

OBRAS DE ALIVIO

por

FELIPE G. WAISMAN

INTRODUCCION

El vertedero es la obra de alivio que integra el conjunto de obras denominadas de cabecera, compuestas además, por la Central Hidroeléctrica, la Escala de Peces, Esclusa de Navegación y Presa Frontal de Materiales Suelos.

El vertedero es una estructura de control de descarga de flujo. Gobernará los niveles del embalse y los correspondientes del río, aguas abajo de la presa, para satisfacer los siguientes propósitos:

a) En funcionamiento normal, evacuar los caudales que exceden la capacidad de turbinado de la Central Hidroeléctrica, a los efectos de mantener un nivel constante de embalse. Este, en la etapa de Anteproyecto fue fijado en + 28 m I.G.M.

b) Descargar la crecida máxima de diseño, la cual tiene como pico un valor de 73.000 m³/seg y puede ocurrir una vez cada diez mil años. A tal efecto, y para esta única situación excepcional, se prevee bajar el nivel de embalse en un metro, mediante aperturas programadas de compuertas y hacer pasar así la onda, sin ocasionar problemas hidráulicos ni estructurales en la presa.

c) Ante la posible necesidad de interrumpir parcial o totalmente la descarga de la Central Hidroeléctrica, restituir el régimen existente de aguas abajo.

d) Erogar los caudales del Río Paraná, mientras se realizan secuencias de obra en la Presa Frontal de Materiales Suelos. En cumplimiento de este fin, se diseña el vertedero para que en una primera etapa de su construcción descargue las aguas desviadas del curso principal y de su brazo el Riacho Zapata.

Dada la similitud en las características de diseño de las obras de alivio entre los Aprovechamientos Sur y Norte, en que los parámetros determinantes no varían sustancialmente, se hará referencia al vertedero a emplazarse en la Presa Chapetón. Esto es justificable, ya que los estudios y proyectos de esta futura realización están más avanzados.

Ubicación del cierre frontal del vertedero:

Se decidió ubicar el vertedero sobre la isla Chapetón, alineado respecto al resto de las obras, o sea normal a la dirección dominante de agua y contigua al extremo derecho de la Central Hidroeléctrica. Avalan esta decisión las siguientes razones:

a) La perpendicularidad respecto al flujo de la corriente induce una descarga más eficiente.

b) La dirección del flujo de descarga, aguas abajo de la presa, se aproximará a la del curso natural del Paraná, con lo cual provocará menor acción erosiva.

c) La alineación del vertedero al conjunto de obras frontales obedece a la necesidad del trazado del puente ferroviario.

d) La disposición del evacuador en las adyacencias a la Central Hidroeléctrica, permite el agrupamiento de las obras de hormigón.

e) La densificación natural de la arena en la isla, a cota de fundación, con una carga de consolidación de 25 t/m^2 , es mayor que la del lecho del río, sometido a presiones efectivas mucho menores.

Descripción:

El aliviadero se encuentra inserto en una gran zona, denominada vertedora, como parte integrante de un conjunto de estructuras, las que cumplen una función determinada y a las cuáles haremos referencias detalladamente a continuación. A tal efecto las dividiremos en estructuras para hidráulica de superficie y estructuras para el suelo de fundación. En cuanto a las primeras y ubicándonos en el sentido del escurrimiento se cuenta en primer lugar con un canal de acceso revestido, tal que hidráulicamente produzca llamada y encauzamiento del flujo hacia el vertedero durante la etapa del desvío del río. En la entrada al canal existe una zona crítica de unión desde el punto de vista erosivo entre las losas de hormigón y la arena de la parte no protegida. Es necesario contar con una zanja, tal que su cota de solera sea estable frente a las condiciones del escurrimiento, dado por el nivel normal y excepcional del embalse, como así también durante la etapa del desvío del río por el vertedero. Al respecto se efectuaron cálculos con fórmulas clásicas y otras más actuales. Entre las primeras merece citarse la de Lacey, con un coeficiente de mayoración por posible concentración de flujo en tramo recto. En cuanto a teorías más recientes se ha empleado la de Rosinsky y Dudedov, y también se han tomado como antecedentes valores verificados en aprovechamientos de similares características sobre fundaciones arenosas.

Del análisis para las distintas condiciones de descarga del flujo, surge la condición más crítica que se verifica durante el desvío del río. Es por ello que se protege con enrocado la solera de la zanja y con losas de hormigón el talud que la vincula con el canal de acceso revestido. La cota + 4 m. IGM de fondo de aquella, es la correspondiente al equilibrio del lecho arenoso para condiciones excepcionales del embalse, cuando este se sobreeleva durante la crecida decamilenaria.

El canal de acceso propiamente dicho está revestido con losas de hormigón armado de 6,00 m. x 6,00 m. y 0,60 m. de

espesor. De un estudio de optimización hidráulica y económica surge la cota de este canal en forma interrelacionada con la del umbral del vertedero rebajado, o vertedero de primera etapa constructiva, el que servirá de descarga del Río Paraná durante su desvío. En efecto, el canal de acceso a + 7 m. IGM y el umbral a + 8 m. IGM es la combinación más eficaz, de un conjunto numeroso de duplas estudiadas, en donde se evaluaron parámetros hidráulicos y desniveles entre aguas arriba y abajo, para distintos caudales de derivación. Estos desniveles tienen una importancia fundamental en cuanto a las alturas de ataguías que conforman el recinto estanco, en donde se ejecutarán las obras de control.

El canal de acceso se encuentra delimitado por los muros de ala, los cuáles se han diseñado teniendo en cuenta los siguientes objetivos: asegurar la protección de la presa de materiales sueltos, conducir el flujo hacia la cresta vertedora de manera de producir una descarga uniforme en todos los vanos y separar los flujos de la Central y Vertedero.

El muro de ala entre el vertedero y la presa frontal de materiales sueltos, es de contrafuertes, con una relación de 2,5 cm. entre altura y separación entre los mismos. La unión con el muro transversal a la dirección de la corriente se ha solucionado con curvas de 50 m. de radio. En el contacto con la presa de materiales sueltos se ha previsto un drenaje, el cuál se realizará con materiales de filtro y barbacanas ubicadas en el paramento vertical. Estos elementos se previenen para asegurar la estabilidad del material suelto y aliviar las presiones de filtración.

La necesidad de descargar caudales de gran magnitud y duración, con la mayor economía y eficiencia hidráulica, ha incidido en la fijación de un vertedero de superficie.

Se adoptó una cresta de derrame baja, pues la experiencia la indica como recomendable, tanto en los vertederos libres, como en los controlados con compuertas. Se previó, no

obstante, que su altura no sea demasiado baja con relación a la carga de diseño, pues disminuirá su rendimiento.

Como se eligieron cuencos del tipo horizontal para la disipación de la energía hidráulica, el vertedero deberá poseer una cresta de cimacio. En efecto, mediante una curva circular (gola) en la base, que formará una reversión de la curvatura respecto de la parte superior, se logrará que el flujo acceda a dichos cuencos, sin inducir grandes presiones por impacto en una zona eminentemente crítica.

La cresta elegida se presta favorablemente a ser coronada por compuertas de apreciable altura, que forman una parte importante de la profundidad en la estructura. Precisamente, las mismas serán necesarias ante las exigencias impuestas al embalse respecto a las necesidades hidroenergéticas. De esta manera se contará entonces con un vertedero totalmente controlado.

El paramento aguas arriba del perfil fue dispuesto con una inclinación 3 : 1, con el objeto de obtener una efectiva descarga hidráulica y lograr un mejor comportamiento estructural de la losa de fundación.

Los puntos coordenados para el trazado del perfil geométrico de la cresta, se obtuvieron de tablas específicas, normalizadas internacionalmente, en función de la velocidad de acceso, de la pendiente del paramento aguas arriba y de la carga de energía hidráulica sobre la cresta.

Se eligió como carga de energía hidráulica, respecto al vértice de la cresta aguda, la correspondiente a la cota normal de embalse. Con ello se asegura que para su nivel más frecuente, la lámina inferior del flujo vertiente no se separará del perfil, evitándose así presiones hidrodinámicas negativas.

Frente a la probabilidad de sobre elevación del embalse hasta cota máxima + 28,70 m. IGM se puede afirmar que no se producirán presiones negativas perjudiciales en la cresta. En efecto, se comprobó que la descarga de diseño se man-

tiene por encima del límite inferior recomendable, fijado en 75% de la máxima carga de funcionamiento extraordinario.

El perfil de la cresta vertedora se empalma, con los cuencos horizontales de disipación de energía a cota $- 3,00$ m. IGM y $+ 1,5$ m. IGM, mediante una curva circular (gola), de radio $17,30$ m. igual al doble de la carga de energía sobre la cresta de cimacio. Se verificó que, con el radio adoptado, los puntos de empalme de las dos curvas están ubicadas por debajo del punto característico donde la presión interna del flujo es aproximadamente nula. Se aseguró de esta manera, que no habrá efecto de sumergencia apreciable por la disposición de la gola.

Fueron calculadas las presiones hidrodinámicas, sobre la curva base, para una carga correspondiente al máximo nivel de embalse ($+ 28,70$ m. IGM), habiéndose obtenido valores no superiores a los 11 m. de columna de agua.

La longitud del vertedero, es la característica distintiva entre las dos alternativas planteadas en el Anteproyecto. Una de ellas se basa en la hipótesis de máxima en que la Central Hidroeléctrica equipada con grupos verticales no evacue caudal alguno ante una eventual salida de línea, cuando se manifiesta simultáneamente la crecida de proyecto. Mediante un estudio de atenuación de tal onda, se ha optimizado una longitud neta de lámina vertiente de 1.100 m. que permite descargar un caudal máximo atenuado de 71.100 m³/seg. con una sobreelevación en el nivel de embalse a $+ 29,70$ m. IGM.

La referida longitud fue dividida en 44 vanos de 25 m. de luz cada uno, separados alternadamente por pilas de 4 m. y 5 m. de espesor, resultando una longitud total de 1.298 m. entre paramentos externos de estribos.

La otra alternativa es la de Central Hidroeléctrica equipada con grupos horizontales bulbo para un cuadro de situación similar al planteado en la otra variante, a excepción de que la central permite descargar caudales a través de los grupos, aún cuando estos no generen energía. Esto se traduce

en una economía significativa de la estructura propiamente dicha, como así también de las partes que hacen al conjunto de las obras de alivio, siendo la longitud neta de la lámina vertiente de 925 m. calculada con igual premisa de sobreievación de embalse a + 29,70 m. IGM.

Tal longitud está compuesta por 37 vanos de igual luz. Con pilas de espesores similares a las anteriores, la longitud total es de 1.092 m.

Los vanos del vertedero, serán provistos de sendas compuertas metálicas tipo segmento, de 25 m. de ancho, 9,90 m. de altura y 10 m. de radio, parte de las cuales serán accionadas por un pórtico grúa y otras por servomecanismos. Estos últimos ayudarán a agilizar el izado de las compuertas de los vanos destinados a evacuar los caudales más frecuentes.

Las presiones sobre cada compuerta se transfieren a las pilas a través de un gorrón metálico y una viga de hormigón pretensado, unido a la misma mediante cables postesados.

En cuanto a las pilas, se adoptó para sus paramentos de aguas arriba y abajo, narices de sección horizontal, semi-circular, con radio igual al semiancho de las pilas, habiéndose calculado teóricamente que la eficiencia en la descarga no se vería afectada.

Los estribos se han diseñado con dos semipilas de 2,5 m. de ancho. Los paramentos internos de los mismos, fueron proyectados de tal manera, de no alterar la continuidad que se ha logrado en el diseño de los muros de ala.

Por el perfil vertedor y las pilas pasa una galería de inspección, en la cuál se ubicarán los medidores del instrumental destinado a efectuar la auscultación de la estructura.

Inmediatamente aguas abajo del perfil vertedor se desarrolla el cuenco de disipación de energía hidráulica. Se eligió el denominado cuenco tipo II del Bureau of Reclamations, compuesto por bloques al pie del vertedero y umbral dentado al final del mismo.

Como aguas abajo se producirán fluctuaciones de niveles correspondientes a la descarga natural del río, surge la necesidad de contar con un cuenco de disipación que funcione eficazmente para estas condiciones, requisito complejo de ser satisfecho por una única cota de solera.

Esta situación fue contemplada mediante la implementación de dos baterías de cuencos. Una de estas será utilizada en disipar energía cuando los caudales son bajos y la otra, conjuntamente con la anterior se emplearán para gastos elevados. La primera batería se ubicó centralmente con cota de solera a $-3,00$ m. Su destino es disipar energía en una gama de caudales bajos. En cuanto a la segunda batería, se desdoblará en dos partes, simétricamente dispuestas a ambos lados de la Central. Tendrá por cota de solera $+1,5$ m. IGM y funcionarán cuando los caudales sean elevados.

Para que los umbrales de los cuencos disipadores terminen alineados hacia aguas abajo, las longitudes de los mismos son distintas. El central tiene 60 m. de largo y el lateral 63 m. Cabe destacar que ambos trabajarán conjuntamente para caudales extraordinarios.

A los efectos de lograr restablecer condiciones naturales de descarga del río aguas abajo del cuenco de disipación y prever la estabilidad del lecho frente a la erosión, fue necesario considerar una profundización del fondo mediante una zanja de aquietamiento.

De acuerdo al estudio de socavación localizada se determinó una cota máxima de socavación, mayor a la de 5 m. IGM. No obstante, este nivel fue adoptado para la solera de fondo horizontal en la dirección de la corriente, a través de una longitud de 40 m., pero se diseñó una protección de enrocado.

El talud que une las soleras de los cuencos de disipación de energía con la zanja de aquietamiento, deberá ser revestido con losas de hormigón armado de 6,00 m. x 6,00 y 1,00 m. de espesor.

Se ha previsto, dentro de conjunto general de las obras, la derivación de los caudales del Río Paraná por el vertedero, mientras se cierra el cauce principal. Ante ello se ha diseñado la estructura de alivio, tal que finalizada su primera etapa de hormigonado, cumpla con este objetivo.

Frente a esta necesidad el vertedero deberá tener un perfil rebajado, que para un caudal de diseño y longitud determinada funcione hidráulicamente en forma satisfactoria. Se plantean así condiciones de optimización a través de un análisis de variantes. Estas se basan en el juego interrelacionado de pares de cotas, correspondientes a la cresta del umbral vertedor y a la solera revestida del canal de acceso, para una longitud tentativa de la estructura de alivio.

Las conclusiones de los estudios efectuados, condujo definir como alternativa más conveniente, la que fija los parámetros de velocidad, gasto específico y niveles de aguas arriba, en la zona de descarga, tales que sus magnitudes estuvieron cercanas a las máximas admisibles. Esto condicionó la mínima longitud del vertedero rebajado.

El par de cotas + 7 m. IGM para el canal de acceso revestido y + 8 m. IGM para el umbral del vertedero rebajado, es el optimizado en cálculo y el que se adoptará.

En el diseño de la estructura que nos ocupa, fundada sobre un medio permeable, se trata de evitar sus inconvenientes derivados, en especial los efectos del deslizamiento y flotación. Resulta entonces necesario la construcción de pantallas de impermeabilización y/o drenes, a los fines de aminorar tales aspectos.

De la verificación al deslizamiento de la estructura vertedora, surgió la necesidad de ubicar una solera de anclaje horizontal, aguas arriba de la misma, de 75 m. de longitud en todo el ancho de la estructura vertedora. Esta solera deberá ser construída de hormigón armado, recubierta por una capa impermeable de arcilla, con el fin de que pueda cumplir un doble propósito: anclar la estructura y servir de pantalla hori-

zonal impermeable. Con el objeto de reducir la subpresión debajo de la solera de anclaje, mejorando de esta forma su colaboración al deslizamiento de la estructura, se aprovecha la pantalla rígida de hormigón, prevista para el recinto estanco. (Etapa de excavación del vertedero). La misma penetra en el manto arcilloso (cota - 33,00 m. IGM) y logra reducir notablemente el valor piezométrico en el extremo aguas arriba de la solera de anclaje.

En el extremo aguas arriba de la estructura vertedora, se ha ubicado a cota de fundación, una primera línea de drenaje horizontal, la que se comunica con el nivel de aguas abajo. Se obtiene, de esta manera, una reducción media de más del 30% en el valor piezométrico de diseño.

Para mejorar el rendimiento de la referida línea de drenaje, aminorar la subpresión debajo de la estructura vertedora ante el caso de una deficiencia en la impermeabilidad de la unión losa de anclaje-estructura vertedora y, además, confinar la arena de fundación de la estructura, se ha diseñado una pantalla metálica vertical inmediatamente aguas abajo de la línea de drenaje citada, hasta la cota 15,0 m. IGM.

Debajo de la estructura, se ha ubicado una segunda línea de drenaje horizontal, la cual evacúa un 30% del caudal de filtración y disminuye el nivel piezométrico a valores aproximados al nivel de aguas abajo.

En el pie, aguas abajo de la estructura, se proyectó otra línea de tablestacado metálico vertical hasta la cota 15,0 m. IGM cuyo rol es disminuir las presiones de levantamiento bajo la losa del cuenco de amortiguamiento y confinar la arena de fundación.

Las losas del cuenco de amortiguamiento se fundan sobre una capa de filtro y se construyen con juntas drenantes. Se logra, de esta manera, no aumentar el recorrido del flujo de filtración por debajo de aquellas, en el caso de obstrucción parcial o total de las dos líneas de drenes citados anteriormente, efecto que aumentará la subpresión de la estruc-

tura. Además, se logra así, comunicar el flujo subsuperficial, con el superficial disminuyendo las presiones de levantamiento en las losas del cuenco de disipación.

Dada la gran longitud de la estructura vertedora, se consideró razonable dividirla mediante juntas de independización estructural, ubicadas cada dos vanos, en la parte media de las pilas. De este modo se materializan módulos cuya longitud es aproximadamente igual al ancho de la sección transversal.

El elemento tipo considerado para el análisis de estabilidad, es el limitado por las juntas de independización estructural, la unión con la losa de anclaje y la junta con la solera horizontal del cuenco disipador aguas abajo, es decir dos vanos, una pila de 4,00 m. y dos medias pilas de 2,50 m. de espesor cada una, resultando así superficies de apoyo en el plano de fundación de 47,00 m x 59,00 m. para los elementos con cota de solera aguas abajo + 1,50 m. IGM y de 50,00 m. x 59,0 m. para los elementos con cota de solera -3,00 m. IGM.

Se verificó la estabilidad al vuelco, al deslizamiento y a la flotación y se determinaron las sollicitaciones inducidas en la fundación y los asentamientos máximos de la estructura.

Cabe destacar que todo el diseño y cálculo del vertedero será analizado con modelos físicos-hidráulicos, analógicos-eléctricos y matemáticos en cada área específica de investigación.

La presente descripción hace referencia al diseño en la etapa de Anteproyecto. Aún se deben esperar correcciones y ajustes, cuando se desarrolle el Proyecto Ejecutivo de las obras.

