

## OBRAS DE GENERACION

por

DANIEL D. OLMEDO

Siendo el Paraná un río de llanura con muy elevados caudales y escasa pendiente, la central de generación deberá equiparse con turbinas de gran diámetro, de gran caudal unitario, a efectos de reducir el número de grupos, con lo que se logra disminuir el costo y simplificar la estructura.

De acuerdo a las características del aprovechamiento (grandes caudales bajo salto y variación relativa del mismo), el tipo de turbina que más se adapta es el denominado Kaplan, que permite mantener un elevado rendimiento bajo las condiciones de funcionamiento.

Con estas condiciones del Río Paraná, se desarrollaron dos tipos de central:

Alternativa A – Grupos, turbina generador, con eje en posición vertical.

Alternativa B – Grupos, turbina generador, con eje en posición horizontal.

*A – Alternativa con Grupos Verticales.*

### *Ubicación en el Cierre Frontal*

La Central hidroeléctrica está ubicada sobre el eje frontal, tiene una longitud de 952 m. y se han situado en sus adyacencias, la Esclusa de Navegación y el Vertedero.

Esta ubicación en el Cierre Frontal se eligió de manera de reducir al mínimo los volúmenes de excavación para fundación de la misma y de sus canales de acceso y fuga, teniéndose en cuenta, además, que el flujo de descarga de la central coincide aproximadamente con la dirección original del cauce del Río Paraná, lográndose de esta manera minimizar los efectos aguas abajo producidos por la implantación de la obra. Como resultado de estas consideraciones, la central será emplazada en las Islas del Chapetón, lo que permitirá constituir la en un recinto estanco, conjuntamente con el resto de las obras de hormigón a partir del cerramiento del Riacho Zapata.

### *Descripción general*

La Central Hidroeléctrica será del tipo cubierto y albergará veinticuatro (24) grupos hidrogenadores, de 101,1 MVA cada uno. Además, servirá como dique frontal y soporte de la carretera y vía férrea que comunicarán ambas márgenes del Río Paraná.

La central está constituida por catorce módulos estructurales de 87 m en el sentido de la corriente, por 68 m en la dirección normal de la misma, resultando una longitud total de 952 m.

Cada módulo estructural contiene dos grupos o un grupo y una unidad de servicios, la separación entre los mismos se realiza mediante juntas de estanqueidad y dilatación, las que permitirán los asentamientos diferenciales que pudieran producirse entre las estructuras.

La unión entre Central y Vertedero se realizó proyectando un muro de ala que tiene como función principal guiar los filetes de la corriente, hacia una y otra estructura y salvar las diferencias de nivel de los canales de acceso y fuga de las mismas.

La zona en que está ubicada la escala de peces, cumple la función de muro separador de aguas, al igual que las pilas

extremas de Central y Vertedero en la zona de sus respectivos emplazamientos, de manera que sólo se construirá un muro propiamente dicho aguas arriba, a partir de la finalización de la escala de peces; debajo de la fundación de este muro se colocarán, en un tramo, una línea de tablestacas que unirá las cortinas frontales de Vertedero y Central.

El contacto entre la estructura de hormigón de la obra civil de la central y la presa de materiales sueltos, debe permitir soportar las presiones de la presa de tierra, para lo cual se calculó adecuadamente la pila extrema de la central como también la estructura de la escala de peces.

Esta se continúa aguas arriba con un muro de contrafuertes, permitiendo de esta manera asegurar la estabilidad de la presa de materiales sueltos hasta nivel de isla.

Aguas abajo de la escala de peces se proyectó otro muro de similares características al anterior protegiendo de esta forma el talud de la presa.

Se colocó una pantalla de tablestacas desde el diente, aguas abajo de la central hacia aguas arriba en toda la longitud del muro. La misma llega hasta la capa impermeable (arcilla), con la cual se cierra en forma continua el recinto de la central, disminuyendo los gradientes hidráulicos de la presa de tierra.

Es de hacer notar la importancia de los contrafuertes a los fines de aumentar el recorrido de los filetes líquidos en una zona de unión entre dos estructuras de muy diferentes características.

El equipamiento de la Central está subdividido en tres módulos de ocho unidades cada uno, separados entre sí por una unidad de servicio y montaje. Además de estas dos unidades intermedias, existe una en cada extremo de la Central.

En la restitución de la central y en correspondencia con cada una de las cuatro unidades de servicios, están ubicadas las escalas de peces, cuyos pasajes hacia el embalse se encuen-

tran localizados a cota + 18,40 m I.G.M. por debajo de la plataforma de montaje de las unidades de servicios extremas.

Las escalas de peces intermedias se unen a través de canales laterales con los pasajes hacia el embalse.

Aguas arriba de la central, sobre la plataforma de la toma a cota + 33,50 m I.G.M. se desplazará un pórtico grúa para la colocación y extracción de rejas, y cierres auxiliares del conducto de toma y accionamiento del limpiarrejas.

Aguas abajo de las salas de máquinas, entre el tubo de aspiración y la plataforma de transformadores, existen tres galerías.

En la primera a cota + 18,40 m I.G.M., se ubican los sistemas en tensión de generación, media tensión, salas de baterías y depósitos de drenaje de aceite de transformadores.

En la segunda galería a cota + 11,00 m, en su lado de aguas arriba, se instalarán las conducciones troncales de agua, aceite y aire comprimido. En la superficie restante de ésta y en conjunto con la tercer galería a cota + 2,60 m I.G.M. se ubicará la instalación para maniobras en alta tensión y salidas de líneas, aisladas en hexafloruro de azufre.

En las unidades de servicios extremas, se localizan plataformas de montaje a cota + 25,50 m, I.G.M. en correspondencia con el nivel de plataforma de transformadores y acceso a la sala de máquinas. Además, parte de la plataforma de montaje de una unidad de servicio será destinada posteriormente para el decubaje de transformadores. En el espacio existente aguas arriba, entre la plataforma de toma (cota + 33,50 m I.G.M.) y el nivel 25,50 m, I.G.M. se ubican el depósito para aceite limpio, la sala de tratamiento de aceite de transformadores y un taller eléctrico.

En dichas unidades, el nivel de primera galería está ocupado por el pasaje de las escalas de peces. En correspondencia con el nivel de segunda galería se localizan plantas de aire comprimido, agua de refrigeración y agua contra incendio. Las dos unidades de Servicios intermedias al igual

que las anteriores, poseen las plataformas de montaje a cota + 25,50 m, I.G.M.

Los espacios existentes aguas arriba, entre la plataforma de toma (cota + 33,50 I.G.M.) y el nivel 25,50 m, I.G.M. se destinan para mantenimiento y reparación de cierres auxiliares y rejas. En la parte de aguas abajo de dichas unidades de servicio, entre cota + 25,50 m I.G.M. y cota + 11,00 I.G.M., se prevé el lugar para el mantenimiento y reparación de las compuertas de seguridad.

A nivel de segunda galería, a cota + 11,00 m, en la zona de aguas arriba de cada unidad de servicio intermedia, se ubican sistemas de agua de refrigeración, potable y contra incendio; y en correspondencia con la sala de máquinas, las plantas de tratamiento de aceite y aire comprimido.

A nivel de primera galería, a cota + 18,40 m I.G.M., en una unidad de servicio intermedia, se prevé un taller eléctrico y depósito de materiales, y en la otra, un depósito de materiales y taller mecánico que contará con las máquinas herramientas necesarias para efectuar reparaciones y mantenimiento de los equipos de la central.

En cada una de las unidades de servicio se prevé una abertura que comunica la plataforma de montaje con los niveles inferiores, a los efectos de introducir o sacar elementos de los mismos.

En la plataforma de aguas abajo, a cota + 25,50 m I.G.M., se ubican todos los transformadores: de potencia, de central, de servicios auxiliares, de excitación, reactores, grupos electrógenos de emergencia y las plantas de ventilación. Además, sobre dicha plataforma se desplazan los pórticos grúa para el accionamiento de las compuertas de seguridad. Sobre esta plataforma y en correspondencia con dos grupos medianamente centrales, se ubica el edificio de comando y servicios de la central, que cubre una superficie de proyección en planta de 14,80 m por 41,80 m y que se desarrolla en vertical en cinco plantas. Adyacente al mismo se ubica un área de estacionamiento.

La planta baja se destina a accesos, recepción y sala de conferencias y exposición.

Los pisos primero y segundo se destinan a oficinas, biblioteca y aula de capacitación del personal.

En un nivel intermedio entre ambos y el extremo Oeste del edificio, se encuentra el área destinada al jefe de central, compuesta de oficina, secretaria y sala de reuniones.

El tercer piso se destina a sala de relés y laboratorios para el control y mantenimiento de los instrumentos.

El cuarto piso se destina a la sala de comandos y control, comunicaciones, computación y archivos.

En todos los niveles se prevén los bloques sanitarios y de servicios.

El acceso a la central se realiza por medio de un camino de servicio que vincula la margen izquierda entrerriana con la central, continuándose el mismo en la plataforma de aguas abajo a cota + 25,50 m I.G.M. De la misma se accede, tanto al edificio de comando y servicios, como al resto de la central, a través de ascensores y escaleras convenientemente distribuidos a lo largo de la misma.

### *Conducto Hidráulico*

#### *Canal de aducción*

Determinada por condiciones hidráulicas la cota inferior de la toma de la central, en el nivel + 0,40 m I.G.M., es necesario realizar un canal de acceso, el cuál partiendo de cota de Isla + 14,00 m, desciende con pendiente 1 : 5 en una longitud de 35 m hasta llegar a cota + 7,0 m, desde donde continúa 30,00 m en forma horizontal; a partir de este punto el perfil está revestido con losetas de hormigón armado, se mantiene horizontal 10 m más a cota + 7,00 m I.G.M., para descender a continuación con pendiente 1 : 4 hasta llegar al nivel de acceso a toma, manteniéndose 15 m horizontal para comunicarse con la toma.

### *Conducto de toma*

La entrada de agua a la turbina se produce a través del conducto de toma, diseñado para asegurar valores de pérdidas hidráulicas, bajos.

El ancho de la toma está limitado por el espaciamiento entre grupos. Este espaciamiento debe ser el menor posible a los fines de minimizar el costo de la central; su valor resulta limitado inferiormente por las dimensiones de la cámara semi-espiral y las condiciones de resistencia estructural. Bajo estas consideraciones el ancho de toma resultó igual a 29,50 m.

El borde superior de la toma se halla limitado por el nivel mínimo del embalse, más una profundización mínima necesaria para el buen funcionamiento de la misma. Teniendo en cuenta que el nivel mínimo operacional del embalse estará a cota + 27,00 m I.G.M. y adoptando una profundización mínima de 1,30 m, por debajo de dicho nivel, el borde superior de la toma resulta ubicado cota + 25,70 m I.G.M.

### *Cámara Espiral*

Para asegurar una adecuada distribución del flujo en el rodete, se construirá una cámara espiral parcial de hormigón, de sección trapecial y disposición asimétrica.

El radio principal de la cámara espiral, normal a la dirección de entrada y en coincidencia con la misma, es de 17,21 m y el radio opuesto es de 12,29 m, resultando el ancho total de la cámara de 29,50 m, es decir 2,864 veces el diámetro del rodete.

El ángulo de nariz es de  $136^\circ$ , el cual se adoptó buscando un adecuado diseño hidráulico y minimizando las dimensiones de la misma.

En la sección de entrada, la distancia entre el plano medio del distribuidor y el techo de la cámara espiral, se adoptó de 5,00 m, atendiendo a razones estructurales. A partir de

dicha sección, la altura de las secciones trapeciales varía parabólicamente según la posición angular.

En la sección de entrada la velocidad máxima resultante es 2,4 m/s.

Las dimensiones definitivas se determinarán en los ensayos de modelos de turbina, previos a la licitación constructiva.

#### *Tubo de aspiración*

El tubo de aspiración es del tipo acodado asimétrico y en él se recuperará aproximadamente el 75% de la energía que el agua dispone a la salida del rodete.

La velocidad en la sección de salida no debe superar 1,9 m/s, de acuerdo a experiencias realizadas, en las cuáles se tienen en cuenta el beneficio por recuperación de energía y el costo de inversión en obra civil.

Tomando en consideración los valores anteriores y el caudal turbinable para el punto de máximo rendimiento, se determinó que la altura de la sección de salida es igual a 12 m, encontrándose a 46,30 m del eje de la turbina, y la profundidad del tubo es de 19,66 m.

El diseño definitivo del tubo de aspiración deberá ser determinado mediante ensayos en modelos, previos a la licitación constructiva.

#### *Canal de fuga*

En este sector se recupera el régimen normal del río, habiéndose diseñado el canal de manera de evitar perturbaciones en el flujo que pudiesen producir erosión del lecho.

El canal comienza a ascender con pendiente 1 : 4 desde la salida del tubo de aspiración hasta llegar a cota + 0,00 I.G.M., este tramo está revestido con losetas de hormigón en los primeros 20 m y luego con un "rip-rap" que continúa aún 10 m en esa cota; a partir de aquí el perfil sigue ya sin revestir 20 m más en forma horizontal, para ascender luego



con pendiente 1 : 4 hasta la cota + 9,00 m I.G.M. (nivel de excavación primaria).

## **B - Alternativa con Grupos Horizontales**

### *Ubicación en el Cierre Frontal*

La obra está ubicada sobre el eje frontal, tiene una longitud de 720 m y se han ubicado en sus adyacencias, la esclusa de navegación y el vertedero.

Esta ubicación en el cierre frontal se eligió de manera tal de reducir al mínimo los volúmenes de excavación de la central y de sus canales de acceso y fuga, debido a la presencia de una laguna natural existente en las Islas Chapetón en cuya ubicación podría construirse la obra.

Se tuvo en cuenta además que, el flujo de descarga de la central coincida aproximadamente con la dirección original del cauce del Paraná, lográndose de esta manera minimizar los efectos, aguas abajo, producidos por la implantación de la obra. Como resultado de estas consideraciones, el emplazamiento de la Central en las Islas "Chapetón" permitirá sea construida en un recinto estanco, conjuntamente con el resto de las obras de hormigón, a partir del cerramiento del Riacho Zapata.

### *Descripción General*

La Central Hidroeléctrica será del tipo cubierta y albergará treinta y seis (36) grupos hidrogeneradores de 67,4 MVA cada uno. Además servirá como cierre frontal, y soporte de la carretera y vía férrea, que comunicarán ambos márgenes del Río Paraná.

La Central está constituida por veinte (20) módulos estructurales, de 81 m en el sentido de la corriente de agua por 36 m en la dirección normal a la misma, resultando una longitud total de 720 m.

Cada módulo estructural contiene dos grupos o un grupo y una unidad de servicio; la separación entre los mismos se realizará mediante juntas de estanqueidad y dilatación, las que permitirán los asentamientos diferenciales que pudieran producirse entre las estructuras.

Como consecuencia de la imposibilidad de emplazar las escalas de peces como en la alternativa equipada con grupos verticales (turbinas Kaplan), incluidas en las unidades de servicios extremas, éstas constituyen elementos estructurales independientes, que fueron diseñados para cumplir también las funciones de muros de ala.

El equipamiento de la central está subdividido en tres módulos de doce unidades cada uno, separados entre sí por una unidad de servicio y montaje. Además de estas dos unidades intermedias, existe una en cada extremo de la central.

Aguas arriba de la central, sobre la plataforma de la toma, a cota 33,50 m I.G.M., se desplazará un pórtico que accionará el rastrillo limpia reja y estará capacitado para extraer un paño de reja con la ayuda de una viga pescadora.

Aguas abajo de la sala de máquinas, entre el tubo de aspiración y la plataforma de transformadores (cota 29,00 m I.G.M.), existen tres galerías.

En la primera, a cota 16,20 m I.G.M., se ubican el sistema en tensión de generación, la instalación para maniobras en alta tensión y el doble juego de barras colectoras, blindadas y aisladas en hexafluoruro de azufre.

En la segunda galería a cota 10,70 m I.G.M., se ubicarán los sistemas en media y baja tensión, salas de batería, tableros de operación y el sistema de regulación del grupo.

La tercer galería a cota 5,85 m I.G.M. está destinada al equipamiento mecánico y por ella correrán, las alimentaciones troncales de aceite, agua y aire comprimido.

En el techo de las unidades de servicio (cota 29,00 m I.G.M.) se localizan las aberturas para el ingreso de los dis-

tintos elementos a las plataformas de montaje ubicadas a cota 10,70 m I.G.M.

Por debajo de las plataformas de montaje se ubican los sistemas de agua de refrigeración y contra incendio, sistemas de aire comprimido para regulación de turbinas, frenos de generadores y servicios generales de la central. En el mismo nivel, en las unidades de servicio intermedias, se localizan las plantas de tratamiento de aceite y solamente en una, el sistema de agua potable. A nivel de las plataformas de montaje y del lado de aguas arriba de la sala de máquinas se localizan: en la unidad de servicio extrema depósitos de materiales y en las centrales talleres mecánico y eléctrico, respectivamente. En el mismo nivel, en la zona de aguas abajo se encuentran las baterías de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para protección contra incendio. El espacio comprendido entre la plataforma de toma a cota 33,50 m I.G.M. y el nivel 23,50 m I.G.M., del lado de aguas arriba, está destinado al mantenimiento y reparación de cierres auxiliares y rejas.

En la plataforma de aguas abajo, a cota 29,00 m I.G.M., se ubican todos los transformadores: de potencia, de central, de servicios auxiliares, de excitación, reactores, grupos electrógenos de emergencia, las plantas de ventilación y los servomotores para el accionamiento de las compuertas de seguridad y control.

La central dispondrá de una grúa pórtico para la introducción y extracción de elementos. La misma se desplazará entre rieles dispuestos a lo largo y en ambos lados de la sala de máquinas, el de aguas arriba a cota 33,50 m I.G.M. y el de aguas abajo a cota 29,00 m I.G.M. Las funciones que realizará serán el traslado de los distintos elementos del equipamiento desde la plataforma de descarga y depósito ubicada a cota 29,00 m I.G.M., en el extremo Este de la central, a las distintas unidades de servicio y descenso a las respectivas plataformas de montaje.

Además, se la empleará para el accionamiento de los cierres auxiliares de la toma y para el decubaje de los trans-

formadores, que se hará en una sala prevista a este fin, ubicada a continuación de la plataforma de descarga.

Para el montaje y posterior mantenimiento de los grupos se prevén dos puentes grúas con una capacidad de 150 t cada uno, ubicados en la sala de máquinas.

Sobre la plataforma de transformadores y en correspondencia con los grupos centrales se ubica el edificio de comando y servicios de la central, que abarca una superficie de proyección de planta de 8,50 m por 52,00 m.

Se desarrolla en vertical en cinco plantas y adyacente al mismo existe un área de estacionamiento. La planta baja se destina a acceso, recepción, sala de conferencias y exposición.

Los pisos primero y segundo se destinan a oficinas, biblioteca y aula de capacitación del personal. Además en el primer piso, en el extremo este del edificio, se encuentra el área destinada al jefe de central, compuesta de una oficina, secretaría y sala de reuniones.

El tercer piso se destina a sala de "relax" y laboratorios para el control y mantenimiento de los instrumentos.

El cuarto piso se destina a la sala de comandos, de computadoras e impresora y comunicaciones.

En correspondencia con el grupo N° 19 se encuentra el espacio destinado a alojar escaleras y ascensores para el desplazamiento vertical.

En todos los niveles se prevén los bloques sanitarios y de servicios.

El acceso a la central se realiza por medio de un camino de servicio que vincula la margen entrerrriana con la central, continuándose el mismo en la plataforma de aguas abajo a cota 29,00 m. I.G.M. De la misma se accede, tanto al edificio de comando y servicios como el resto de la central, a través de ascensores y escaleras convenientemente distribuidos a lo largo de la misma.

## CONDUCTO HIDRAULICO

### *Canal de Aducción*

Es necesario realizar un canal que guíe el flujo en forma laminar y sin turbulencias, a fin de reducir las pérdidas de energía, hasta la cota de acceso a la toma (-6,70 m), desde este punto hacia aguas arriba, el canal continúa 10 m en horizontal para luego ascender con pendiente 1 : 4 hasta llegar a cota +7 m; los primeros 25 m están revestidos con losetas de hormigón asentadas sobre una capa de piedra, luego hay 15 m más revestidos con rip rap y a partir de este punto el canal sigue sin protección.

Llegando a cota +7,00 m. I.G.M. el canal sigue horizontal 30 m y luego sube con pendiente 1 : 5 hasta llegar a cota de isla.

### *Conducto de toma*

La entrada de agua a la turbina se produce a través del conducto de toma, que ha sido diseñado para asegurar bajos valores de pérdidas hidráulicas.

El ancho de la toma está limitado por el espaciamiento entre grupos. Este espaciamiento debe ser el menor posible a los fines de minimizar el costo de la central, su valor está condicionado a las dimensiones del conducto hidráulico, en correspondencia con el "bulbo" que por condiciones hidráulicas resulta de 14,28 m, fijándose como ancho de toma 15,30 m. Para evitar la entrada de cuerpos extraños a la turbina se colocarán rejas de contención, las que se deslizarán sobre guías amuradas al hormigón. Estas cubrirán la sección de entrada a la toma y tendrán una inclinación de 15°, lo que permitirá la emersión a la superficie de ciertos acarrees y la simplificación del sistema limpiarrejas.

En la parte media del conducto están ubicadas recatas en las que se deslizarán los cierres auxiliares para mantenimiento. El dimensionamiento final del conducto de toma se hará mediante ensayo con modelo físico.

### *Cámara anular*

En correspondencia con el "bulbo" hay una sección de pasaje o cámara anular que comunica el conducto de toma con el distribuidor.

Las secciones de la misma son tales que se logra una variación gradual de la velocidad del agua, desde la entrada hasta el distribuidor. Dichas velocidades, para el caudal turbinable en el punto de máximo rendimiento ( $Q = 375 \text{ m}^3/\text{s}$ ), varía desde 1,5 m/s en la sección de ingreso a la toma, a 4,7 m/s en la sección de ingreso al distribuidor.

En este conducto se encuentran los soportes que fijan el grupo bulbo a la estructura de hormigón; los que están compuestos por una pila vertical inferior, otra superior y dos brazos horizontales, todos de perfil hidrodinámico.

### *Tubo de aspiración*

En él se recupera el 77 % de la energía que todavía posee el agua a la salida del rodete. Está dispuesto en forma horizontal y su longitud total es de 36 m.

La velocidad de salida se fijó en 1,82 m/s para el caudal turbinable en el punto de máximo rendimiento ( $375 \text{ m}^3/\text{s}$ ), resultando la sección de salida de 15,45 m de ancho por 13,30 m de alto.

En el tramo abocinado del tubo de aspiración se ubican las recatas para el deslizamiento de la compuerta de seguridad y control.

El diseño definitivo del tubo de aspiración deberá ser determinado mediante ensayos en modelos hidráulicos previos a la licitación constructiva.

### *Canal de fuga*

En este sector se recupera el régimen normal de escurrimiento del río, debiendo evitarse turbulencias que pudiesen afectar el rendimiento del grupo y producir socavación del lecho.

El canal sube con pendiente 1 : 5 desde la salida del tubo de aspiración hasta llegar a cota + 0,00 m. I.G.M. en una longitud de 40 m, luego continúa horizontal 50 m y a partir de ese punto asciende con pendiente 1 : 4 hasta llegar a la cota primaria de excavación. Este canal de fuga está protegido en los primeros 60 m de longitud.

La presente descripción hace referencia al diseño a un nivel de Anteproyecto.

Ajustes y nuevos diseños son de esperar en el Proyecto Ejecutivo de la obra.

