200 m³/seg en verano y 300-500 m³/seg en invierno). Se compone de un túnel de 350 metros de longitud y sección en herradura de 13 m de dimensión máxima. La capacidad de desagüe es de 1.350 m³/s para la cota de la ataguía. La preataguía y contraataguía se ejecutaron con materiales sueltos, y la ataguía es una estructura también de HCR, de 25 metros de altura y un volumen de 17.000 m³ de hormigón.

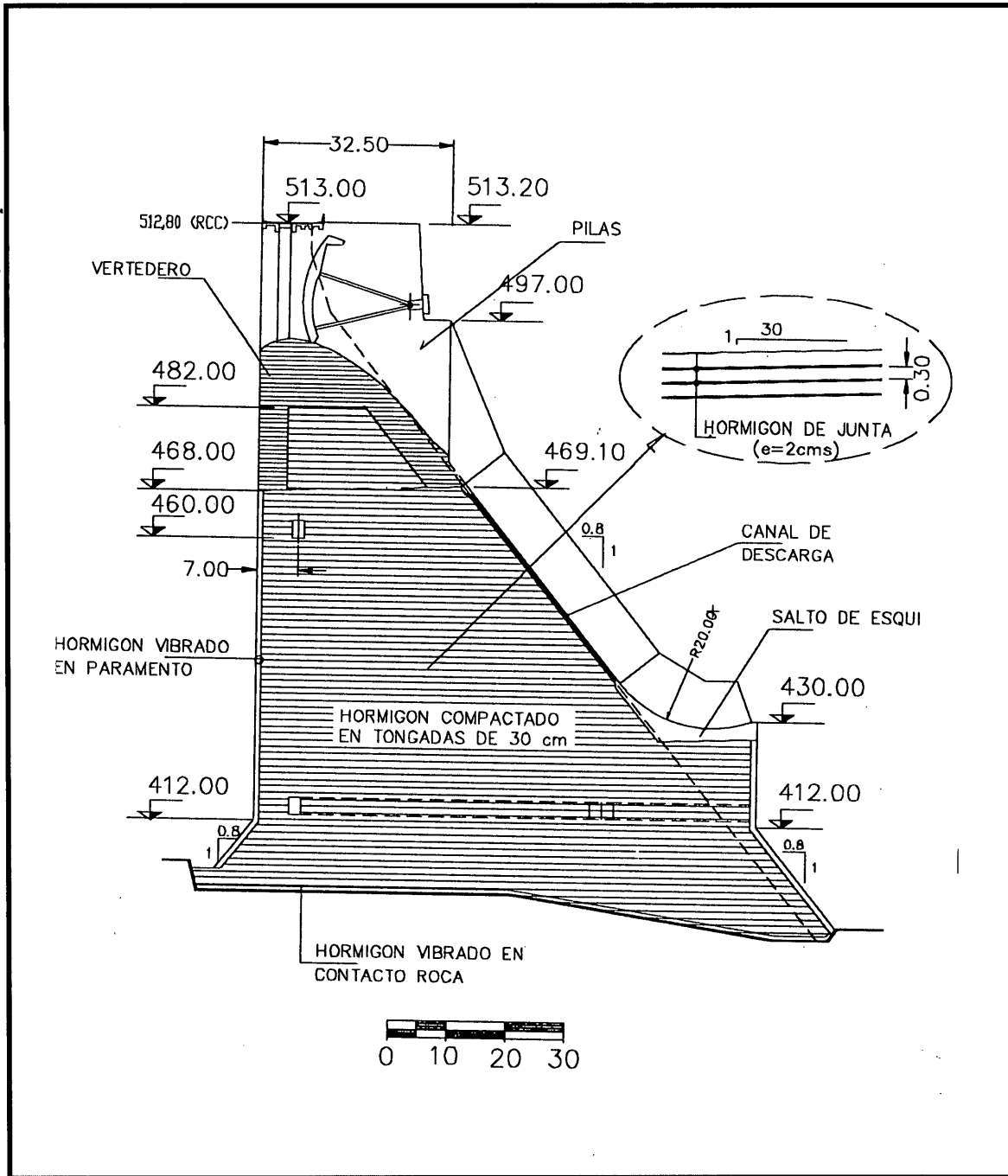
La geología de la zona de la cerrada presenta principalmente una roca volcánica andesítica sobre la que se cimenta la presa, con rocas intrusivas en zonas de fallas.

La climatología de la zona se caracteriza por una elevada precipitación anual, del orden de 3.800 mm como promedio. Las máximas intensidades de lluvia se dan entre los meses de Junio y Agosto. La colocación del hormigón en el cuerpo de presa se interrumpe para precipitaciones horarias por encima de los 5 mm/hora. Las temperaturas medias ambiente oscilan entre los 3°C-10°C en invierno y los 10°C-25°C en verano.

2. PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA

La colocación del hormigón compactado en el cuerpo de presa se comenzó en enero de 1995 y

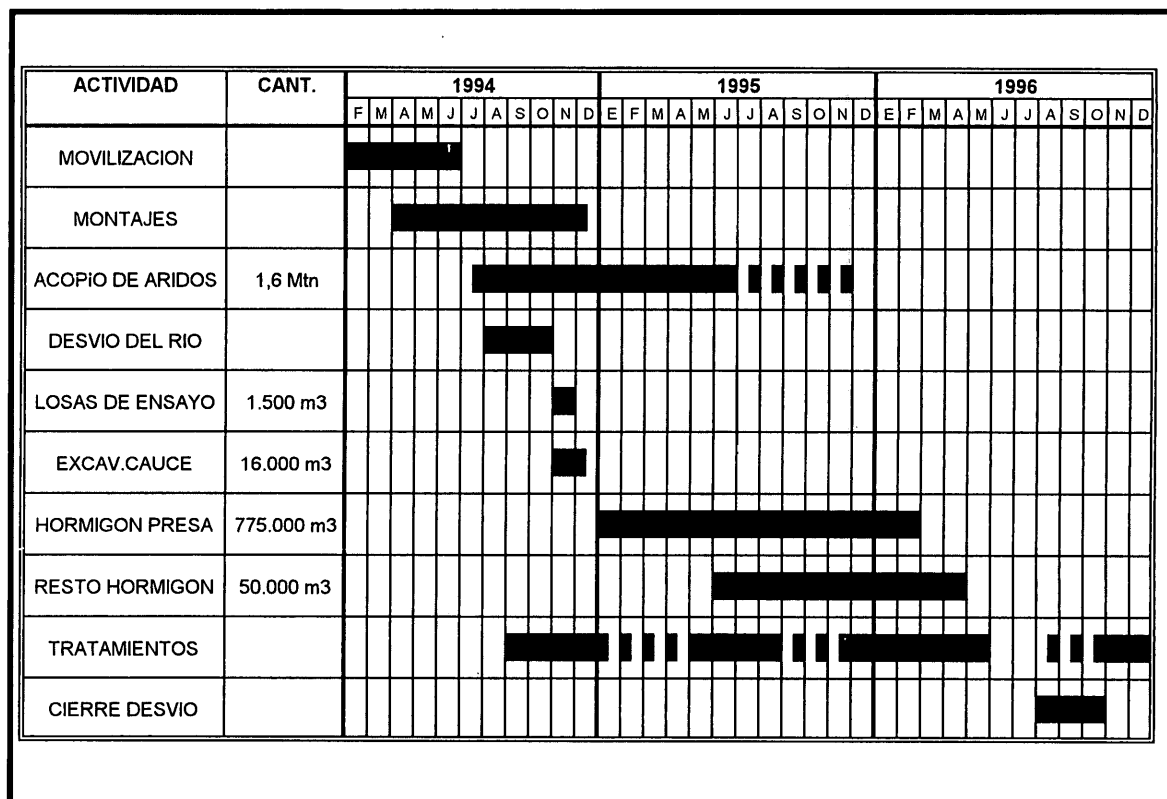
Figura 2. Sección tipo por aliviadero.



se ha terminado en febrero-marzo de 1996. En la figura 3 aparece el programa de las actividades principales para la ejecución de la presa. El hormigón se ha programado en 14 meses, con producciones máximas mensuales de 115.000 m³ y diarias máximas de 4.500-5.000 m³. En esta programación han sido determinantes las consideraciones hechas respecto a los descensos de producción en épocas lluviosas.

3. ESTUDIO DE MATERIALES Y DOSIFICACIONES

Durante la fase de proyecto, Pangué S.A. realizó una extensa campaña de ensayos con objeto de ir estableciendo dosificaciones de hormigones para el cuerpo de presa que cumplieren con los requerimientos que exigía el proyecto. En este período se consideraron entre otros, hormigones po-



4. DESVIO DEL RÍO. EJECUCIÓN DE LA ATAGUIA CON HCR

Para ello se dimensionó una mezcla rica en pasta, con 220 kgf/m³ de un conglomerante 30% clinker y 70% puzolana, mezcla realizada en fábrica. Todo el árido empleado se obtuvo por macha-

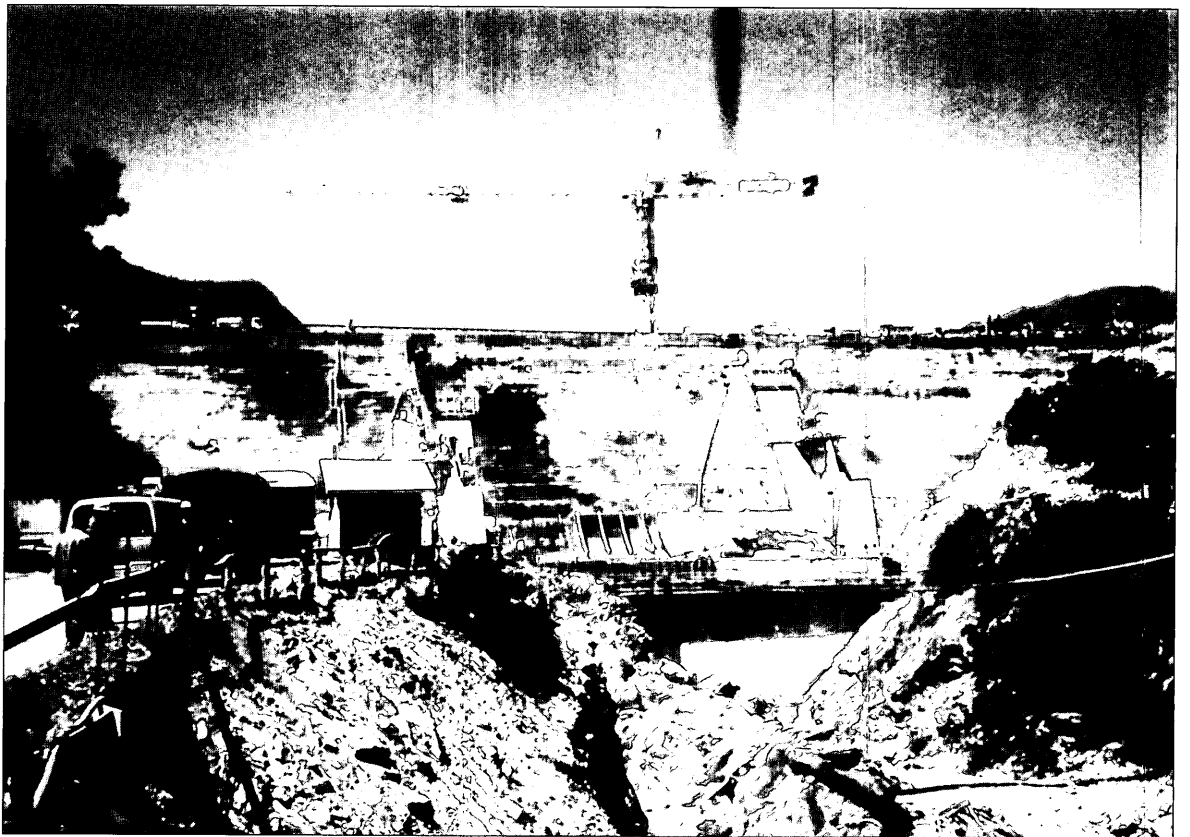


*Instalaciones
auxiliares.*



*Compactación del
hormigón.*

*Vista de la presa
desde aguas arriba.*



*Vista de la presa
desde aguas abajo.*

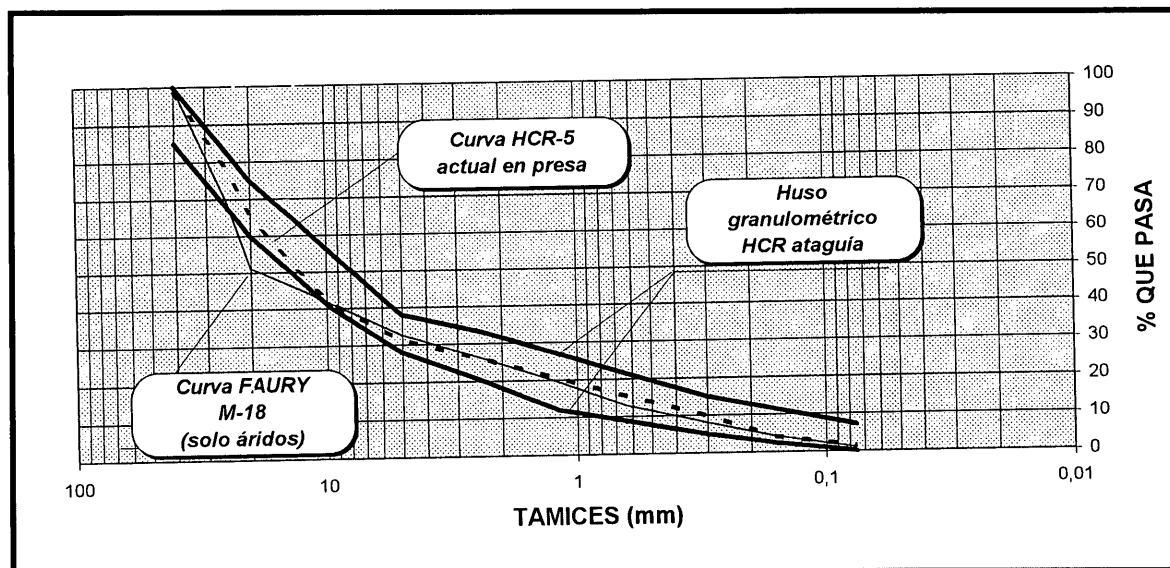


Figura 4. Curvas granulométricas del HCR.

queo. La granulometría se ajustó al huso de la figura 4.

El resultado fue una mezcla con un contenido de arena del 32,5% y unos 130-140 litros de agua por m^3 de HCR, con lo que se obtuvo un hormigón con 15 segundos VeBe. Este HCR se colocó a razón de 4 tongadas por día (1,20 metros de altura al día), sin empleo de mezcla de junta entre tongadas. El sistema de fabricación, transporte y colocación fue similar al previsto para la fase inicial de la presa que mas adelante se describe.

intermedio entre el préstamo y la planta de fabricación de hormigón. La capacidad de producción de áridos es de 650 tn/hora.

La puzolana natural que sirve de arena de corrección se extrae también de esta zona, aunque con mayor dificultad debido a que se encuentra bajo el manto de 12 metros de altura que se está explotando para los áridos, y presenta además un alto grado de humedad. Esta puzolana se criba por el tamiz de 5 mm antes de su incorporación a la mezcla de hormigón.

5. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

La construcción de la Presa de Pangue con hormigón compactado se ha planteado de manera continua, con tongadas completas de una ladera a la otra dentro de los tiempos de recubrimiento previstos en las especificaciones. Para ello ha sido necesario disponer unas instalaciones importantes y en ocasiones novedosas, como es el caso del sistema integral de transporte por cintas, con capacidad nominal para colocar de 450-500 m^3 /hora de hormigón.

5.2. ACOPIO Y MANEJO DE MATERIALES

Los áridos se acopian por tamaños en una explanada de unos 35.000 m^2 situada junto a la planta de machaqueo. De allí se cargan en camiones de 25 t y se transportan hasta las tolvas de recepción de 40 m^3 de capacidad situadas en la parte superior de la planta de fabricación de hormigón, en la margen derecha, aguas arriba de la cerrada. En el momento de iniciarse el hormigonado había acopiados un 40% del total de áridos necesarios. De las tolvas de recepción pasan, a través de cintas transportadoras, a 9 silos metálicos con una capacidad total para 8.000 m^3 de árido.

El conglomerante, mezcla de cemento y puzolana, se recibe ya mezclado en fábrica. La fábrica está situada a unos 700 km de la obra y se transporta por ferrocarril en "big-bags" o en camión cisterna hasta dos estaciones intermedias de acopio. De éstas se llevan en camión cisterna de 25 t hasta la obra, dónde se almacena en 6 silos metá-

5.1. EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE ÁRIDOS

El material del yacimiento empleado en la fabricación de áridos se está explotando de manera combinada con carga directa y con voladuras. Se carga empleando una Cat 245 y se transporte hasta la planta de machaqueo situada en un punto

licos de 500 t de capacidad cada uno. El cemento para hormigones estructurales se almacena en otros 2 silos con capacidad total para 300 t, situados junto a las plantas de fabricación de hormigón. El sistema de transporte del conglomerante desde los silos hasta las plantas de hormigón consiste en unos aerodeslizadores provistos de tres elementos independientes de impulsión (uno en stand-by) de 50 t/h de capacidad cada uno.

El agua necesaria para la fabricación, limpieza y curado del hormigón se bombea del propio río Biobío hasta unos depósitos con capacidad para 1.000 m³ que abastecen a toda la obra a través de una red de distribución.

5.3. PLANTA DE FABRICACIÓN DE HORMIGÓN

En la Presa de Pangue se han montado dos plantas idénticas de fabricación de hormigón con capacidad para producir 250 m³/h cada una. Se trata de dos Ross-Mobiliner discontinuas que constan cada una de dos amasadoras de 6 y 7 m³ de capacidad nominal, de tipo basculante y eje inclinado. Ambas plantas están preparadas para trabajar con 4 tamaños de árido (2 gravas y 2 arenas) que se dosifican automáticamente por pesada acumulativa.

Bajo las amasadoras se han colocado dos tolvas reguladoras de 10 m³ de capacidad, provistas de un tornillo sin-fín en su parte inferior, que produce un flujo continuo de hormigón hacia el sistema de cintas, o que alimenta alternativamente a otros medios de transporte de hormigón (camiones volquete o camión hormigonera).

5.4. TRANSPORTE DEL HORMIGÓN HASTA LA PRESA. SISTEMA INTEGRAL DE CINTAS

Uno de los elementos mas novedosos entre las instalaciones dispuestas en la presa de Pangue ha sido el sistema integral de cintas de alta velocidad para el transporte del hormigón hasta el punto de extendido en el cuerpo de presa.

Desde el punto de vista del transporte de hormigón, la construcción de la presa se ha dividido en varias fases:

▼ Fase 1.- Desde cimientos en la zona del cauce hasta la cota 413: unos 55.000 m³ de hormigón y 73 tongadas de 0,30 m de espesor. Esta fase se ejecutó transportando el hor-

migón en camiones de 20 tn de capacidad hasta una tolva reguladora de 10 m³, como la situada bajo las amasadoras, y ubicada en la margen derecha junto a la presa. Esta tolva alimentaba de manera continua a un sistema de cintas de 24" de ancho y alta velocidad. En el otro extremo de estas cintas un brazo distribuidor cargaba los camiones dispuestos en el interior de la presa. Con este sistema se alcanzaron ritmos próximos a los 150 m³/hora y puntas de 2.250 m³/día.

▼ Fase 2.- A partir de superficies de tongada superiores a los 5.000 m², (cota 413) y hasta la 435: unos 110.000 m³ de hormigón y 74 tongadas de 0,30 m de espesor. Se dispuso un sistema de cintas de 36" de ancho descendentes directamente desde las plantas de fabricación de hormigón hasta la presa. Este conjunto vierte en una máquina distribuidora móvil, denominada Crawler Placer, situada sobre el hormigón que coloca finalmente el material sobre la tongada. Este distribuidor se compone de una pluma telescópica de tres cuerpos con cinta de 27 metros de alcance máximo y 36 pulgadas de ancho. El equipo va montado sobre una estructura de una cargadora Cat-235.

▼ Fase 3.- Desde la cota 435,- hasta coronación: unos 495.000 m³ en 260 tongadas de hormigón. Cuando la longitud de la tongada aumenta, se hace necesaria una distribución longitudinal del punto de descarga al Crawler que opera sobre la presa. Esta distribución en el sentido longitudinal se consigue mediante una cinta con tripper que va paralela al paramento de presa. El sistema de cintas de 36" exteriores a la presa alimenta a la cinta tripper por uno de sus extremos, y ésta a su vez descarga a través del tripper en la cinta de alimentación al Crawler Placer. Las cintas exteriores se apoyan en unos castilletes colocados en la margen derecha, que van variando su altura y posición a medida que sube la cota del hormigón en la presa.

Este sistema no precisa el empleo de camiones sobre la tongada para llevar el hormigón hasta el punto de extendido y compactación. Esto conlleva además una reducción considerable del tráfico dentro de la presa reduciendo la alteración de la superficie de la tongada que se produce con otros sistemas. En la figura 5 se puede observar

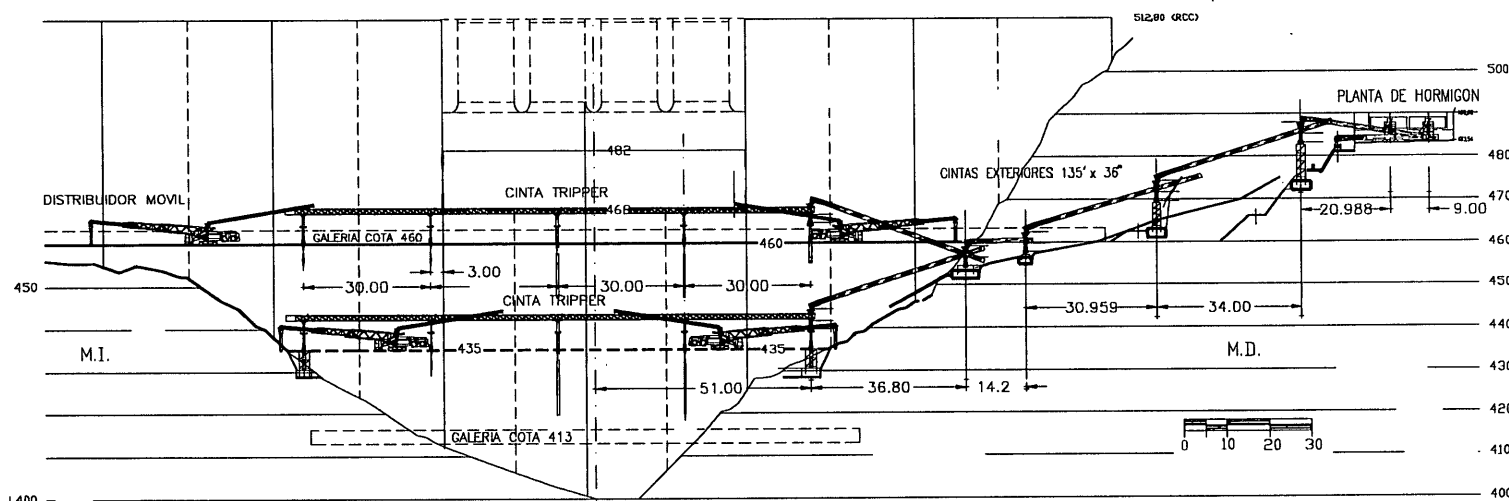


Figura 5. Esquema del sistema de cintas para transporte de hormigón.

un esquema correspondiente a la disposición del sistema de cintas en la tercera fase.

6. EJECUCIÓN DEL CUERPO DE PRESA

En el diseño del cuerpo de presa del proyecto de Pangue se han considerado tres mezclas que se deben colocar de manera casi simultánea sobre la tongada: el HCR, el hormigón de junta y el hormigón vibrado en paramentos y contacto con roca. Se trabaja de manera continua, día y noche, todos los días del mes, para lo cual se han organizado turnos de trabajo que van rotando convenientemente para cubrir todas las horas del día. A continuación describimos la colocación de los distintos hormigones, así como las operaciones auxiliares correspondientes.

6.1. COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN COMPACTADO

Cada tongada se ejecuta por "calles" de unos 6 a 8 metros de anchura, comenzando por la margen izquierda, desde el paramento de aguas abajo hacia el de aguas arriba. Esta distribución favorece la recogida del material suelto que pudiese haber sobre la tongada y principalmente el escurrimiento de las aguas de lluvia hacia el paramento de aguas arriba por donde se evacúan. El distri-

buidor móvil situado sobre la tongada va colocando el hormigón en el frente de avance de la "calle" en montones de poca altura gracias a su gran flexibilidad de movimientos. Manejando el sistema con habilidad se pueden disminuir mucho los tiempos necesarios para el extendido final. Para dicho extendido se está empleando un tractor CAT D5. La nivelación de las capas se controla con "láser".

La compactación se realiza con rodillos vibratorios tándem (2-3 uds) de 16 t de peso estático (Dynapac CC501) y con otros menores (Ingersoll Rand DD22) de 2,6 t (2-3 uds) que compactan las zonas próximas a los paramentos. El número de pasadas depende de la trabajabilidad del hormigón que llega al tajo; como término medio se están dando una pasada estática (ida y vuelta) y cuatro dinámicas.

6.2. COLOCACIÓN DE LOS HORMIGONES DE PARAMENTOS Y JUNTAS

Estos hormigones, que se fabrican en las mismas plantas que el HCR, y llegan a la presa por medios independientes al sistema de cintas, principalmente camiones hormigonera que los reparten sobre la tongada. El hormigón de junta (20 mm de tamaño máximo y 340 kgf/m³ de conglomerante) se extiende manual o mecánicamente (con el

cazo de una pala pequeña), en espesores de 2 cm e inmediatamente por delante del HCR. El hormigón vibrado (40 mm de tamaño máximo y 250 kgf/m³ de conglomerante) se coloca y se vibra por delante del HCR en una zona de un metro de espesor junto a los paramentos (salvo en la zona escalonada del paramento aguas abajo, en la cual el HCR llega hasta el encofrado) y también en zonas de contacto con la roca de cimentación.

6.3. DESCRIPCIÓN DEL ENCOFRADO DE LOS PARAMENTOS

En la Presa de Pangue se está empleando un encofrado diseñado especialmente por DRAGADOS para presas de HCR. Este encofrado tiene la ventaja, respecto a otros sistemas trepantes para presas, de permitir un hormigonado continuo, evitando las juntas frías que se producen obligadamente con aquellos otros sistemas. Básicamente cada módulo de 5 metros consta de 4 paneles metálicos de 60 cm de altura cada uno (2 tongadas de HCR) colocados uno sobre otro y rigidizados entre sí por vigas que transmiten la carga al hormigón a través de barras de anclaje embebidas en el mismo. También dispone de una plataforma de trabajo, independiente del panel encofrante, desde la que se desencofra el tablero inferior, que por medio de una grúa automóvil de 10 t, que opera sobre la tongada de hormigón, se coloca sobre el último panel hormigonado para recibir las nuevas tongadas de HCR. El sistema, que ha sido empleado por el contratista en otras presas de este tipo, está dando resultados altamente satisfactorios, en cuanto a rapidez y continuidad del trabajo.

6.4. CREACIÓN DE JUNTAS TRANSVERSALES

Las juntas transversales se construyen hincando una chapa de acero galvanizado de 2 metros de longitud, 22 cm de altura y 2 mm de espesor en el hormigón fresco antes de la primera pasada dinámica de los compactadores. Para ello se emplea un útil que va acoplado al brazo de una retroexcavadora, y que por vibración introduce la chapa en el hormigón.

Para impermeabilizar la junta transversal se coloca una junta de 35 cm de ancho en el paramento de aguas arriba, embebida en el hormigón vibrado de un metro de espesor que va entre el paramento

y el hormigón compactado. La distancia entre juntas es de 20 metros, si bien una de cada dos consiste únicamente en un inicio de junta que profundiza 5 metros en el cuerpo de presa; el 50% de juntas restante llega hasta el paramento de aguas abajo.

6.5. JUNTAS HORIZONTALES. TRATAMIENTOS

El tratamiento habitual de las superficies de hormigón consiste en un curado con agua y en la limpieza de charcos y material suelto. Antes de colocar el HCR se extiende el hormigón de junta tal como se describe en el punto 7.2. Para el curado de la junta horizontal entre tongadas se emplea un equipo de riego montado en un camión cisterna provisto de mangueras que lanzan una lluvia fina de agua sobre las superficies de hormigón. La limpieza se realiza con un equipo de vacío con capacidad para 260 m³/minuto.

Los tratamientos de junta fría consisten en la retirada de la lechada de las superficies de las tongadas, hasta dejar el árido visto. Esta labor se realiza con un equipo de agua a alta presión (75 Mpa) montado sobre camión cisterna. Tras la retirada del material suelto y antes de continuar con el hormigón compactado, se extiende el hormigón de junta.

6.6. EJECUCIÓN DE OTROS HORMIGONES. ALIVIADERO

Queremos hacer también una breve mención a la construcción del aliviadero situado sobre el hormigón compactado, en la zona central de la presa. En la figura 2 aparece una sección por el mismo.

Para ejecutar estos hormigones, se montó una grúa torre de 50 metros de alcance máximo. Desde una primera posición, sobre el HCR a la cota 427,0, se ejecutan los hormigones del salto de esquí y pared del canal de descarga. En segunda fase, situando la grúa sobre la cota 467,0 en la zona central del vertedero, se construye el perfil "Crea-ger", las pilas y el puente.

El aliviadero se hormigona en tongadas de 3 metros de altura, empleando un encofrado trepante tradicional de madera. Para la pared del canal de descarga se ha construido una pantalladora de 15 metros de longitud que rueda sobre vía. Para desplazar la pantalladora se usa un sistema de tráctes anclados a un punto fijo situado en el hor-

hormigón compactado a la cota 469,1. El hormigonado de la losa, de 30 cm de espesor, se realiza una vez concluido el HCR en la zona del aliviadero.

7. CONCLUSIONES

La construcción de la Presa de Pangue con Hormigón Compactado con Rodillo ha aportado un gran número de experiencias positivas en este campo de la construcción de presas.

El extenso estudio de mezclas llevado a cabo, tanto durante la fase previa de diseño como durante la construcción de la presa, proporciona sin duda una base importante para el mejor conocimiento de las mezclas de hormigón compactado y el análisis de su comportamiento posterior.

Las instalaciones dispuestas en la Presa de Pangue están dimensionadas para producir y colocar nominalmente 450 m³/hora de hormigón de manera continua. Esto ha permitido programar la ejecución del cuerpo de presa en un año. Para asegurar el suministro de materiales ha sido necesario disponer unos acopios importantes en obra: áridos para el consumo de 5 meses y materiales cementicios para más de una semana.

Es necesario resaltar también el novedoso sistema de cintas de alta velocidad dispuesto para transportar directamente los hormigones desde la salida de las amasadoras hasta el punto de colocación en el cuerpo de presa. Además de la evidente mejora de la calidad de todo el proceso, al simplificar significativamente el tráfico sobre la tongada, este equipo ofrece respecto a otros sistemas empleados con anterioridad, ventajas en general tanto más apreciables cuanto mayores son los volúmenes del proyecto.

REFERENCIAS

- B. FORBES, H. ZABALETA, D. CROQUEVILLE: "Design and Proposed Construction Techniques for Pangue Dam". Roller Compacted Concrete III. San Diego, California, Febrero 1992.
- EMPRESA HIDROELÉCTRICA PANGUE: "Proyecto de la Presa de Pangue". Santiago de Chile, Mayo 1993.
- M. DUNSTAN: "Proyecto Pangue: Analysis of Construction and Testing of Full-Scale Trials". Devon (Inglaterra), Marzo 1995. (Informe realizado para la UTE DRAGADOS-GTMI) ●