

TEMAS DE DESARROLLO

OBRAS DE ENDICAMIENTO

por

HERIBERTO MERCAPIDE

El tramo del Río Paraná comprendido entre Paso de la Patria y las ciudades de Santa Fe y Paraná, lo denominamos Paraná Medio, tiene unos 630 Km. de recorrido, un desnivel de aproximadamente 34 m. y un caudal medio de 16.000 m³/seg.

El aprovechamiento hidroeléctrico del Paraná Medio se logrará mediante dos presas frontales y laterales complementarias, creando dos embalses y dos saltos de agua de unos 14,5 metros cada uno.

Además, la concreción de estos aprovechamientos permitirá nuevos enlaces ferroviarios entre ambas márgenes del Río Paraná, y complementará la integración física de la mesopotamia con el resto del país.

Ubicación Presa Frontal: Patí

Para el emplazamiento del Cierre Norte, se estudió el valle fluvial del Río Paraná entre las líneas imaginarias que unen las poblaciones de Lavalle-Reconquista al Norte y Esquina-Alejandra al Sur, ya que dentro de estos límites deja de tener influencia la cola del remanso del embalse formado por el Cierre Sur.

En base a un estudio técnico-económico se determinó como más conveniente el Cierre Patí que cruza el Riacho Na-

ranjay (Brazo del Río Paraná) y el brazo principal del Río Paraná a la altura de la Isla Pati en una longitud de 6.700 m. en dirección Este-Oeste. Este cierre tiene como ventaja adicional el hecho de que profundizando el Riacho Naranjay se independiza la navegación en un tramo de aproximadamente 20 Km. de las perturbaciones que produce la descarga de la central.

Este cierre frontal es complementado con dos presas laterales: la de margen izquierda parte del cierre frontal y se desarrolla por zona de islas hasta la primera terraza de la costa correntina, continúa sobre la misma hasta las proximidades de la ciudad de Goya donde desciende a las islas formando un anillo de protección, para concluir sobre la margen izquierda del Río Santa Lucía. La longitud de esta presa lateral es de 67 Km.

La presa lateral de margen derecha, parte de la presa frontal sobre la Isla Malabrigo y con dirección nor-noreste atraviesa la zona de islas hasta ascender a la primera terraza de la costa santafesina, se extiende por ésta, protegiendo a la ciudad de Reconquista y a las poblaciones de Avellaneda, Guadalupe Norte y las Garzas. La longitud total de este tramo es de 90 Km. De allí continúa un terraplén-defensa hasta las proximidades de la estación Paul Groussac del Ferrocarril Nacional General Belgrano. Su función es proteger la zona contra crecientes extraordinarias, siendo su longitud de 10 Km.

Trazado Vial: Aprovechamiento Pati

La autopista a construir sobre el coronamiento de la presa servirá como nexo entre la Ruta Nacional N° 11 en Santa Fe y la Ruta Provincial N° 27 en Corrientes.

La conexión con la Ruta Nacional N° 11 comienza aproximadamente a 13 Km. al Sur de la ciudad de Reconquista, mediante un enlace de 10 Km. de longitud.

La autopista continúa sobre la presa de tierra recorriendo una longitud de 26,5 Km. y se prolonga sobre un puente que

atraviesa el Vertedero y la Central Hidroeléctrica. De ahí sigue un tramo sobre la presa de tierra hasta llegar al puente sobre la Esclusa de Navegación. Prosigue luego sobre el coronamiento de la presa lateral margen izquierda, recorriendo 27,5 Km.

La conexión con la Ruta Provincial N° 27 se realiza mediante un enlace de 10 Km. de longitud, 20 Km. al Sur de la ciudad de Goya.

La infraestructura vial del Aprovechamiento Patí se completa con un camino de dos trochas que se desarrolla sobre el coronamiento de las presas laterales, desde la localidad de Las Garzas hasta la autopista por margen derecha y desde la ciudad de Goya hasta la autopista por margen izquierda. El mismo, además de posibilitar la interconexión directa entre las ciudades de Goya y Reconquista, tendrá fines turísticos y de servicio.

Trazado Ferroviario: Aprovechamiento Patí

La intercomunicación ferroviaria se efectuará entre las líneas del Ferrocarril Nacional General Belgrano (trocha an-gosta: 1,00 m) y las del Ferrocarril Nacional General Urquiza (trocha media: 1,435 m.).

La vía parte de las proximidades de la Estación Berna y tras un recorrido de 15 Km. accede a la presa. Continúa por una berma del talud aguas abajo de la misma, recorriendo una distancia de 73 Km. A 6 Km. al Sur de Goya se separa de la presa para arribar a la Estación de esta ciudad, uniéndose con el ferrocarril existente.

Ubicación Presa Frontal: Chapetón

La zona estudiada para determinar el emplazamiento del cierre frontal del Aprovechamiento Sur abarcó el tramo del río comprendido entre la desembocadura del Arroyo Feliciano al Norte, hasta Villa Urquiza al Sur.

La ubicación del eje de la presa frontal se realizó considerando en primera instancia razones de óptimo aprovechamiento energético, teniendo en cuenta además las características más convenientes de las condiciones naturales del valle fluvial en cuanto a: desvío de río y ubicación de las estructuras de hormigón en función de las condiciones hidráulicas.

De las alternativas estudiadas, la traza que cumple con las condiciones fijadas precedentemente es la que atraviesa el Riacho Zapata, Río Paraná (Brazo principal) y Río Colorado a la altura de las Islas del Chapetón en una longitud de 8,6 Km. con dirección NO - SE y altura máxima de 34 m.

Este cierre frontal Sur exige sólo una presa lateral, la de margen derecha (costa Santafesina) ya que la margen izquierda tiene barrancas altas.

De las alternativas estudiadas se eligió la traza que partiendo desde la presa frontal se extiende por zonas de islas hasta el Paraje El Laurel, 15 Km. al Norte de Helvecia, continuando sobre el albardón, protegiendo las poblaciones costeras, hasta las proximidades de Alejandra, en una longitud total de 198,9 Km., con una altura media de 18 m. en zona de islas y de 10 m. sobre el albardón costero.

Entre Alejandra y el Arroyo El Gusano se construirá un terraplén de defensa de 39,2 Km. de longitud; con una altura máxima de 4 m. cuya función será proteger la zona contra crecidas extraordinarias y crecientes ordinarias si a las mismas se le suma la marea producida por el viento.

La traza descrita fue elegida teniendo en cuenta los datos que se disponen hasta el momento, la misma puede sufrir modificaciones parciales en base a estudios e investigaciones actualmente en desarrollo.

Trazado Vial: Aprovechamiento Chapetón

La autopista a construirse sobre el coronamiento de la presa frontal y sus accesos servirá como nexo entre la Ruta Pro-

vincial Nº 1 de Santa Fe y la Ruta Nacional Nº 126 en Entre Ríos.

La conexión con la Ruta Provincial Nº 1 comenzaría al Norte de la localidad de Rincón, mediante un acceso de 18,7 Km. de longitud cuyo terraplén se construirá con material en zona de islas.

Al llegar a la presa frontal, un intercambiador permite el acceso directo a ésta y a la presa lateral.

Desde el intercambiador, la autopista continúa sobre el coronamiento de la presa frontal hasta llegar al vertedero, en una longitud de 5,2 Km. y se prolonga sobre un puente que atraviesa la zona de vertedero y central hidroeléctrica. De allí sigue un tramo sobre presa de tierra hasta llegar al puente sobre la esclusa de navegación, accediendo luego a la costa entrerriana.

La conexión con la Ruta Nacional Nº 126 tiene una longitud de 13 Km.

Desde el intercambiador es también posible acceder a la presa lateral, sobre cuyo coronamiento se desarrolla un camino con fines turísticos y de servicio en una longitud de 67,8 Km. por zona de islas.

Diseño de Perfiles de Carreteras: Aprovechamiento Chapetón

La autopista proyectada tendrá un ancho de calzada de 22 m. para alojar 4 carriles de tránsito, 2 en cada sentido de circulación, con un separador central y un ancho de 3,65 m. para cada carril. En el cierre frontal estará bordeada por banquetas y veredas y en el acceso sólo por banquetas.

La carretera ubicada sobre la presa lateral tiene un ancho de 12 m. compuesta por 2 trochas con banquetas y defensas a ambos lados de la carretera.

Trazado Ferroviario: Aprovechamiento Chapetón

La red ferroviaria mesopotámica del Ferrocarril General Urquiza será unida a las líneas de los ferrocarriles General Miñe y General Belgrano que llegan a la ciudad de Santa Fe.

La vía partiría de la estación El Palenque, en Entre Ríos y tras recorrer 13 Km. llega al cierre frontal. Cruza el puente sobre la esclusa de navegación y continúa sobre el coronamiento de las obras de hormigón. Al llegar a la presa de tierra desciende por el talud aguas abajo hasta cota 24,50 m., IGM, luego en las proximidades del intercambiador desciende a cota 21 m IGM, acompañando a la autopista en el coronamiento del terraplén de acceso (en una de sus variantes), para finalmente llegar a Santa Fe.

El trazado de las vías y caminos fuera de las presas es competencia exclusiva de la Dirección de Ferrocarriles y Vialidad Nacional.

Fundación de la presa: Aprovechamiento Chapetón

El estudio del subsuelo permitió obtener información sobre estratificación y espesor de las diferentes capas en general, así como de las características de los materiales que las constituyen.

Para la descripción del terreno como suelo de fundación para la presa, es conveniente dividir el mismo en dos áreas: zona de islas y albardón costero.

En zona de islas, en presas frontal y lateral hasta El Laurel, y desde el punto de vista general, se reconoce una primera capa de material fino: arcillas y limos. La consistencia del mismo varía entre blando y medianamente compacto. Por debajo de este manto yace una arena fina de tipo SM, en algunos casos con elevado porcentaje de material fino. La densidad del mismo es medianamente densa y por debajo arena más limpia y densa.

Sobre el albardón, entre El Laurel y el Arroyo El Gusano, se desarrolla una primer capa de suelos limo - arcillosos de baja plasticidad con un espesor de alrededor de 3 m que se incrementa a 5 m en las proximidades de Alejandra. Por debajo de ella yacen suelos granulares finos clasificados como SM o SM-SP o SP que aumentan su densidad y disminuyen su porcentaje de finos a medida que se incrementa la profundidad. Por debajo de los 10 m. aparecen lentes de arcillas de espesor variable.

DISEÑO DE PRESA - APROVECHAMIENTO CHAPETON

Elección de perfiles de presas:

Se consideraron los siguientes criterios de diseño para la elección del perfil:

- Utilización del material de la zona con la menor distancia de transporte.
- Elección de presa de construcción simple a fin de evitar fallas constructivas y que permita la utilización de grandes maquinarias.
- Aceptar pérdidas por filtración razonable, pero asegurando la estabilidad de la presa en todos los casos.
- Revestimiento económico de taludes.
- Evitar grandes costos de expropiación.

Para el análisis de la elección de los distintos perfiles es necesario dividir esta descripción en dos partes de acuerdo a la ubicación de la traza, en zona de islas y sobre el albardón.

Perfil en zona de islas

Las características del terreno de fundación en zona de islas determinan directamente la pendiente tendida de los taludes de la presa en esta zona. Este diseño adoptado es el más apto y simple para conseguir disminuir suficientemente las

tensiones tangenciales y los gradientes hidráulicos en la cimentación.

El material de construcción de la presa será extraído del canal paralelo a la traza, que se debe realizar para drenar las aguas de filtración y de zonas bajas actualmente inundadas.

Dicho material se adapta a la hidromecanización, que es el método que permite la ejecución de la presa en forma más racional y efectiva, ya que: a) logra la extracción de grandes volúmenes de suelos arenosos sumergidos y su puesta en obra a bajo costo; b) el refulado libre se adapta a las características tendidas que debe tener el perfil de presa en su parte inferior por razones de estabilidad.

La sección está formada esencialmente por un cuerpo de arena.

Sus taludes presentan cambios de pendientes a cota 22,5 m IGB, aguas arriba pasa de 1 : 3,5 a 1 : 20 y el agua abajo de 1:3 a 1:5.

Estos quiebres tienen por objeto aumentar la estabilidad del conjunto presa-terreno de fundación, ya que la resistencia al esfuerzo tangencial de la cimentación es menor que la del cuerpo de presa.

Por otro lado, aguas arriba, la pendiente 1:20 se adoptó por ser la media que se estima obtener por refulado libre y no necesita ser protegida.

Perfil sobre el albardón costero

El terreno de fundación, sobre el cual se desarrolla este segundo tramo de la presa, tiene mejores características portantes que el de la zona de islas.

La presa se construirá con el material que se extraerá del canal de drenaje y de yacimientos cercanos a la presa.

El cuerpo de presa tiene en su parte central un núcleo (material de menor permeabilidad). El agua de filtración de la presa y de su fundación es colectada por un dren ubicado en el pie del talud aguas abajo.

Los taludes presentan cambios de pendientes y bermas, el de aguas arriba desde la fundación hasta cota 25,00 m IGM, 1:20 y 1:35, de allí hasta el coronamiento, el de aguas abajo tiene a mitad de la pendiente una berma que separa dos taludes de pendiente 1:3.

Estabilidad de taludes

Para la ejecución del cálculo se desarrolló un programa matemático orientado para las particularidades geométricas de la presa. El programa toma como información de entrada la geometría de los perfiles de presa y filtro en forma de coordenadas de una poligonal, niveles y propiedades de los suelos y filtros, coeficiente de Bishop y sísmico y una grilla con las coordenadas de los centros para los cuales debe calcular el factor de seguridad. Como salida entrega, para cada centro y radio, el valor del coeficiente de seguridad.

Como última fase busca el centro para el cual se obtuvo el mínimo coeficiente de seguridad y alrededor de él traza una grilla adicional que permite localizar el mínimo absoluto.

Se eligieron distintas secciones representativas para cada uno de los siguientes tramos: cierre frontal, cierre lateral en zona de islas y cierre lateral sobre albardón costero.

Ambos parámetros de cada perfil fueron analizados bajo distintas condiciones de carga, obteniéndose valores de coeficientes de seguridad satisfactorios.

Finalmente se supuso que la falla ocurriera a lo largo de los estratos débiles de fundación (falla translacional), los valores hallados en este cálculo resultaron también satisfactorios.

Asentamientos

Fue previsto que tanto el terraplén como la fundación sufran asentamientos. En el caso de la presa refulada, por estar constituida de material granular, se asentará casi totalmente durante la construcción, su fundación tendrá en cambio

una compresión volumétrica resultante de la consolidación de los estratos de arcilla.

En el caso de la presa construida sobre el albardón, los materiales que constituyen el centro de la misma con arcillo-limosos, por lo tanto el asentamiento del conjunto presa-fundación se producirá a largo plazo.

En la actualidad, se siguen intensificando las investigaciones para analizar y prever con mayor exactitud los asentamientos de los suelos compresibles.

Revancha – Generalidades

En el embalse la revancha se mide como la distancia vertical entre la cota de la curva de remanso para $Q = 73.000 \text{ m}^3/\text{s}$ y el coronamiento de la presa.

La revancha fue calculada para superar la altura de la marea por viento más el ascenso de la ola en los taludes de las presas de tierra más una altura adicional que tiene en cuenta el asentamiento de las presas de materiales sueltos y su fundación y un margen de seguridad.

LUGAR	REVANCHA	
	$Q = 73.000 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 16.000 \text{ m}^3/\text{s}$
Cierre Frontal	5,50 m	5,50 m
Helvecia	5,20 m	5,70 m
San Javier	4,50 m	5,80 m
Cnia. Teresa	4,70 m	6,30 m
Alejandra	4,00 m	6,30 m
Aº El Gusano	2,30 m	6,30 m

Protección de taludes

Protección del talud aguas arriba

Para el paramento de aguas arriba fueron evaluados distintos tipos de protección de taludes: enrocamiento, suelo cemento y losas de arena, cemento, hierro; y rompeolas.

En base a este estudio se eligió como protección tentativa para las presas frontal y lateral en zona de islas, el escollero (rip-rap) y para el cierre lateral por el albardón, el suelo cemento, a ser ajustados en el Proyecto Ejecutivo.

Protección del talud de aguas abajo y del terraplén defensa

En la presa frontal y lateral en zona de islas se protegerá el paramento aguas abajo con la cubierta de pastos propios de la región.

En la zona del lecho del río y en lugares que permanecen constantemente bajo la acción erosiva del agua, se coloca un filtro graduado y una protección de rip-rap.

En la presa lateral por el albardón, se protegerá el talud con una cubierta vegetal.

En el terraplén de defensa, ambos paramentos tendrán protección vegetal y se plantará una cortina de árboles aguas arriba, cuya finalidad será la de romper el oleaje que pueda generarse durante las crecidas y contribuirá a estabilizar la barranca natural del albardón.

Por otra parte, se calculó que la erosión que pudiera producirse en la barranca en el transcurso del tiempo, la llevará a una pendiente estable que no afectará el terraplén.

Auscultación

La presa se instrumentará debidamente con el objeto de verificar su comportamiento tanto en el período constructivo como en el de su explotación.

Se ubicarán secciones de auscultación, principalmente en zonas de mayor sollicitación y en el contacto de la presa frontal con margen izquierda.

Fundamentalmente interesa la medición de las subpresiones, los asentamientos y los desplazamientos.

Se determinarán los asentamientos y desplazamientos tanto en el cuerpo de la presa como en la fundación y los des-

plazamientos en las barrancas, principalmente en las zonas próximas a las poblaciones y a las obras de cabecera.

La presión de agua se medirá en los estratos permeables confinados donde pudieran desarrollarse subpresiones importantes; de verificarse esta posibilidad, se prevé su corrección mediante pozos de alivio.

El cuerpo de la presa se instrumentará también para la observación de las variaciones de la línea de saturación.

OBRAS COMPLEMENTARIAS

Protección de barrancas

La margen izquierda del río Paraná en el área del embalse se caracteriza por la presencia de barrancas elevadas, que actualmente sufren procesos erosivos y deslizamientos, por lo que son inestables.

Se ha encarado una serie de ensayos que permitirán establecer el grado de estabilidad, el talud de equilibrio y la protección que deberá adoptarse.

Reviste especial importancia el tratamiento de las barrancas próximas al cierre frontal y a las poblaciones costeras donde debe lograrse la solución que implique la mínima afectación.

En estos casos se prevé el perfilado de la parte superior de las barrancas, mientras que en su parte inferior se rellenará con material extraído del perfilado. La parte superior del relleno permitirá el desarrollo de un camino costero y un área recreativa.

Protección de poblaciones y rectificación de caminos

Se tuvo en cuenta en el trazado de las distintas alternativas de presa lateral la no afectación de las poblaciones ribereñas. Es por ello que las alternativas que se ubican sobre

el albardón costero son desviadas hacia la zona de islas al llegar a los centros urbanos.

De este modo las poblaciones de Alejandra, San Javier, Helvecia, Cayastá, Santa Rosa y las ruinas de la primitiva ciudad de Santa Fe, de gran valor histórico, quedan protegidas de las periódicas y destructivas inundaciones provocadas por el desborde del río Paraná.

En margen izquierda en las ciudades y pueblos adyacentes el embalse se realizará un estabilizado de barrancas que incluirá la construcción de avenidas costaneras y zonas parquizadas. Podrá también incrementarse el tráfico fluvial e instalarse puertos de gran calado en esa margen, lo que reactivará la economía de la zona.

Se construirán instalaciones de turismo y recreación en diferentes sitios alrededor del embalse, así como embarcaderos e infraestructura para la pesca comercial y deportiva.

La descripción de las obras de endicamiento ha sido realizada teniendo presente el nivel de Anteproyecto de las obras, las que serán ajustadas en sus trazas y diseños en la etapa de Proyecto Ejecutivo.

