

PRESA Y CENTRAL DE CARUACHI. UN EMBLEMÁTICO PROYECTO HIDROELÉCTRICO EN VENEZUELA

FERNANDO ABADÍA ANADÓN. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe de la División de Obras Hidráulicas de la Asesoría Técnica de Dragados O. P.

JOSÉ LUIS SARABIA CENTENO. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director de la U.T.E. Dravica.

MANUEL DE LA CRUZ LARREGLA. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Gerente Técnico de la U.T.E. Dravica.

RESUMEN: El proyecto hidroeléctrico de Caruachi, situado en la Guayana Venezolana, es uno de los proyectos de generación de energía hidroeléctrica más importante, en ejecución, en el mundo. Su diseño, integrando la central y la presa, presenta novedades sobre los esquemas tradicionales de presa + casa de máquinas. Asimismo los inusuales requerimientos en las condiciones térmicas de colocación de hormigones, los elevados volúmenes de obra a construir y las excepcionales dimensiones de sus elementos hidromecánicos (turbinas y compuertas principalmente) precisan de instalaciones y medios de ejecución fuera de los estándares usuales en este tipo de obras. En el presente artículo se pasa revista al diseño, ejecución y técnicas involucradas en la construcción del proyecto.

PALABRAS CLAVE: PRESAS, TURBINAS KAPLAN, HORMIGONES, MODELO REDUCIDOS

ABSTRACT: The Caruachi hydroelectric project, set in the Venezuelan Guayana, is one of most important hydroelectric generating projects currently underway worldwide. The design, integrating both the power station and the dam, present a number of innovations with regards to traditional dam and powerhouse arrangements. Furthermore, the unusual requirements with regards to the thermal conditions for concrete casting, the huge volumes of work to be constructed and the exceptional dimensions of the hydro-mechanical components (mainly turbines and gates) require specialized installations and construction resources which go beyond the standard requirements of these types of works. The present article describes the design, work and the techniques involved in the construction of the project.

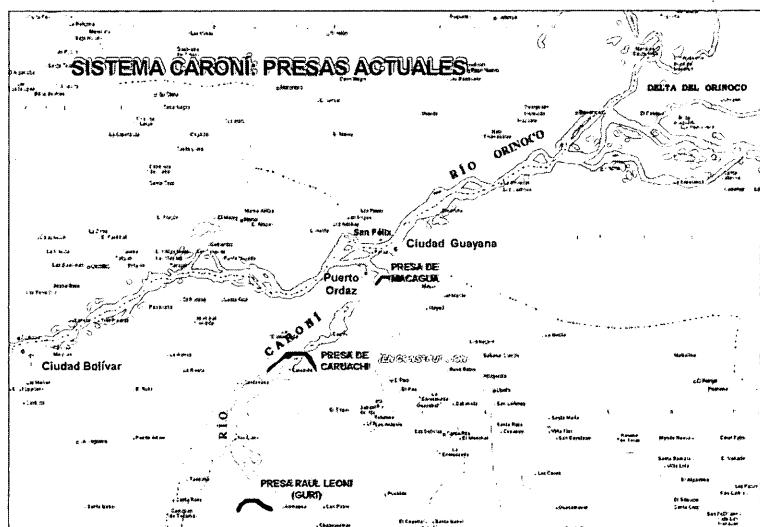
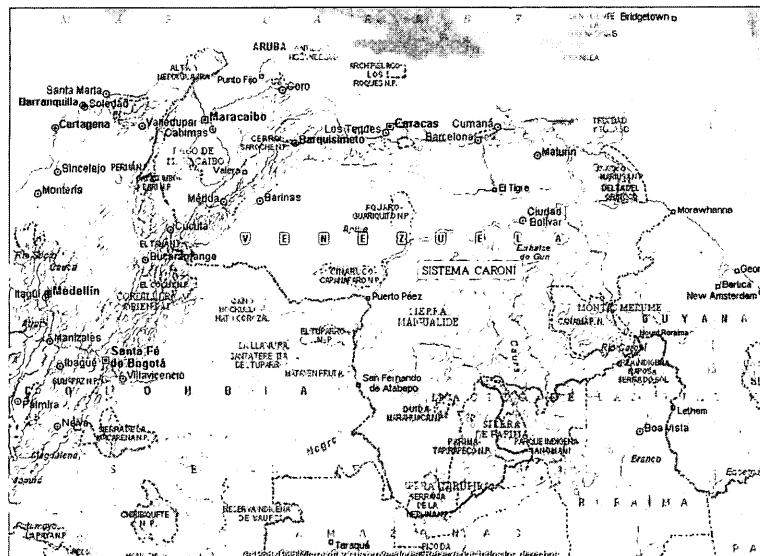
KEYWORDS: DAMS, KAPLAN TURBINES, CONCRETES, SCALES MODELS

INTRODUCCIÓN

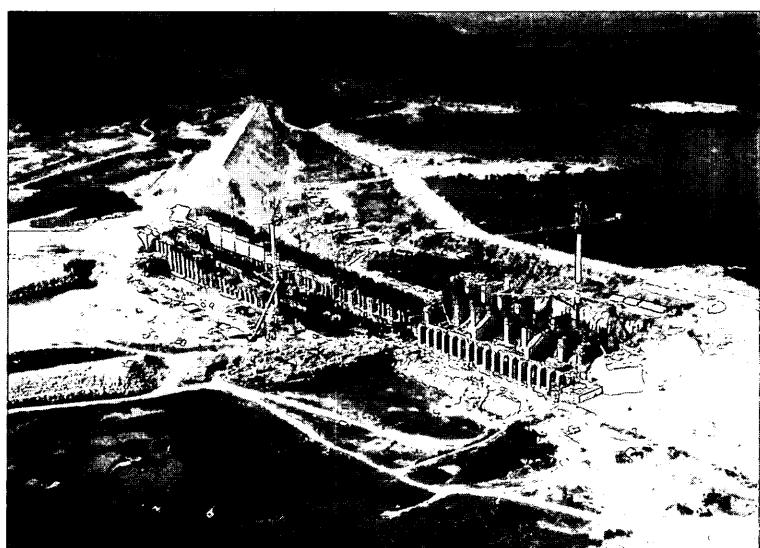
La zona de la Guayana Venezolana tiene grandes riquezas naturales, entre ellas el río Caroní que con un módulo hidráulico medio de 5.000 M³/sg, un caudal máximo conocido de 18.000 M³/sg y unas condiciones topográficas y geológicas excepcionales, es uno de los ríos en el mundo con mejores condiciones naturales para el establecimiento de centrales hidroeléctricas.

La Presa y Central de Caruachi constituye el tercero de los cuatro proyectos que desarrollan la capacidad hidroeléctrica del bajo Caroní. Está situada a unos 40 Kmts de la ciudad de Puerto Ordaz en la Guayana Venezolana, dista 30 km de la desembocadura de dicho río en el Orinoco, y está proyectada para instalar una potencia de 2.160 MW.

Aguas arriba de Caruachi se encuentra la central hidroeléctrica de Guri con 10.000 MW de potencia instalada (actualmente la segunda mayor instalación hidroeléctrica del



Situación del proyecto.
Abajo, vista general hacia margen derecho (Enero 2001).



mundo en potencia instalada por detrás de la central de Itaipú de 12.000 MW) y aguas abajo la de Macagua I, II y III con 2.964 MW. Un cuarto desarrollo será la central hidroeléctrica de Tocoma con 2.160 MW, que se ubicará entre Guri y Caruachi, todavía en fase de diseño.

EDELCA (Electrificación del Caroní) es la empresa encargada del desarrollo y explotación de los recursos hidroeléctricos de dicha cuenca. Esta empresa forma parte de la estatal C.V.G. (Corporación Venezolana de Guayana), la cual amalgama 14 empresas estatales, radicadas en la misma región, cuyas actividades principales giran en torno al aprovechamiento y proceso de los grandes recursos mineros e industriales de la zona (acero y aluminio principalmente).

El proyecto de la Presa y Central de Caruachi, al igual que los proyectos de sus predecesoras, ha sido desarrollado por el propio departamento de ingeniería de EDELCA en colaboración con la ingeniería norteamericana HARZA.

La inspección de las obras del proyecto está encomendada a la empresa venezolana COINCA.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El río Caroní, en el tramo inferior cercano a su desembocadura en el Orinoco, presenta cerradas cuya desarrollo suele tener gran longitud. Las presas y centrales suelen estar situadas en zonas donde el río alberga condiciones especiales que facilitan la construcción, tales como la existencia de islas o brazos laterales.

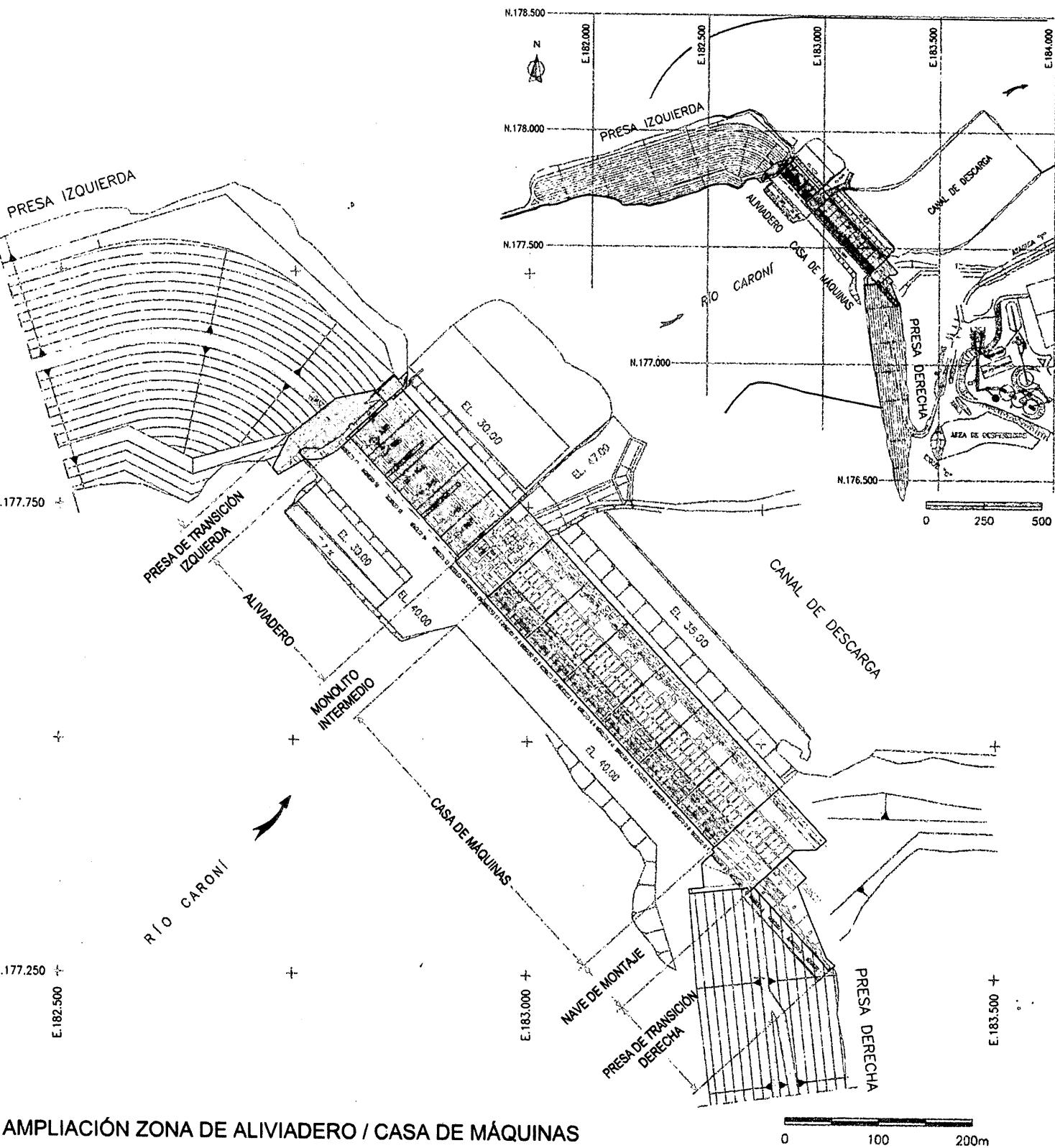
La tipología que se adopta es la de presa mixta. De gravedad en la zona donde se ubica la central y el aliviadero, y de escollera en el resto. Suele ser siempre la misma en todas las instalaciones del río Caroní, motivada por la gran longitud que adquieren las cerradas.

Caruachi no es una excepción a esta regla, así el proyecto de la presa y central está constituido por los siguientes elementos, enumerados desde la ladera derecha a la izquierda :

- **Presa margen derecho:** presa de escollera con pantalla de hormigón aguas arriba. Altura sobre cimientos 57 mts. Longitud de coronación 1 Kmt. Volumen aproximado del cuerpo de presa 3 millones de M³.
- **Presa transición margen derecho:** presa de gravedad de 57 mts de altura máxima sobre cimientos. Esta presa forma la aleta donde se unen la presas de escollera de la margen derecha y el cuerpo de la presa de hormigón.
- **Presa de hormigón y central integrada:** presa de hormigón de 74,25 mt de altura sobre cimientos en cuyo cuerpo se encuentran insertadas las tomas de agua de la central, la cual está ubicada inmediatamente aguas abajo e integrada en la misma.

Planta general del proyecto.

PLANTA GENERAL



AMPLIACIÓN ZONA DE ALIVIADERO / CASA DE MÁQUINAS



**Infografía
del edificio
de control.**

Esta central alberga doce turbinas Kaplan de 180 MW cada una que mueven sendos generadores de igual potencia. Las tomas están diseñadas para un caudal de 6.000

M³/sg que es el caudal que turbina la central de Guri ubicada aguas arriba de Caruachi.

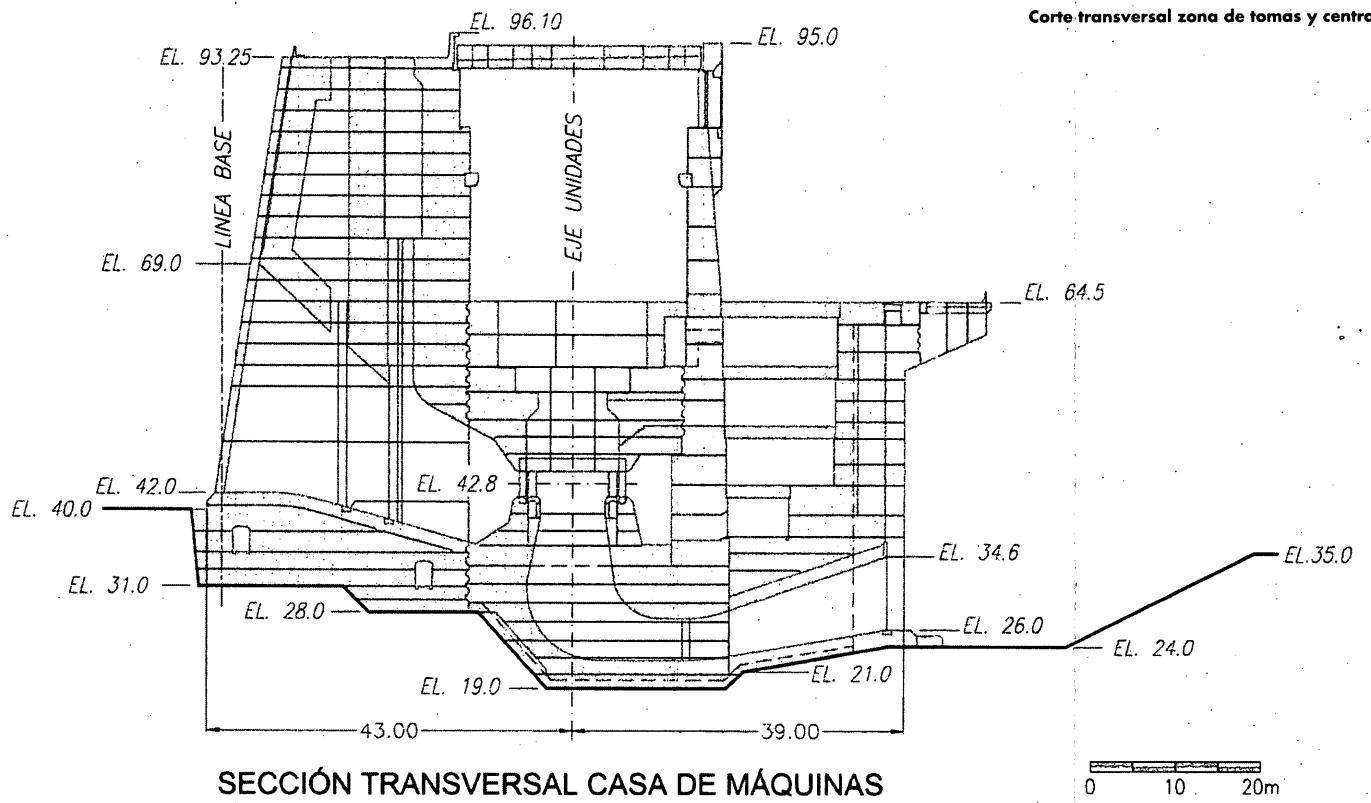
Longitudinalmente la presa y central presenta una serie de zonas diferenciadas que coinciden con los elementos típicos de una central hidroeléctrica.

En primer lugar se encuentra la zona de la nave de montaje destinada a servir de área para el ensamble de los elementos más voluminosos de las turbinas y generadores, típicamente los rotores y ejes de cada uno de ellos.

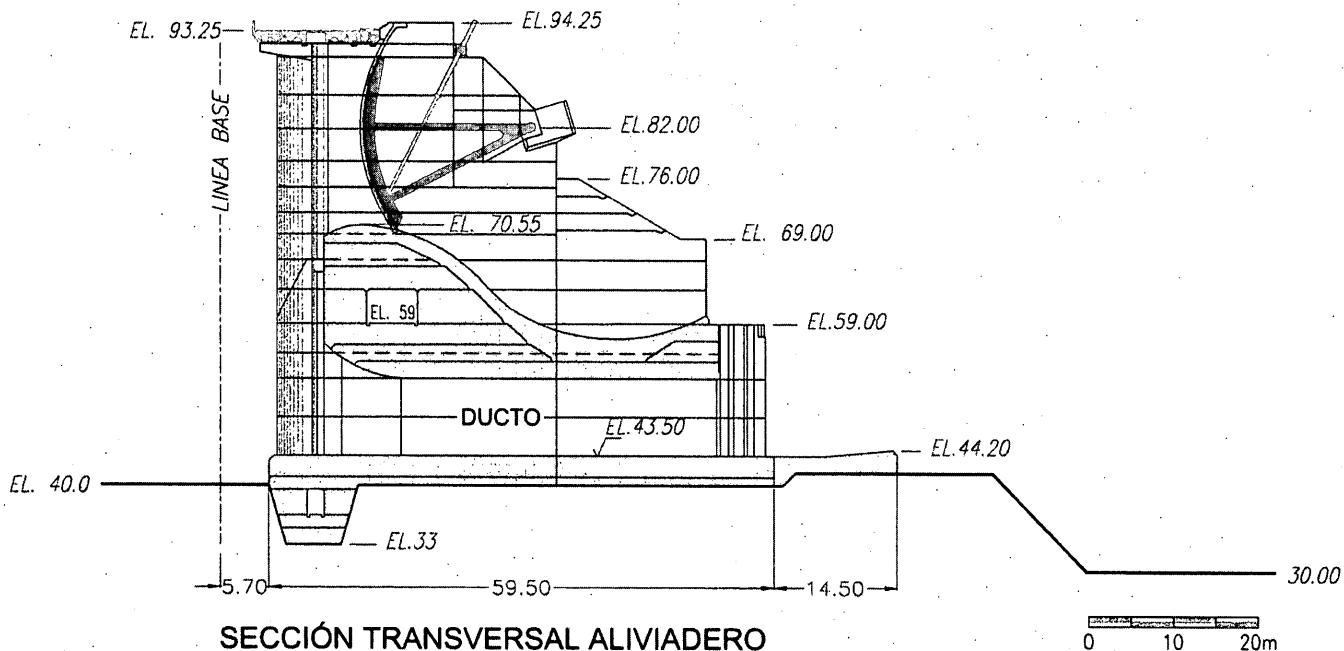
Posteriormente se encuentra la nave de grupos, el área más extensa de la central, donde se encuentran ubicados los doce grupos turbina-generador.

Al final de la central se encuentra el denominado monolito intermedio, en el cual se encuentran ubicados el edificio administrativo y de control del complejo, así como los accesos a la nave de la central, escaleras y elevadores. Mención especial merece el diseño del edificio mencionado de planta circular el cual aportará una singularidad arquitectónica al proyecto.

Transversalmente podemos observar que la presa y central está dividida en tres secciones de aguas arriba a aguas abajo, cada una de estas secciones se encuentra diferenciada de las otras mediante una junta de construcción que se inyecta posteriormente



Sección transversal del aliviadero.



Primeramente se encuentra la zona de Tomas, su perfil es el de una presa de gravedad cimentada en la cota 28 y coronada en la 93,25. En ella se encuentran insertas las tomas de agua de los grupos, la toma de cada uno de ellos consta de tres conductos que en el paramento aguas arriba alcanzan una altura de 27 mt teniendo una anchura constante de 6,40 mt.

Estos conductos de tomas se encuentran provistos de rejillas de entrada de 7 x 28 mt y de compuertas de mantenimiento y maniobra de 6,40 x 24 y 7 x 16,80 mt respectivamente. Estas compuertas son maniobradas por un puente grúa que rueda por la cota de coronación.

A continuación se encuentra la zona de la central propiamente dicha. Esta zona está cimentada a la cota 19 y corona a la misma que la presa, 93,25. Sus grandes dimensiones son debidas al tipo de turbinas que se instalan en ella (12 grupos Kaplan), cuya necesidad de funcionar con altos caudales obliga a grandes dimensiones en los circuitos hidráulicos.

La cámara espiral, como en casi todo este tipo de turbinas, no está blindada pero si lo está el tubo de aspiración, el cual es único en la salida de cada grupo para dividirse posteriormente en tres conductos al objeto de minimizar las dimensiones de las compuertas de aspiración.

Por último, aguas abajo, se encuentra la zona denominada nave de servicios. Esta zona está cimentada a la cota 21 y corona en la cota 64,50 en

donde se instala el patio de transformadores de potencia y la salida de líneas. Consta de una serie de pisos en los cuales se ubican los equipos auxiliares de la central.

Por la explanada de la cota 64,50 rueda el puente grúa destinado a maniobrar las compuertas de aspiración, 3 por cada grupo, cuyas dimensiones son 7,20 x 8,70 mt.

Es de destacar que ninguna de estas tres secciones es estable, por sí misma, frente a los empujes hidrostáticos, siendo preciso el conjunto de ellas para equilibrar dichos empujes.

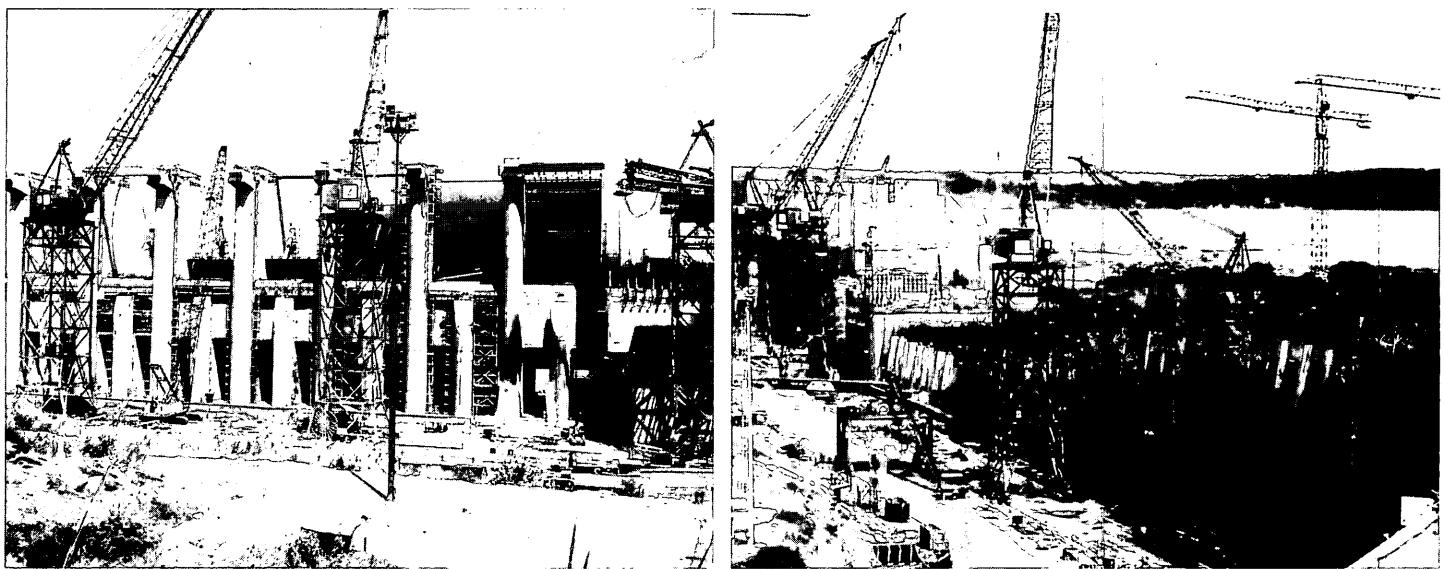
- **Aliviadero:** situado a continuación de la presa y central. En su sección transversal podemos ver que está cimentado a la cota 33 y corona, como la presa, a la 93,25.

Este aliviadero está diseñado para un caudal de 35.000 M³/sg. Este caudal de diseño, aproximadamente el doble

que el caudal máximo conocido, es debido a la escasa cronología hidrológica disponible. El perfil del mismo es un Creager y acaba en un trampolín que lanza el agua a un cuenco de amortiguación excavado directamente en la roca.

Este Aliviadero consta de nueve vanos de 15,20 mt de anchura cerrados por compuertas motorizadas tipo Taintor de la misma anchura y 21 mt de altura. Asimismo cada vano está dotado con una compuerta de mantenimiento de 16,50 x 15,20 mt que es maniobrada por un pórtico grúa que rueda sobre el puente.

Este Aliviadero consta de nueve vanos de 15,20 mt de anchura cerrados por compuertas motorizadas tipo Taintor de la misma anchura y 21 mt de altura



En su parte inferior este aliviadero aloja 18 conductos de 6×9 mts destinados a constituir el desvío del río en la segunda fase de ejecución de la obra, de la cual hablaremos mas adelante. Dichos conductos tienen previstas compuertas de emergencia aguas arriba de $6,50 \times 15,00$ mt y compuertas de cierre aguas abajo de $6,40 \times 9,30$ mt con las que se realizarán, en su día, las maniobras de cierre de desvío y comienzo de embalse, las cuales comentaremos también mas adelante.

- **Presa transición margen izquierda:** presa de gravedad de 57 mt de altura que, al igual que la presa

Aliviadero,
vista aguas
arriba
(conductos
en la parte
inferior).
A la derecha,
zona de tomas
y central
(Vista aguas
arriba).
Abajo, zona
de tomas
y central
(Vista
aguas abajo).

transición de la margen derecha, está destinada a ser la aleta donde se estrella la presa de escollera de la margen izquierda.

- **Presa margen izquierda:** presa de escollera con núcleo de arcilla. Altura sobre cimientos 57 mts. Longitud de coronación 4,6 Kmt. Volumen aproximado de cuerpo de presa 9 millones de M^3 .

- **Canal de descarga:** excavado en roca, tiene mas de 400 mts de anchura y un volumen aproximado de excavación de 3,5 millones de M^3 . Con los productos de la excavación de este canal se fabrican los áridos para hormigones. La roca constitutiva de la zona es una granodiorita masiva denominada "granito guayanés" en la terminología local.

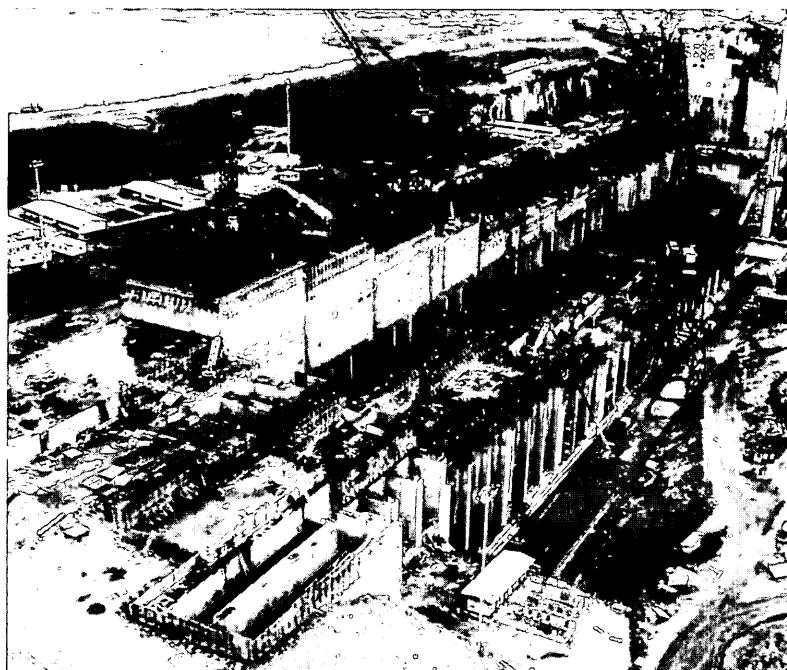
Adicionalmente fue preciso construir varios kilómetros de ataguías de escollera con núcleo de arcilla, la mayor parte de ellas semisumergidas, decenas de kilómetros de carreteras y caminos de acceso y explanar varios kilómetros cuadrados para que pudieran servir de ubicación a oficinas, campamentos e instalaciones de obras.

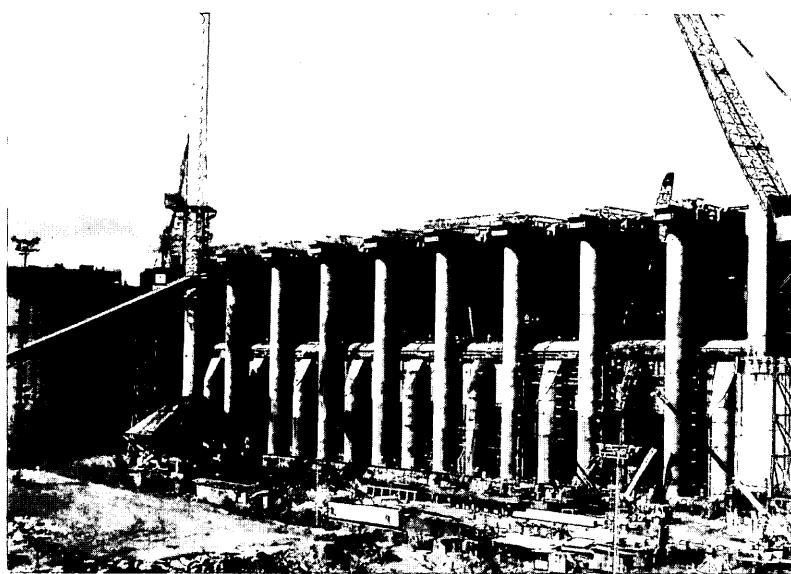
Estas obras, así como la excavación de la zona de la central, fueron trabajos realizados con anterioridad a la contratación de las obras de las que trata el presente artículo. Con los materiales procedentes de dichas excavaciones se construyó parte de la presa de escollera de la margen derecha.

CONTRATOS Y RESPONSABILIDADES CONTRACTUALES

La ejecución del proyecto está dividida en diversos contratos homogéneos de los cuales los principales son :

- Presa margen derecha y canal de descarga.





Aliviadero
(Vista
aguas
arriba).

Aliviadero
(Vista
áerea
aguas
abajo).

- Presa margen izquierda.
- Suministro y montaje de turbinas, generadores, transformadores y líneas de salida.
- Suministro de equipos hidromecánicos (compuertas radiales del aliviadero, compuertas vagón de las tomas, compuertas vagón de las salidas de los tubos de aspiración y puentes grúa de maniobra).
- Tomas, Central y Aliviadero. Obra civil, montaje de compuertas y puentes grúa de maniobra, suministro y montaje de los sistemas y elementos eléctricos y mecánicos auxiliares de la central.

Este último, denominado contrato 103-31, es el contrato principal del proyecto y está siendo ejecutado por la UTE Dravica, la cual está liderada por la empresa española DRAGADOS O.P. De dicha UTE forman parte también las empresas ICA de México y VIALPA de Venezuela. El monto actual de este contrato sobrepasa los 300 millones de dólares norteamericanos.

Dentro de la UTE los trabajos de montaje de elementos hidromecánicos están siendo realizados por MASA, empresa española perteneciente al GRUPO DRAGADOS.

A la construcción de esta obra principal está supeditada la realización del resto del proyecto y a ella nos vamos a referir en el resto del artículo, principalmente.

Las responsabilidades de dicho contrato abarcan los siguientes aspectos :

Construcción de las obras civiles de la presa, presas de transición, central integrada y aliviadero

Esta obra civil abarca las estructuras de hormigón armado de la presa y sus tomas integradas, la central, el aliviadero, las presas de transición derecha e izquierda que unen

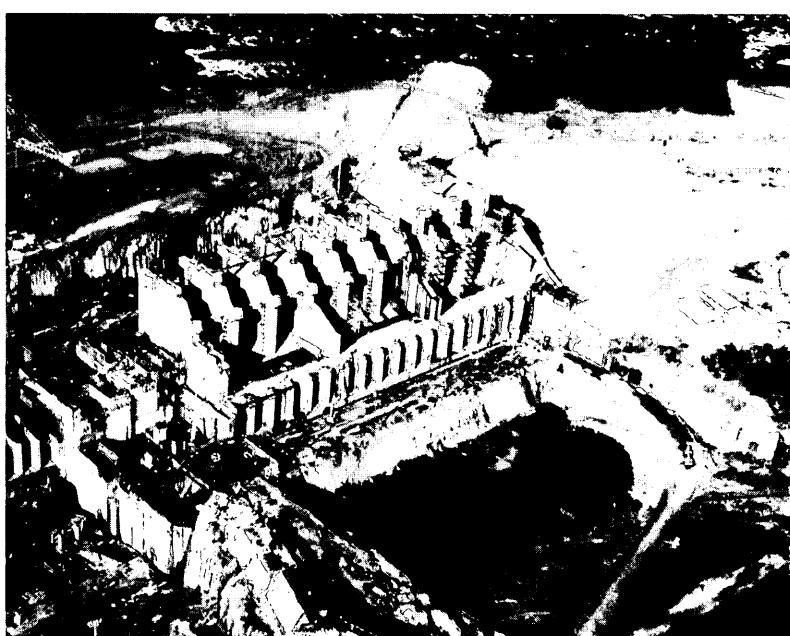
estas estructuras con las presas laterales de escollera, la nave de montaje de la central y la ataguía que separa el canal de salida de la central y el canal de salida del aliviadero (denominada ataguía G).

En la ejecución de estas obras se incluye la fabricación y el montaje de los elementos metálicos empotrados de primera fase para todos los equipos hidromecánicos y la totalidad de tuberías y válvulas de los circuitos de drenaje, refrigeración, lubricación etc... de la central e instalaciones auxiliares.

Debido a las características de las obras y las especiales condiciones climáticas de la zona, altas temperaturas medias y elevada humedad ambiente a lo largo del año, los requerimientos en la fabricación de los hormigones se salen fuera de las especificaciones que se podrían considerar normales; el tamaño máximo de los mismos, debido a la fuerte dotación de armaduras, es de 76 mm, y el rango de temperatura de puesta en obra oscila, según el tipo y posición, entre 15°, 12° y 8°C. Adicionalmente los hormigones de los circuitos hidráulicos en contacto con el agua (paredes y techos de conductos de tomas y del aliviadero, perfil creager del mismo, cámaras螺旋as y tubos de aspiración de las turbinas) incorporan microsilice.

Para ello ha sido necesario prever sistemas de fabricación que alcancen una temperatura de salida del hormigón de planta de 6°C, junto con sistemas de transporte y puesta en obra que evitan que la temperatura del hormigón se incremente en más de 2°C.

Las cantidades de obra civil mas relevantes son: Hormigones 1.710.000 M³; Acero de armar 90.165.000 Kg; Encofrados 680.000 M²; Acero en empotrados de primera fase y tuberías 5.400.000 Kg.





Montaje de compuertas radiales (Vista aguas arriba).



Compuerta radial.

• Montaje de las compuertas de tomas y de las compuertas de aspiración.

Las Tomas de cada grupo constan de tres conductos, por ello los doce grupos están dotados con 36 unidades de rejas de 7×28 m, 36 compuertas de mantenimiento de $6,40 \times 24$ mt y 9 compuertas de toma de $7 \times 16,80$ mt.

Para cada una de estas rejas y compuertas es preciso el montaje de sus respectivas guías, en total $36 \times 3 = 108$ unidades. Para posibilitar su montaje, dada la altura de las mismas, las guías de las rejas y de las compuertas de maniobra de toma están divididas cada una en seis segmentos y las de las compuertas de mantenimiento en cinco.

Los pesos unitarios de estos elementos también están acordes con la magnitud de la instalación, cada reja pesa 39,5 tn, cada compuerta de mantenimiento pesa 76 tn y cada compuerta de maniobra de toma 93,5 tn.

Como se ha descrito anteriormente cada tubo de aspiración también se encuentra dividido en tres secciones, y cada una de ellas está dotada con una compuerta de $7,20 \times 8,70$ mt y 12 tn de peso.

Igualmente cada salida tiene sus respectivas guías de compuertas, en total 36 unidades, cada una de las cuales está dividida en dos segmentos.

• Montaje de las compuertas radiales del aliviadero.

Esta parte de obra comprende el montaje de las nueve compuertas radiales de $15,20 \times 21$ mt del aliviadero y de las de mantenimiento de $15,20 \times 16,50$ mt, todas ellas con sus correspondientes guías.

También está incluido en este trabajo el montaje del puente metálico del aliviadero y del pórtico grúa de maniobra que rueda sobre el mismo.

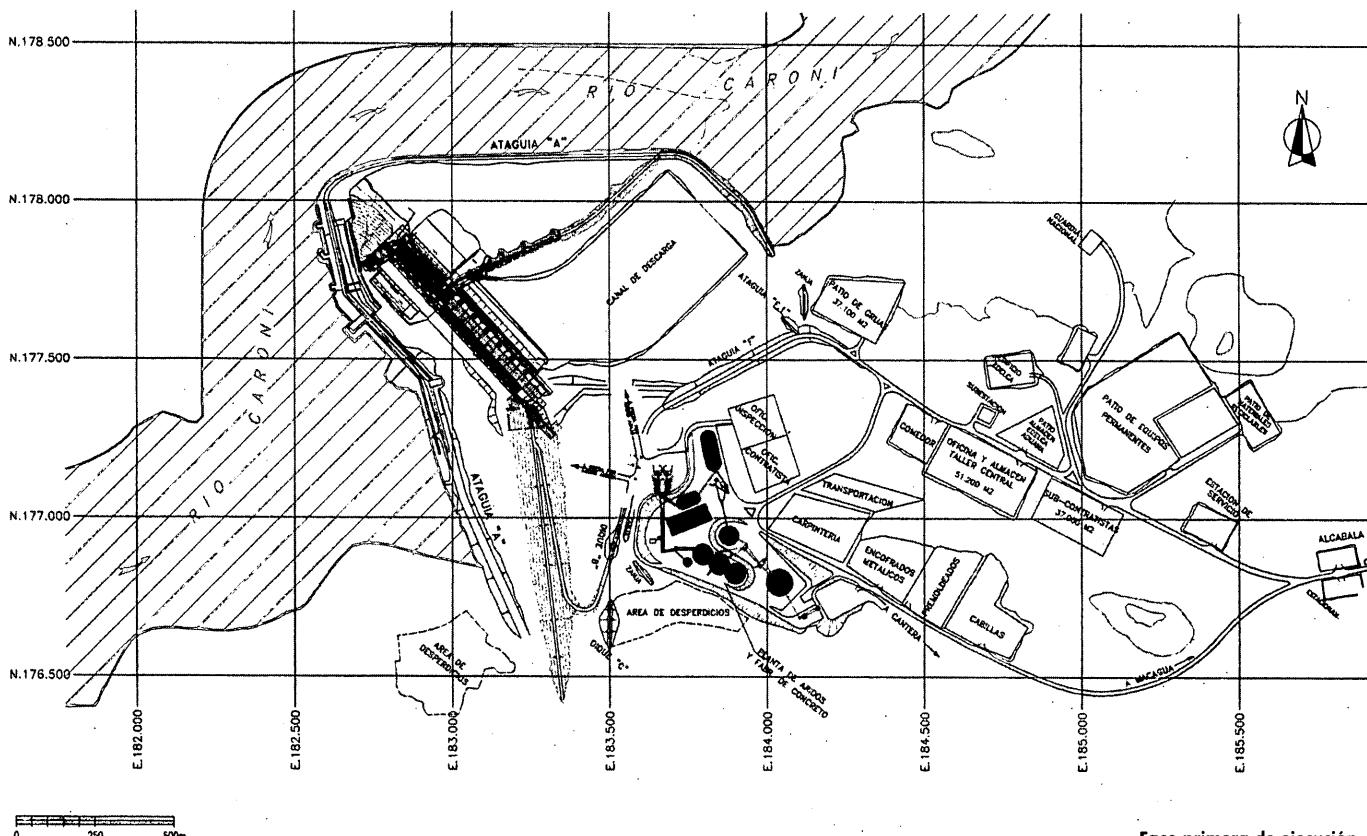
El peso unitario de cada compuerta radial es de 250 tn, razón por la cual su montaje se realiza in situ por secciones. Cada compuerta de mantenimiento tiene un peso unitario de 128 tn, estas compuertas son manejadas por el puente grúa mencionado.

Las guías de las compuertas radiales están divididas, para su manejo y montaje, en cuatro sectores y las de las compuertas de mantenimiento en seis.

• Diseño, ensayo en modelo reducido, suministro y montaje de las compuertas para la maniobra de cierre de los conductos de desvío.

Como se ha descrito anteriormente en la parte inferior del aliviadero se encuentran 18 conductos de 6×9 mt destinados a constituir el desvío del río durante la segunda etapa de construcción del proyecto.

Para el cierre de estos conductos está prevista una compuerta vagón de $6,90 \times 9,30$ mt aguas abajo (denominada de



Fase primera de ejecución.

DESVIO ETAPA PRIMERA

cierre) y otra de emergencia aguas arriba de $6,50 \times 15$ mt, para tener prevista otra alternativa de cierre en la eventualidad de un fallo con la compuerta de aguas abajo.

En las responsabilidades del contrato se incluye el diseño de estas compuertas y su ensayo en modelo reducido. El diseño de las mismas fue realizado por la Asesoría Técnica de Dragados O.P. y el ensayo en modelo por el Departamento de Hidráulica de la E.T.S.I.C.C.P. de la Universidad Politécnica de Catalunya.

En dicho modelo se simuló el funcionamiento de los conductos así como la maniobra de cierre en diversas hipótesis, suponiendo diversos tipos de fallo y situaciones de emergencia. Los resultados extraídos de este modelo, que en ciertos aspectos fueron sorprendentes, se aplicaron al diseño tanto de las compuertas en si como de la maniobra de cierre, y afectaron hasta al dimensionamiento de las características del puente grúa de maniobra de las compuertas, el cual fue redimensionado para soportar una carga de 400 tn.

Una vez realizada la maniobra de cierre, las compuertas son reemplazadas por tapones metálicos de $6,80 \times 13,86$ mt aguas arriba y de $6,80 \times 15,20$ aguas abajo, los cuales tienen respectivamente unos

pesos de 45,50 y 17,50 tn. Una vez colocados estos tapones se clausura el conducto con un tapón de hormigón.

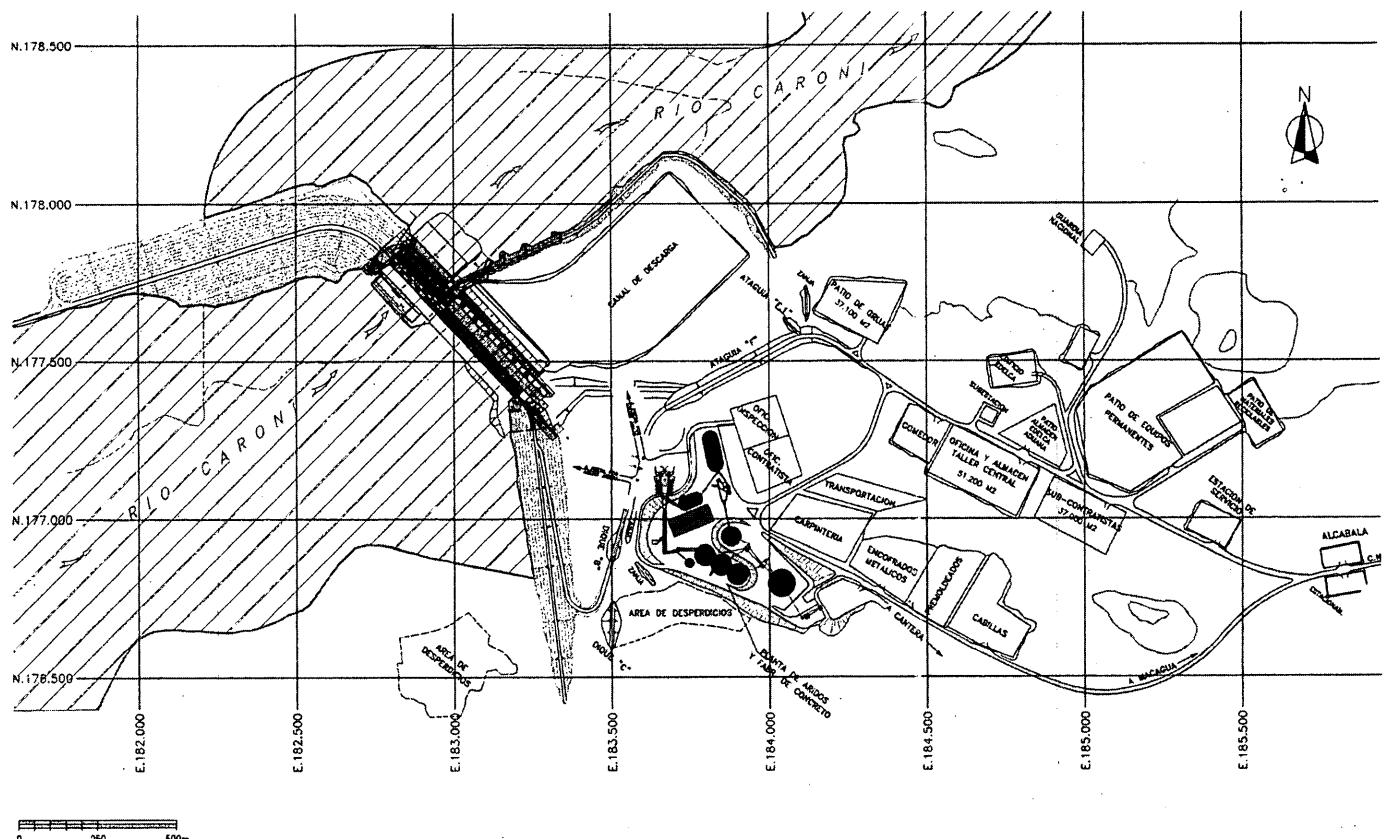
La construcción de las compuertas y tapones fue realizada por la empresa Dragados Off Shore perteneciente al Grupo Dragados. El peso unitario de cada una de las compuertas de cierre es de 45 tn una vez lastradas y 84 tn las de emergencia. Las guías de las mismas constan de dos y seis tramos respectivamente.

Para comprender la complejidad de la maniobra de cierre baste decir que estas compuertas deberán cerrar los conductos con caudales de agua variables hasta de $1.000 \text{ m}^3/\text{sg}$. y velocidades de la misma del orden de 20 mts/sg.

- **Suministro y montaje de todos los sistemas mecánicos secundarios de la central.**

Tales como: sistemas de bombeo, sistemas de depuración, sistemas de aire acondicionado, sistemas de refrigeración de los grupos y generadores, elevadores, talleres electromecánicos, sistemas de agua potable, sistemas oleohidráulicos de la central, circuitos de refrigeración de aceite, sistemas de ventilación, sistemas contra incendios, etc...

La construcción de las compuertas y tapones fue realizada por la empresa Dragados Off Shore perteneciente al Grupo Dragados



DESVIO ETAPA SEGUNDA

Fase segunda de ejecución.

- Suministro y montaje de todos los sistemas eléctricos auxiliares.**

Tales como: Cableado interno de la central, sistemas de potencia de emergencia, sistemas de energía de funcionamiento interno, sistemas de iluminación, sistemas de monitorización, sistemas de video interno, sistemas de megafonía ... etc...

- Elaboración de los planos de construcción.**

A partir de los planos que emite la ingeniería responsable del proyecto es obligación del contratista el desarrollo de los planos de construcción, los cuales son revisados por el propietario antes de ser declarados válidos. Estos planos de construcción detallan completamente todos los elementos constitutivos de cada una de las tongadas en que está despiezada la ejecución de las obras. El número total de pla-

nos de construcción al final del proyecto se estima que sobrepasará las 15.000 unidades.

La realización y coordinación de estos trabajos precisa de una organización importante, por lo cual el organigrama de la obra incluye mas de 45 ingenieros y técnicos expatriados pertenecientes a las empresas constitutivas de la UTE, de los cuales seis son I.C.C.P. españoles. La plantilla de trabajadores de la obra sobrepasó en punta las 3.000 personas.

A partir de los planos que emite la ingeniería responsable del proyecto es obligación del contratista el desarrollo de los planos de construcción, los cuales son revisados por el propietario antes de ser declarados válidos

FASES DE EJECUCIÓN E HITOS CRONOLÓGICOS PRINCIPALES

El proceso de construcción del proyecto está dividido, fundamentalmente, en tres fases :

- En una primera fase se construye, mediante ataguías, un recinto estanco derivando el río Caroní por un canal de mas de 600 ml de anchura en la margen izquierda. Al abrigo de este recinto se ejecutan las excavaciones de la presa y aliviadero, las del canal de descarga; la presa margen derecha; las obras civiles de la presa de hormigón, presas de transición; zona turbogeneradora y

aliviadero. Asimismo, para poder comenzar la etapa siguiente, se ejecutan todos los montajes de compuertas afectados por la retirada de las ataguías aguas arriba (compuertas taintor del aliviadero, compuertas de cierre de los ductos de desvío, compuertas de las tomas de los grupos turbogeneradores). A la vez que se ejecutan los trabajos anteriores se construye la zona de la presa de margen izquierda que no está afectada por el cauce del río.

- En una segunda fase se retiran las ataguías aguas arriba y se desvíe el río Caroní por los ductos del aliviadero mencionados anteriormente. Finalizada esta maniobra, que sólo es posible ejecutar durante el período de estiaje, se comienza la construcción de la presa margen izquierda afectada por el anterior desvío. A la vez se sigue trabajando en la zona turbogeneradora, principalmente en el montaje de las unidades, equipos auxiliares y en la obra civil asociada a estos trabajos de montaje.
 - En una tercera fase se procede a cerrar los ductos de desvío mediante compuertas y se retiran las ataguías aguas abajo, de esta manera se inunda el canal de descarga y comienza la puesta en marcha secuencial de las unidades de generación.

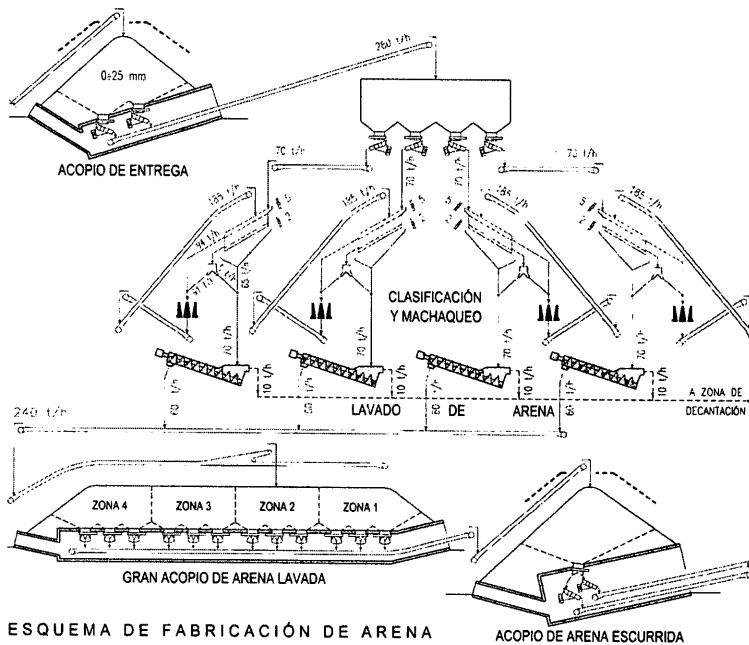
El plan de obra detallado es una red de precedencias que supera las 7.000 actividades y está coordinado con la ejecución del resto de contratos constitutivos del proyecto, razón por la cual existen fechas de necesario cumplimiento que coordinan la ejecución de los mismos. Estas fechas o hitos coinciden con el comienzo o final de actividades que configuran las fases anteriormente mencionadas y son los siguientes :

- Comienzo de la segunda etapa del desvío de río a través de los conductos del aliviadero: 14 de Mayo de 2001.
 - Comienzo del ensamblaje final de las unidades: la primera el 14 de Octubre de 2001, la doceava el 28 de febrero de 2003.
 - Cierre de los conductos del aliviadero (comienzo del embalse y comienzo de la tercera etapa).
 - Finalización de todos los trabajos de obra civil: 14 de Mayo de 2004.
 - Comienzo de generación: el primer grupo en Diciembre de 2004, el doceavo en Diciembre de 2005.

PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Obtención de áridos y procesos de fabricación

Los áridos necesarios para la fabricación de los distintos tipos de morteros y hormigones, son obtenidos a partir de rocas graníticas y clasificados en los siguientes tamaños: Nº 200 + Nº 4; Nº 4 + 3/4"; 3/4" + 1 1/2" y 1 1/2" + 3".



Esquema de fabricación de arena.

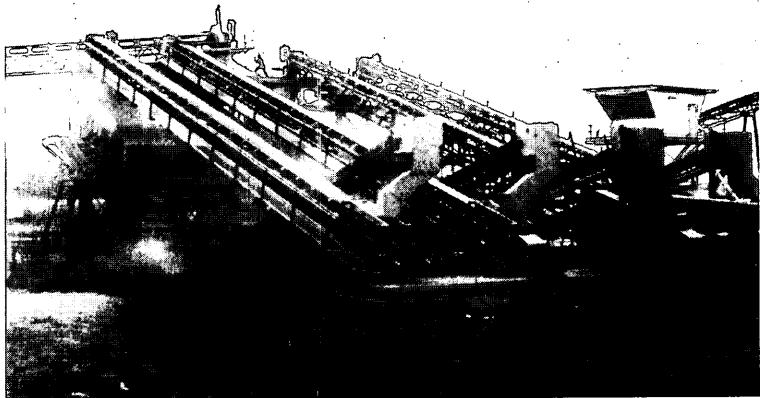
En la fabricación de estos áridos hay que distinguir dos aspectos:

- a) **Áridos gruesos**.- Los tamaños nº 4 + 3/4", 3/4" + 1 1/2 " y 1 1/2" + 3" son entregados por el Cliente, clasificados sobre montón, procedentes de una instalación de machaqueo y clasificación explotada por el contratista que realiza la excavación del canal de descarga de la central pues, como hemos dicho anteriormente, de dicha excavación proviene la materia prima para la fabricación de áridos.

Bajo los acopios de áridos gruesos clasificados, situados en línea, se dispone de una galería "principal" construida en hormigón armado, en la que están instalados una serie de tolvinés metálicos con los correspondientes conductos que atraviesan el techo de la galería y terminan en un marco metálico con dispositivos de cierre para evitar la caída de materiales, en los que se acoplan los sistemas electromecánicos para extracción. (Esta galería, bajo acopios, forma parte de la entrega del Cliente).

Con el fin de poder continuar suministrando áridos en los momentos que se producen problemas en los sistemas de extracción de la galería "principal", se construyó, paralela y próxima a la anterior, otra galería, denominada "secundaria", con dispositivos para extracción similares a los instalados en la galería "principal".

- b) **Arena**.- El material nº 200 + nº 4 se obtiene partiendo de un producto 0 + 25 mm acopiado sobre montón, que entrega el Cliente, bajo el que se dispone de



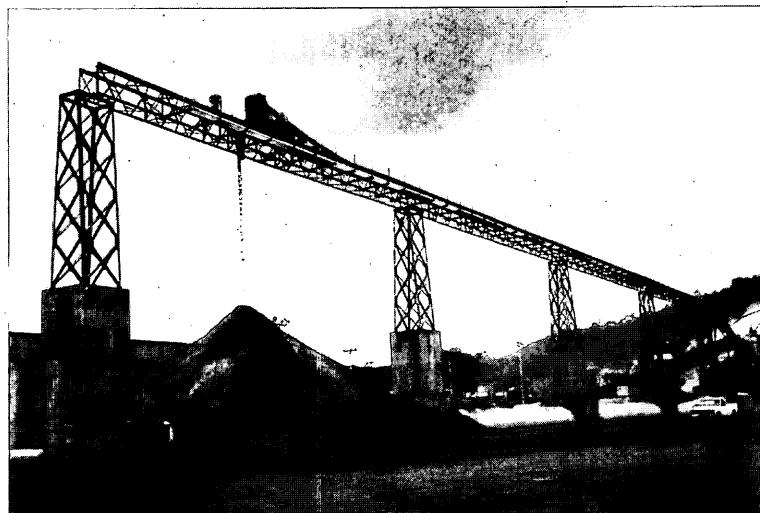
Batería de molinos areneros.

una galería equipada con los tolvinos, conductos y marcos metálicos para acoplar los sistemas de extracción.

Para procesar dicho producto y conseguir una arena que pudiera cumplir con los requisitos de granulometría, módulo de finura, equivalente de arena, etc., se diseñó y montó una planta con procesos de machaqueo, clasificación y lavado, con capacidad para obtener 240 t/h de arena útil.

La instalación se inicia en dos dosificadores vibrantes de bandeja con equipos electrónicos para regulación de caudal, dimensiones de bandeja 30" x 48", montados en la galería bajo el acopio del producto 0 + 25 mm, que alimentan una cinta transportadora de 30" de ancho de banda para dirigir el material hacia una tolva de distribución situada en la parte alta del pórtico de cribas y molinos. En el fondo de esta tolva se instalaron cuatro dosificadores vibrantes de bandeja con equipos electrónicos para regulación de caudal, dimensiones de bandeja 16" x 36", que alimentan, independientemente, cuatro líneas o cadenas dispuestas en paralelo y que están dotadas con máquinas del mismo tipo y características.

Acopio de arena húmeda al comienzo de la obra.



Cada una de estas líneas produce 60 t/h de arena lavada y está compuesta por una criba vibrante, de dos bandejas y 15 m² de superficie de cribado cada bandeja, equipada con mallas de # 5 mm y # 2 mm, respectivamente, accionada por motor eléctrico de 30 kW. El material rechazado por la malla de # 5 mm y gran parte del que rechaza la malla de # 2 mm, se trata en un molino de conos de nueva generación, equipado con cámara extrafina y accionado por motor eléctrico de 220 kW, que dispone de un sistema de regulación, mediante equipo oleohidráulico, que permite ir ajustando el regla je de la máquina para poder mantener las características del producto de salida, que es reciclado y cribado nuevamente. El pasante por la malla de # 2 mm de la criba y una parte del que rechaza esta malla, (la cantidad requerida para ajustar la curva granulométrica de la arena), se envían a un tornillo lavador de 10.400 mm de longitud y 1.370 mm de diámetro, accionado por motor eléctrico de 22 kW, en el que se trata con la correspondiente proporción de agua limpia para eliminar las partículas finas no deseadas.

Los cuatro tornillos lavadores descargan la arena producida en una cinta colectora de 30" de ancho de banda que alimenta otra cinta transportadora, también de 30" de ancho de banda, dotada de un carro distribuidor "TRIPPER" para realizar un gran acopio al aire donde se va decantando el agua que contiene la arena. Con anterioridad se preparó la zona de acopio dando pendientes para facilitar el drenaje y preparando las soleras, además de haberse montado un túnel de 3,2 m de diámetro construido a base de chapas de acero onduladas, curvadas, galvanizadas y atornilladas entre sí, en el que van instalados los sistemas de extracción.

Mediante boquillas para extracción de accionamiento neumático, instaladas en grupos de tres a lo largo del túnel anterior para poder diferenciar cuatro zonas del aco pio, se alimenta una línea de cintas transportadoras que hace llegar la arena escurrida hasta un nuevo ensilado sobre montón que se realiza en el interior de una nave cubierta para proteger la arena de los agentes externos. Esta instalación se completa con las correspondientes tolvas, cañerías, transportadores de banda, básculas sobre cintas, equipos eléctricos y de telemundo, sistema de eliminación de polvo y la correspondiente red de agua para lavado. Existe un puesto de mando desde el que se controla y regula el funcionamiento de las distintas máquinas.

Centrales de fabricación, características

De acuerdo con los programas de ejecución y teniendo en cuenta que el volumen total de hormigón de la obra está próximo a 1.710.000 m³, de los que el 10% se fabri-

ca con árido de tamaño máximo 3/4" y se debe colocar a una temperatura de 8° C; el 70% se fabrica con árido de tamaño máximo 1 1/2", siendo la temperatura de colocación de 15° C y el 20% restante es fabricado con árido de tamaño máximo 3" y debe colocarse a una temperatura de 12° C, se diseñaron e implantaron en la margen derecha de la presa, aguas abajo, un conjunto de instalaciones necesarias para poder cumplir los objetivos.

Estas instalaciones fundamentalmente constan de:

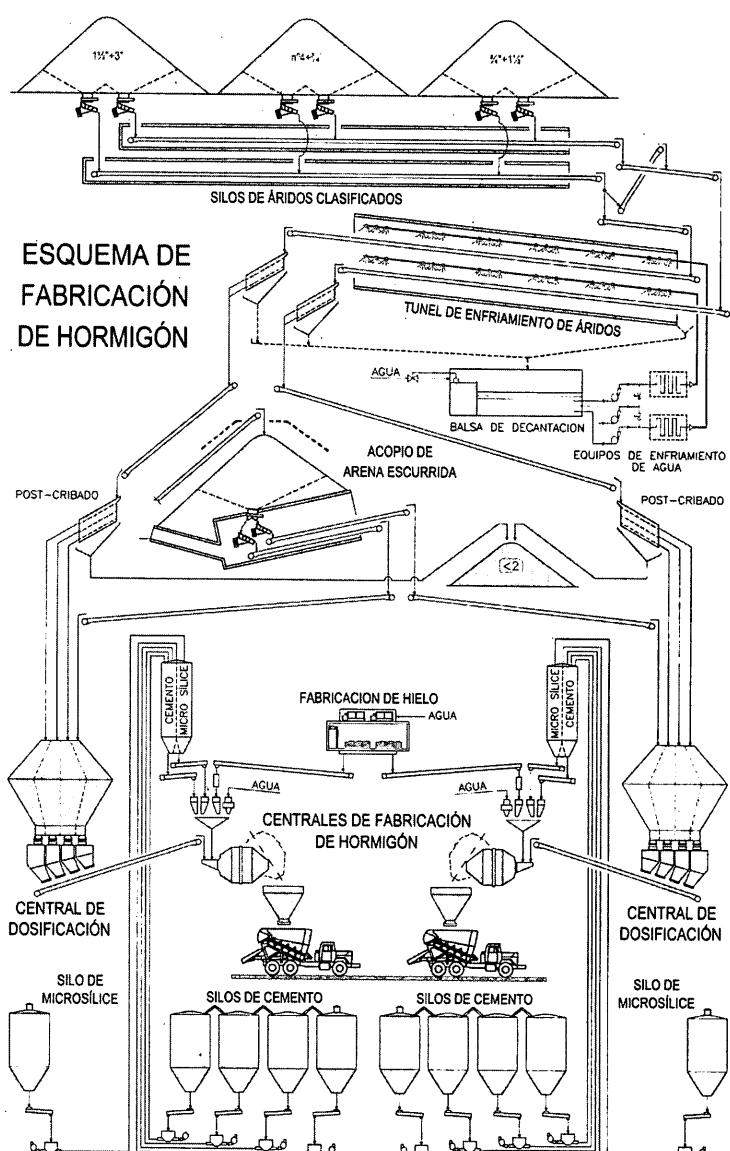
- a) **Transporte de áridos.**- La alimentación de áridos a las dosificadoras de las centrales para fabricación de hormigones se realiza a través de cuatro líneas de transportadores de banda, (Una para áridos gruesos y otra para arena a cada una de las dos plantas).

Las líneas de transporte de áridos gruesos hasta las dosificadoras se inicián en las dos galerías construidas bajo los montones de áridos gruesos clasificados donde se instalaron seis dosificadores vibrantes de bandeja, (uno + uno bajo cada acopio), con equipos electrónicos para regulación de caudal, dimensiones de bandeja 36" x 54", que alimentan dos cintas transportadoras de 36" de ancho de banda, montadas una en cada galería. Otros tres transportadores de banda, de distintas longitudes y anchos, completan cada una de las líneas que finalizan en respectivas cribas vibrantes, para postcribado, de tres bandejas y 9 m² de superficie de cribado, montadas en pórtico independiente sobre las dosificadoras.

En el vertido de la cinta que sale de la galería "principal" se adaptó un sistema de by-pass para poder alimentar las dos dosificadoras trabajando únicamente desde esta galería.

Bajo el ensilado cubierto de arena seca se montó un túnel construido con chapas de acero onduladas, curvadas, galvanizadas y atornilladas entre sí, que está dotado de una boquilla para extracción, equipada con dispositivos de cierre para evitar la caída del material, a la que se conectó una tolva pantalón con dos dosificadores vibrantes de bandeja con equipos electrónicos de regulación de caudal, dimensiones de bandeja 30" x 48", que alimentan dos cintas transportadoras de 30" de ancho de banda, montadas en paralelo en el interior del túnel, que descargan sobre otros dos transportadores de banda, también de 30" de ancho, que conducen la arena a la correspondiente tolva de cada dosificadora.

- b) **Plantas para fabricación de hormigón.**- Los distintos hormigones y morteros se fabrican en dos centrales, gemelas, dosificadoras-amasadoras con capacidad para producir 150 m³/h de hormigón vibrado cada una.



Esquema de fabricación de hormigones.



Centrales de fabricación de hormigón.

Las plantas son de diseño modular y desarrollo horizontal, estando esencialmente compuestas, cada una de ellas, por:

- Una batería con cuatro tolvas cerradas para almacenamiento de áridos, con una capacidad total de 222 m³, básculas independientes para cada tipo de áridos e instalación neumática.
- Pórtico de amasado en el que hay instalados un silo metálico vertical de 105 m³ de capacidad, con dos compartimentos uno de 70 m³ que se utiliza para cemento y otro de 35 m³ para microsilice, con sistemas de aireación, válvulas de seguridad, compuertas de cierre, etc.; un depósito para agua de 2.100 l de capacidad; un depósito para hielo de 2.450 kg; conjunto de básculas para cemento-microsilice, agua-hielo y dos aditivos, con los respectivos sistemas de carga a básculas y descarga de las mismas; una hormigonera horizontal basculante con capacidad para amasar 9 m³ de hormigón vibrado, montada sobre estructura independiente de la que soporta los dosificadores; una tolva de espera de hormigón con capacidad para 9 m³, equipada con cierre de casco; instalaciones eléctrica, neumática y oleohidráulica.
- Cinta transportadora carenada de 48" de ancho de banda y 24,4 m de longitud, que lleva los áridos dosificados desde la batería de tolvas hasta la amasadora.
- Cabina de mandos aislada y climatizada, conteniendo los equipos de protección y maniobra, pupitre de mandos con esquema sinóptico, microprocesador, pantalla, teclado e impresora, para control de todas las funciones en automático y manual.
- c) Ensilado de cemento y microsilice.- Cada una de las centrales para fabricación de hormigón tiene instalado, en sus proximidades, un sistema para acopio de cemento y microsilice compuesto por cuatro silos metálicos verticales para cemento de 800 t de capacidad, cada uno, y un silo metálico vertical de 100 t de capacidad para microsilice. El transporte desde estos silos de acopio hasta el silo compartimentado de la planta de hormigón se realiza mediante los correspondientes equipos neumáticos a baja presión.

Refrigeración de los hormigones

Debido a las condiciones requeridas para los hormigones a colocar en las distintas zonas de la obra, se hizo necesario disponer de una serie de instalaciones para reducir las

temperaturas de puesta en obra del hormigón hasta las previstas.

Los procedimientos utilizados son:

- a) Refrigeración de los áridos gruesos en un tramo de su camino hacia las tolvas de las centrales para fabricación de hormigón, mediante un sistema continuo de enfriamiento por agua. Los tres tamaños de áridos superiores a 5 mm son enviados, desde los respectivos silos de acopio, según las necesidades de las centrales, a un túnel de enfriamiento prefabricado con chapa de acero ondulado y aislado exteriormente con un recubrimiento proyectado de poliuretano, de 5 cm de espesor. Para ello se han dispuesto dos cintas transportadoras en paralelo, de 100 m de longitud y 42" de ancho de banda, que se desplazan a una velocidad de 0,42 m/seg, con una capacidad unitaria de transporte de 300 t/h.

El enfriamiento del árido se logra al ponerlo en contacto con agua a una temperatura de 2º C, procedente de difusores colocados a lo largo de las cintas, dimensionados para distribuir un caudal de 430 m³/h en cada banda. El agua, previa decantación de los lodos en un tanque al que se cubrió la superficie con paneles aislantes para evitar el calentamiento del agua por efecto de los rayos solares, es reconducida mediante equipos de impulsión a dos grupos de enfriamiento, con una capacidad frigorífica unitaria de 1.000.000 Kcal/h, dotados con compresores accionados por motores eléctricos de 500 kW.

El agua que acompaña al árido en el vertido de las cintas es eliminada en dos cribas-escurridores de 9 m² de superficie de cribado y dos bandejas.

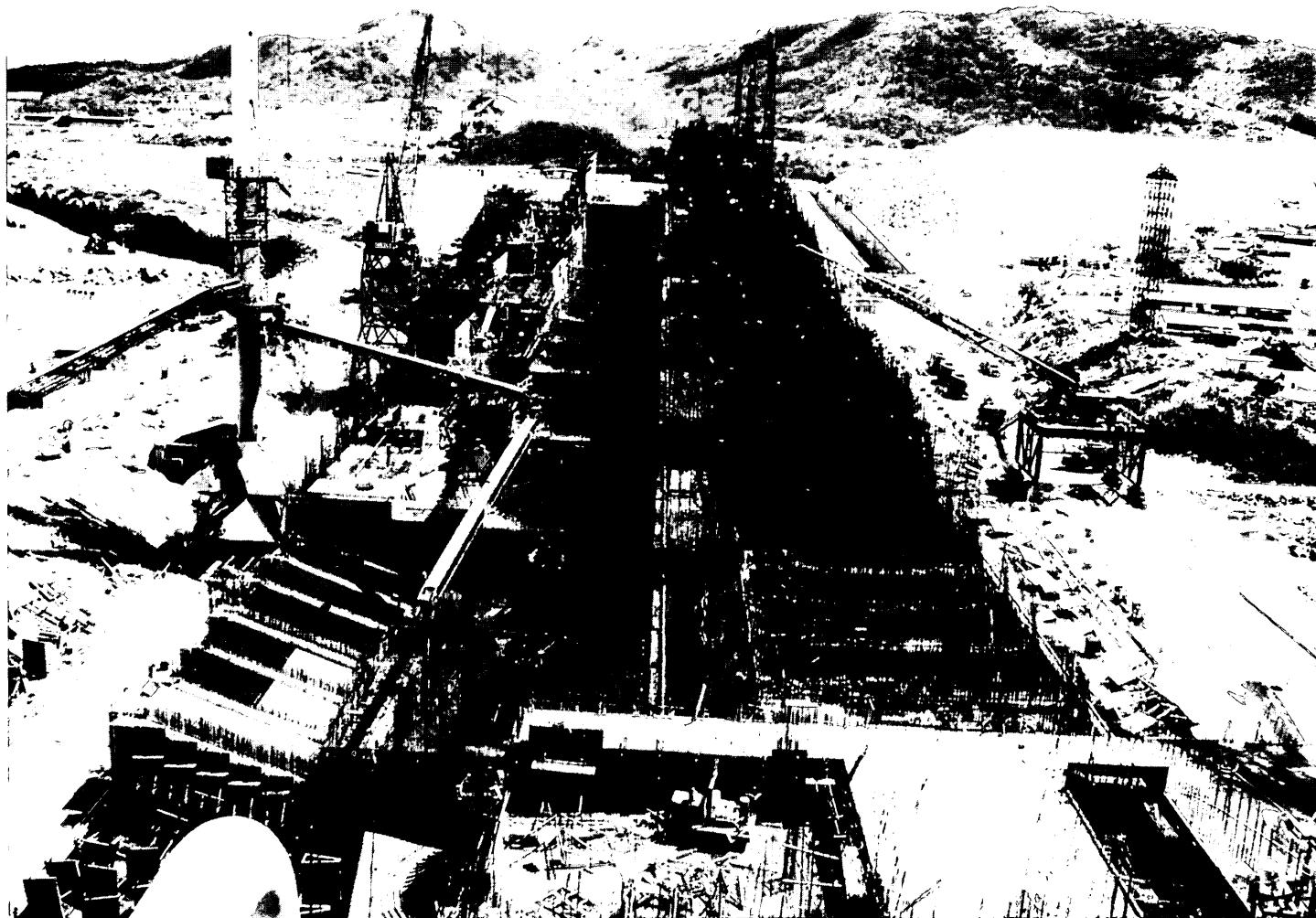
- b) Incorporación de escamas de hielo en las centrales de hormigonado, en sustitución de parte del agua de amasado.

Las producciones de hormigón previstas y la continuidad de su puesta en obra, hicieron necesario el montaje de una fábrica de escamas de hielo capaz de producir 300 t/día, compuesta por tres plantas independientes y tres silos, perfectamente aislados, con capacidad total para almacenar 200 t de hielo en escamas.

Desde los silos de almacenamiento de hielo se pueden alimentar cualquiera de las dos centrales de hormigonado, efectuando el transporte por medio de tornillos sin-fin hasta los depósitos aislados situados en las plantas.

La potencia eléctrica instalada se aproxima a los 1.000 kW.

- c) Utilización de agua fría para amasado.- También se montó un equipo para enfriamiento de agua hasta 3º C desde el que se puede conducir el agua fría, mediante



**Creter Crane
y Tower Belt
colocando
hormigón.**

grupos motor-bomba y tuberías metálicas de 2" y 4" de diámetro, hasta los depósitos en las centrales de hormigonado. Tiene capacidad para un caudal de 13 l/seg, lo que permite, además, alimentar con agua fría la fábrica de escamas de hielo para mejorar su rendimiento.

• d) Enfriamiento de las tolvas de almacenamiento de áridos, en las centrales para fabricación de hormigón, mediante un sistema de aire frío.

Con el fin de poder conservar la temperatura de los áridos gruesos, refrigerados en el túnel de enfriamiento, y reducir la temperatura de la arena durante su permanencia en las tolvas de las dosificadoras, se montó un sistema para inyección y circulación de aire frío a una temperatura de -14° C.

El equipo consta de tres compresores, dos condensadores, dos difusores, dos juegos de conductos de panel acoplados a las baterías de tolvas y seis ventiladores de 24". Adicionalmente se aislaron los silos de almacenamiento mediante la protección de una capa de porespán de 15 cm en su superficie

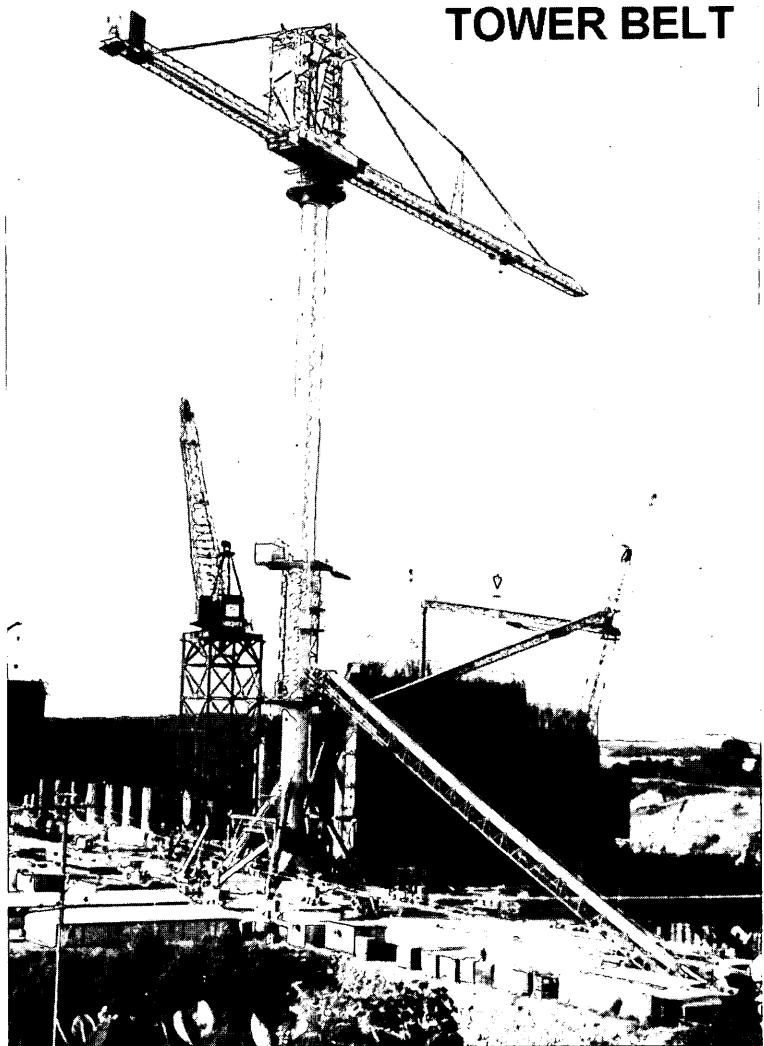
Con la combinación de estos cuatro sistemas se consiguió que la temperatura del hormigón en su colocación alcanzara los valores deseados.

Puesta en obra de los hormigones

Seguidamente se relacionan los distintos medios utilizados para la puesta en obra de los hormigones:

• a) Transporte de hormigón con camión.- El hormigón fabricado en las centrales se transporta hasta los diferentes frentes de trabajo en camiones volquetes con tolvas especiales para transporte de hormigón (silobuses) con capacidades de 9 m³ y 12 m³.

Las tolvas están dotadas de agitador, mediante tornillo sin-fin, y cierre de casco, lo que permite regular la descarga. También disponen de tapa con accionamiento



Tower Belt.

oleohidráulico y están aisladas térmicamente para reducir el calentamiento del hormigón durante su transporte.
• b) Creter Cranes.- Se utilizaron tres grúas automóvil de 100 t, con chasis todo terreno, cuya pluma se sustituyó por un transportador de banda de alta velocidad, extensible, con alcance máximo de 61 m y 610 mm de ancho. El transportador de banda se alimenta a través de una cinta de cola, situada en la parte posterior del equipo, que recibe el hormigón desde una tolva de recepción de 9 m³ de capacidad, montada sobre neumáticos, donde descargan los vehículos del apartado anterior, que lleva incorporada una cinta transportadora de 800 mm de ancho de banda, con dispositivos para variar su velocidad desde cero hasta 2,3 m/seg y así poder regular el caudal de hormigón a colocar. La capacidad unitaria de estos equipos supera los 200 m³/h.
• c) Grúas torre equipadas con cintas de alta velocidad (Tower – Belts).- Para la colocación de los hormigones si-

tuados entre las cotas +40 m.s.n.m. y +95 m.s.n.m., (Cota de coronación de la presa), se instalaron dos sistemas compuestos por transportadores de banda y sendas grúas torre especiales, de grandes dimensiones, montadas con 80 m y 90 m, respectivamente, de altura bajo gancho y plumas para 80 m de alcance, siendo su capacidad de carga en punta de 30 t. Las dos grúas se mueven sobre vías paralelas sin dificultad, a pesar de tener una masa de 1.300 tn cada una, dichas grúas están situadas aguas arriba una y la otra aguas abajo de la presa.

Cada grúa soporta dos cintas articuladas de 30" de ancho de banda, en forma de brazo, que son alimentadas por otra de transferencia entre estas y la cinta de cola. La alimentación de esta última se realiza del mismo modo que para los equipos del apartado b). Con cada una de estas maquinas, se consiguieron producciones próximas a los 300 m³/h.

Movimiento de materiales y encofrados

Para las maniobras de encofrados, armaduras de refuerzo y otras operaciones necesarias en la ejecución de la obra, se utilizaron tres medios de elevación diferentes:

- a) Grúas pórticos sobre raíles.- Se instalaron cinco grúas de tipo pórtico, con pluma de celosía, dotadas de gancho auxiliar y con las siguientes características principales:

- Tres unidades, situadas aguas arriba de la presa, sobre vía de rodadura paralela a la línea base, en la cota +40 m.s.n.m., con capacidad máxima de carga 50 t a 50 m de distancia.
- Dos unidades, situadas aguas abajo de la presa, sobre vía de rodadura paralela a la línea base, en la cota +24 m.s.n.m., con capacidad máxima de carga 60 t a 50 m de distancia.
- b) Grúas torre.- También se montaron cinco grúas torre con longitudes de plumas entre 32 m y 42 m y capacidades de carga en punta de 1.100 kg a 2.200 kg, situadas en las zonas siguientes:

- Tres unidades sobre vía de rodadura, paralela a la línea base, intercalada entre la vía de rodadura de las grúas pórtico y la obra de Estructura de Toma de la Presa.
- Una unidad sobre vía de rodadura, paralela a la línea base, aguas abajo del aliviadero a la cota +43,50 m.s.n.m.
- Una unidad montada a poste fijo en el hormigón del monolito 5A de la Nave de Montaje.
- c) Grúas automóvil.- Por otra parte se dispuso de diez grúas sobre neumáticos, con pluma telescópica, que atendían tanto a los frentes de producción como a talle-



Vista general
hacia margen
izquierda.

res, almacenes, etc., de las que tres unidades eran de 80 t, una de 40 t, cuatro de 20 t y dos de 10 t. Así como de seis camiones ligeros dotados de grúa auxiliar con capacidad para 1.500 kg.

Fabricación y ejecución de ferralla

El proyecto hidroeléctrico Caruachi contempla la elaboración y el montaje de 90.165 t de armaduras, en tres años y medio, con una punta mantenida en el consumo de acero de 3.000 t/mes durante un año y cuatro meses.

La elaboración incluye los procesos de recepción, corte, doblado, colocación de empalmes mecánicos, elaboración de roscas cónicas, y por último: carga, transporte y descarga en obra del material terminado.

Para ello se contaba con el siguiente equipo:

- Tres líneas de corte y doblado de barras compuestas por:

- Línea 1: Carro de medición y corte, para barras rectas hasta 14 m, con cizalla automática de capacidad máxima 38 cortes/minuto (32 barras f10 a 1 barra f 70 mm), con cuchilla de 250 mm, accionado por motores eléctricos de potencia total 14 kW. Se dispone de una vía de alimentación, con capacidad para manejar barras de ocho diámetros diferentes; una vía de transporte simple de 24.25 m de longitud y 790 mm de ancho, 8 t de capacidad de carga y 3 kW de potencia instalada; tres vias de transporte doble de 12.25 m de longitud y 790 mm de ancho de rodillos, con capacidad de carga para 4 t y 1.5 kW de potencia; Tres dobladoras automáticas, para barras hasta f 55 mm, de 4 kW de potencia; y tres

mesas de alimentación con rodillos, de 5.28 m de longitud y 1 m de ancho.

– Línea 2: Una vía de transporte doble de 12.25 m de longitud y 790 mm de ancho de rodillos, con capacidad de carga para 4 t y 1.5 kW de potencia, para servicio de una cizalla automática de capacidad máxima 38 cortes / minuto (32 barras f 10 a 1 barra f 70 mm), con cuchilla de 250 mm, accionada por motor eléctrico de 11 kW. Una vía de transporte, igual a la anterior, para servicio de una dobladora automática, para barras hasta f 55 mm, de 4 kW de potencia; una mesa de alimentación con rodillos, de 5.28 m de longitud y 1 m de ancho.

– Línea 3: Una mesa de alimentación con rodillos, de 5.28 m de longitud y 1 m de ancho, para una cizalla automática de capacidad máxima (13 barras f10 a 1 barra f 40), con cuchilla de 115 mm, accionada por motor eléctrico de 4 kW. Una vía de transporte doble de 12.25 m de longitud y 790 mm de ancho de rodillos, con capacidad de carga para 4 t y 1.5 kW de potencia, para servicio de una dobladora automática, para barras hasta f 45 mm, de 3 kW de potencia.

- Una línea de fabricación de empalmes mecánicos para barras corrugadas, compuesta por una mesa de alimentación, una prensa de banco y bomba hidráulica.
- Una línea de fabricación de roscas cónicas, para empalmes mecánicos, con la correspondiente roscadora.
- Un puente grúa 15 t para alimentación de los acopios de la Línea 1 y una grúa automóvil 20 t para la carga y descarga de las plataformas.
- Dos cabezas tractoras y 5 plataformas para el movimiento de material dentro del taller y transporte del mismo en la obra.

La producción nominal del taller es de 2.500 t/mes, de ellas el 15% no tiene tratamiento, el 30% es solo corte y el 55% es corte y elaboración. Los calibres empleados en acero de refuerzo estructural y los porcentajes en que aparecen en la obra son: 35% en barras de diámetros entre 12 y 20 mm; 25% en barras de diámetro 25 mm y 40% en barras de diámetro 35 mm.

El despuente, limitado por la longitud de las barras (12 m), junto con el acero auxiliar de montaje y las pérdidas, supone un 6% de la producción del taller.

Con los sistemas adoptados para el montaje en obra, se logró mantener una colocación diaria de más de 100 toneladas de acero, cubriendo las necesidades previstas en una media de 45 frentes de obra simultáneos. Se utilizó el pre-armado de grandes mallas, de hasta 15 t, para paramentos verticales de pilas y de otros elementos, con ello se mejoró la calidad del posicionamiento de las armaduras y el rendimiento, aunque obligó a un mayor consumo de acero auxiliar de armado. ■

FICHA TÉCNICA

Proyecto

PRESA Y CENTRAL DE CARUACHI
CONTRATO 103 – 31

Cliente

EDELCA (ELECTRIFICACIÓN DEL CARONÍ)

Autores del Proyecto

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE EDELCA
HARZA

Empresa Constructora

U.T.E DRAVICA

Formada por:

- DRAGADOS O.P. (Líder de la UTE)
- INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS (ICA)
- VIALPA.

Presupuesto de adjudicación

274 millones de dólares USA.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Presa

Altura máxima de la presa de hormigón sobre cimientos	74,25 mt.
Longitud de coronación de la cerrada	6,5 Km.

Desvío de río

Caudal de diseño.....	13.600 M ³ /s.
Nº de conductos de desvío de 9 x 6 mt.....	18 ud.
Compuertas de cierre de los conductos de 6,90 x 9,30 mt	6 ud.
Compuertas de emergencia de los conductos de 6,50 x 15 mt	4 ud.

Central

Potencia instalada.....	2.160 Mw.
Caudal turbinado.....	6.000 M ³ /s.
Nº de grupos Kaplan	12 ud de 180 Mw.

Tomas

Nº conductos de toma.....	3 por grupo = 36 conductos.
Compuertas de mantenimiento de 6,40 x 24 mt.....	24 ud.
Compuertas de toma de 7 x 16,80 mt.....	9 ud.
Rejas de 7 x 28 mt	36 ud.

Aliviadero

Caudal de diseño.....	35.000 M ³ /s.
Nº de vanos de 15,20 mt.....	9 ud.
Nº de compuertas radiales de 15,20 x 21 mt	9 ud.
Nº de compuertas de mantenimiento de 15,20 x 16,50 mt	2 ud.

Aspiración

Nº de compuertas de 7,20 x 8,70 mt	36 ud.
--	--------

Mediciones principales

Hormigón refrigerado entre 8° y 15°C	1.710.000 M ³ .
Acero de armar.....	90.165.000 Kg.
Acero en empotrados de 1 ^a fase y tuberías	5.400.000 Kg.
Encofrados	680.000 M ² .