

III. COMPLEJO HIDROELECTRICO EL TUNAL

1. DESCRIPCION GENERAL DEL COMPLEJO

1.1. UBICACION Y GENERALIDADES

El Complejo Hidroeléctrico El Tunal está situado en la Provincia de Salta sobre el Río Pasaje o Juramento, a 120 km al este del Complejo Hidroeléctrico Cabra Corral. Se llega hasta el lugar desde el sur, por el ramal meridional de la ruta provincial Nº 16 que parte de la ciudad de Metán debiendo recorrerse 63 km o desde el norte penetrando por Río Piedras siguiendo la misma carretera Provincial Nº 16 que empalma con el ramal sur en el lugar denominado El Bordo, cubriendo una distancia total de 57 km. Constituye una obra básica de propósitos múltiples ejecutada para:

- Regulación de la cuenca intermedia.
- Embalse c/regulación estacional de caudales con destino al riego. Incremento de 6000 ha bajo riego.
- Producción de energía hidroeléctrica.
- Turismo y pesca.

El Complejo Hidroeléctrico El Tunal regula y aprovecha la descarga hídrica del Río Juramento en su tramo medio con una obra de cierre (presa mixta, de tierra-hormigón) en la que se instalaron las obras complementarias de alivio, regulación y generación concentradas en el tramo de hormigón.

El cierre está constituido por tres tramos:

- Un (1) tramo central de hormigón armado, incluido los estribos, de 205,51 m de longitud y 27 m de altura máxima sobre el lecho del río 41 m de altura máxima sobre fundación. Este tramo contiene al aliviadero de superficie (cota 472 m.s.n.m. - umbral) con capacidad de 2000 m³/s, elementos de derivación para riego, descarga de fondo y la central hidroeléctrica (potencia efectiva 10,4 MW).
- Dos (2) tramos laterales de materiales sueltos que, sumados,

totalizan 2.996,16 m.

El embalse a cota 476,00 m.s.n.m. (máximo tirante de vertedero) tiene un volumen de 320 hm³ y un espejo de 3800 ha. La superficie a cota de vertedero es de 2800 ha.

1.2. PRESA

La presa del tipo mixta, es de eje recto y coronamiento a cota 480 m.s.n.m., tiene una longitud total de 3.201,67 m con circulación superior de 8 m de ancho, sobre carpeta asfáltica.

Las características del material sobre el que se fundó la presa, son las siguientes:

- Margen derecha

La margen derecha, es de pendiente muy suave, encontrándose el lecho rocoso cubierto por un manto denso de limos modernos; en general, en esta margen, las características de la roca de fundación son más homogéneas a las de margen izquierda.

- Cauce del río

El lecho del río está constituido por aluvión del tipo fino, arena variable de fina a gruesa y gravilla, cuyo espesor es variable desde 3,50 metros hasta un máximo de 13,00 m. Hacia margen derecha el aluvión del río va haciéndose más fino encontrándose una tapada de material limoso de unos 2,00 m de espesor sobre el antiguo aluvión.

Inmediatamente debajo, constituye el sub-álveo rocoso, un paquete sedimentario del terciario subandino, formado por areniscas, arcillas y limolitas con comportamientos geotécnicos distintos en lo referente a resistencias y a deformaciones, mientras que el buzamiento de los estratos es favorable.

- Margen izquierda

La margen izquierda es abrupta y está constituida en general por areniscas friables con mantos delgados de rocas más competentes; la

roca en esta parte se encuentra aflorando, siendo la tapada descomposición de la misma arenisca.

La permeabilidad de la roca del sub-álveo es sumamente baja, teniéndose valores no superiores a $k = 10^{-4}$ cm/s. En el aluvión los valores encontrados dan valores de $k = 5 \times 10^{-4}$ cm/s.

1.2.1. Presa de materiales sueltos

Los materiales detectados por la investigación geotécnica, garantizaron la disponibilidad de abundante cantidad de suelo de muy baja permeabilidad y de material aluvional de excelente calidad.

El perfil general de la presa, es triangular del tipo zonado, con taludes 2,5 en horizontal: 1 en vertical hacia ambos lados. Agua abajo, a media altura (cota 466,50 m.s.n.m.) se dispone una berma de 3,00 de ancho. El coronamiento (cota 480,00 m.s.n.m.) tiene 8,00 m de ancho.

Se ha dispuesto un núcleo central de material CL-ML, con taludes 4 en vertical: 1 en horizontal, que acompaña el perfil rocoso de fundación, enclavándose en ella como mínimo 1 metro una vez que se tiene la certeza de encontrarse en roca sana no meteorizada.

Los espaldones están constituidos por material granular del tipo GW procurándose que el material de menor permeabilidad vaya colocado hacia la parte interior de la presa, cerca del núcleo impermeable, y el más permeable hacia los taludes.

Una zona de 2 metros de espesor con taludes idénticos a los del núcleo sirve de transición entre los espaldones permeables y el núcleo; este material cumplió la ley de filtros de Terzaghi.

El talud agua arriba se encuentra protegido por un enrocado de 0,75 m de espesor, colocado sobre un manto de asiento, transición entre el espaldón y el enrocado. El talud agua abajo por un revestimiento de piedra a fin de evitar la erosión provocada por la lluvia.

La margen izquierda, en las cercanías del apoyo de la presa agua arriba del cierre y para mantener la estabilidad de la arenisca friable que la constituye, como si se tratase de material suelto, fue protegida en las zonas peligrosas con material similar al enrocado del dique.

Los espaldones apoyan directamente sobre el aluvión del río o sobre el manto limoso de margen derecha.

El drenaje de la presa de materiales sueltos, hacia margen derecha, donde se encuentra una tapada de suelo limoso, se ha previsto alcanzar el aluvión permeable mediante una zanja de alivio en el pie del espaldón agua abajo.

Se ha colocado una cañería de cemento perforada y a junta abierta de 20 cm de diámetro, dentro de material de filtro a una profundidad aproximada de 2 metros que corresponde a la unión de aluvión-manto limoso. Este dren acompaña la pendiente natural del terreno, desaguardo en la pileta de quietamiento.

En la presa de tierra se ha previsto una calzada de 6 metros de ancho, con pavimento asfáltico sobre base estabilizada. Dos veredas de hormigón, de un metro de ancho cada una, completan el ancho de 8.00 metros del coronamiento con defensas de baja altura de hormigón armado, hacia ambos lados.

La cota del eje de calzada es de 480.00 m.s.n.m.

1.2.2. Presa de hormigón

La presa de hormigón ha sido ubicada donde la tapada del material aluvional es de aproximadamente 3,50 metros. La roca subyacente en esta zona es arcilita o limolita suficientemente densa de la que ha sido eliminada toda la roca fragmentada y alterada para la fundación de la presa.

Esencialmente pueden distinguirse dos sectores tipos en el dique de

hormigón. Uno correspondiente a la zona de aliviadero o dique móvil, con una sección típica de perfil vertiente y el otro, que puede denominarse dique fijo donde se ubican las tuberías de servicio para la central y riego.

Ambos sectores se encuentran adosados uno al otro y están constituidos por elementos de 6 m de ancho cada uno, por 36.31 m en la base. De ellos, 19 elementos corresponden al sector vertedero y 7 elementos a la parte fija. Uno adicional tiene características mixtas, siendo la unión de los dos diferentes tipos. Completan la longitud de la presa de hormigón hacia ambos extremos medio elemento fijo y medio con sección de vertedero, unidos a los estribos de hormigón que sirven de nexo entre la presa de materiales sueltos y la de hormigón.

La longitud total de la presa de hormigón sin los estribos es de 166,5 m.

La estanquidad del macizo de hormigón se confía a dos dientes enclavados en la roca, de 5 m de profundidad por 2 metros de ancho, agua arriba y abajo de la presa.

La presa, salvo el sector correspondiente a los dientes, se asienta en roca sana por intermedio de un manto drenante de 0.50 metros de espesor, constituido por arenas gruesas y limpias que además de facilitar el drenaje proporciona tensiones y asentamientos uniformes de la presa.

El criterio básico adoptado para el dimensionamiento de la presa de hormigón, ha sido el de una estructura que no solicite a la fundación con un esfuerzo mayor que 6 kg/cm^2 a la compresión, considerando todas las alternativas posibles de carga, incluyendo el esfuerzo correspondiente a una sollicitación por efecto sísmico que en el mapa de zonificación sísmica corresponde a zona 3 con un coeficiente de 0.10. Los esfuerzos principales en su sollicitación máxima, no han excedido los 20 kg/cm^2 a la compresión y, aunque los esfuerzos determinados son relativamente bajos, se ha colocado una armadura mínima

de refuerzo en los elementos de la presa, al tomarse en cuenta la variación de la roca de fundación, donde un mismo elemento puede interesar roca de diferentes características.

La estanqueidad agua arriba de los elementos de hormigón se ha confiado a una junta asfáltica especial. Un pozuelo de sección cuadrada de 15 cm en diagonal dispuesto entre los elementos se relleno de asfalto permitiéndose el ablandamiento y eventual reposición por calentamiento, mediante una cañería de 2" de diámetro de hierro galvanizado, por donde puede hacerse circular vapor de agua. También se ha colocado una chapa de cobre de 40 cm de ancho por 2 mm de espesor una de cuyas alas se ha pintado con asfalto.

Agua abajo de la junta asfáltica se dispuso, entre dos chapas de P.V.C., un pozo de drenaje para recoger la eventual percolación a través de la junta principal. Los elementos de P.V.C. son de aproximadamente 31 cm de largo y una de sus alas pintada de asfalto.

Hacia agua abajo y en la solera de la presa de hormigón, entre elemento y elemento, se dispone una chapa de P.V.C. de 31 cm de ancho, para evitar el ingreso de agua al interior del dique.

Además del drenaje vertical de las juntas entre elementos ya descritos, se dispuso otro drenaje entre elementos e incluido en ellos en la solera del dique. Este conducto esta conformado en el hormigón y comunica con el manto drenante mediante un filtro de transición.

El alivio del manto drenante se efectúa mediante una cañería de 0,20 m de diámetro, colectora, colocada inmediatamente adelante del diente agua abajo de la presa. La transición entre esta cañería y el manto drenante, se efectúa también mediante un filtro graduado.

La salida al exterior de la red de drenaje del dique de hormigón se efectúa mediante tuberías de 20 cm de diámetro en las pilas del puente que dan a la pileta de aquietamiento.

1.2.3. Estribos de hormigón

La unión entre las presas de hormigón y de materiales sueltos hacia ambas márgenes, se logra mediante un par de edificios de hormigón armado.

El largo es de 36,31 m, igual a la presa de hormigón, por un ancho máximo de 19,50 metros.

Está constituido por dos grandes casetones de hormigón armado, divididos por paredes ortogonales también de hormigón armado. En altura se colocaron refuerzos cuya separación máxima es de 6,00 m.

El criterio de diseño es el mismo que el adoptado para la presa de hormigón. En todo el contorno se ha dispuesto un diente de hormigón armado de 5,00 m de profundidad.

En estas estructuras se han dispuesto las escaleras y vanos de acceso al interior de la presa de hormigón. El estribo de margen derecha, cuenta con un montacarga de 3 t de capacidad.

1.2.4. Muros de contrafuertes

Como estructura de sostén de la presa de materiales sueltos y a continuación de los estribos, se han dispuesto hacia ambas márgenes y agua arriba y abajo, unos muros de sostenimiento cuya altura máxima es de 19,06 m.

La fundación se ha realizado apoyando la solera directamente en la roca sana, sin manto drenante intermedio.

1.2.5. Aliviadero de superficie

Está ubicado en la margen derecha de la presa de hormigón sobre 19 elementos, más los medio elemento del estribo y medio elemento intermedio, que presentan el perfil transversal vertedor. Ocupa un ancho bruto de 120 metros, de los que descontando las pilas de sostén del

puente y soportes de las compuertas sector, se reduce a 10 aberturas de 10,50 metros cada una.

El umbral del vertedero se encuentra en cota 472,00 m.s.n.m., siendo la cota de máximo nivel de operación en 476,00 m.s.n.m., permitiendo en este caso, con apertura total de compuertas, la evacuación máxima de 2.000 m³/s coincidente con la crecida de proyecto.

La cota mínima de restitución en la pileta de aquietamiento es de 449,50 m.s.n.m.

1.2.6. Amortiguador de energía

Se trata de un dissipador de energía tipo III del Bureau of Reclamation, de 118,50 metros de ancho por 55 metros de longitud. Los dados de hormigón armado de pie del vertedero y del umbral dentado, al final de la pileta, tienen 0,85 m y 1,85 m respectivamente.

La estructura consiste en una platea de hormigón de 1,20 metros de espesor, con armadura de refuerzo, con juntas estancas a medio solape cuyo módulo es de 12 m por 12 m. Esta platea se encuentra limitada por un muro de sostenimiento en margen izquierda que la separa de la central y por el muro de contrafuerte que delimita la presa de tierra por margen derecha.

Se ha dispuesto una amplia red de drenaje, debajo de cada una de las juntas de la solera, que consiste en un sistema de tuberías perforadas y colocadas a junta abierta, incluidas dentro de un filtro graduado dentro de zanjas excavadas en la roca de fundación. Las cañerías principales tienen 20 cm de diámetro y las secundarias 15 cm. La salida al exterior se efectúa agua arriba de la pileta.

1.2.7. Canal de restitución

A fin de garantizar el funcionamiento normal del amortiguador de energía, se ha dispuesto, a continuación, un canal de planta ligeramente curva, excavado en la roca de la barranca de margen derecha,

sirviéndole como guía la misma roca excavada, y hacia margen izquierda un terraplén de 10 metros de ancho en su coronamiento y taludes 1.5:1, horizontal a vertical.

La cota de la solera del canal es 453.00 m.s.n.m..

La velocidad del escurrimiento, para los 2.000 m³/s, es de 3.5 m/s, para una pendiente del canal de 0.0018, correspondiendo un tirante de h = 5.50 m. Se ha considerado para este predimensionado un coeficiente de rugosidad de Manning: n = 0.35.

El terraplén orientador de margen izquierda está formado por los materiales granulares obtenidos de la excavación del canal; protegido del lado del escurrimiento por un enrocado embolsado en alambre que acompaña el talud 1.5:1 hasta el pie, y desde este punto, verticalmente, hasta enclavarse en roca, por un muro de hormigón armado de 1 metro de espesor.

1.2.8. Compuertas sobre el vertedero

Posee diez compuertas metálicas de sector de 4.50 m de altura por 10.50 m de ancho. El accionamiento es del tipo oleohidráulico comandadas desde una cabina dispuesta para tal fin.

En prevención de cualquier deficiencia humana en el manejo de las compuertas, se previó incorporar automatismo adicional en 2 de ellas, eligiéndose las terceras partiendo de cada margen. La apertura automática de las compuertas comenzará cuando el nivel del lago alcance la cota 476.00 m.s.n.m. La sensibilidad del mecanismo absorbe, con cierta elasticidad, las fluctuaciones propias del oleaje.

Además tiene para la eventual reparación de las compuertas, una ataguía dividida en tres paños del tipo plana de 1.5 m de altura cada una y de 10.50 m de ancho.

El izaje de la ataguía, como así también el eventual levante de las compuertas, se hace por medio de cadenas manejadas con un puente grúa

con capacidad de 25 t.

1.2.9. Descargador de fondo

En los elementos con perfil vertedor, número 10, 11 y 12, construidos monolíticamente, se ubican dos tuberías de 2,00 m de diámetro.

La máxima capacidad de evacuación de ambos conductos, a cota 476,00 m.s.n.m. es de aproximadamente 105 m³/s.

Una reja de hormigón armado por toma, con aberturas amplias, del orden de los 0,15 m² cada una, resguarda la entrada contra la posible penetración de grandes cuerpos flotantes (árboles, etc.).

Los conductos después de las tomas llevan desde la embocadura un blindaje metálico de chapa de 5/16" de espesor. Las cotas de entrada y salida, en el eje, son 454,95 m.s.n.m. y 451,50 m.s.n.m. respectivamente.

La descarga se efectúa directamente al aire libre sin ningún tipo de dispositivo rompecarga. Cada conducto, tiene para el control de la descarga, dos válvulas esclusas en serie, de sección cuadrada, de 2,00 m de lado ubicada en el interior de la presa de hormigón. Un dispositivo, con comandos oleohidráulicos, permite la maniobra del sistema de válvulas desde el interior de la presa.

Se han incluido aparejos tipo monorriel para eventuales reparaciones y maniobras de emergencia.

1.2.10. Conducción para la central con derivación para riego y conducción para riego

Entre los elementos 24-25 y 25-26, también construidos monolíticamente, se han dispuesto las conducciones para la central con derivación para riego y la conducción independiente para riego.

Se ha previsto que la conducción de la margen izquierda sea la des-

carga para riego independiente.

La otra conducción tiene una primera derivación mediante un pantalón que alimenta a la descarga de riego y a la central hidroeléctrica. Luego de esta última derivación y a partir del un nuevo pantalón se alimenta a las dos turbinas.

Las conducciones para riego descritas anteriormente tienen un diámetro original de 2,70 m, que se reduce a 2,00 m luego de la válvula esclusa de 2,70 m por 2,70 m usada como emergencia. Las tuberías terminan en una válvula del tipo Howell Bunger de 2,00 m de diámetro, cuyo chorro se dispersa dentro de una cañería orientadora de acero de 3.60 metros de diámetro.

La conducción que alimenta a la central y riego hasta el primer pantalón tiene un diámetro de 4.20 m contando este tramo con una válvula de paso libre de 4.70 m de diámetro. Luego se reduce a 3.20 m de diámetro en las derivaciones a cada turbina para llegar a ellas a través de las válvulas de guardia con un diámetro de 2,70 m.

A partir del punto de colocación de las válvulas de mantenimiento, las tuberías son blindadas en acero de 5/16" de espesor, con refuerzo en el blindaje de perfiles doble Te Nº 14 cada 2.50 m en forma de anillos.

Las cañerías de acero, fuera de la presa, han sido protegidas colocándolas dentro de un macizo de hormigón.

El sistema de comando de todas las válvulas será eléctrico y manual para casos de emergencia. El dispositivo para la maniobra de las válvulas esclusas de 4,20 m y 3,20 m del interior de la presa, es similar al indicado para la tubería de desagüe de fondo.

La cota del umbral de toma es 469,00 m.s.n.m., que corresponde a la cota de volumen reservado para sedimentos.

Las tomas se han protegido con rejas de planchuelas metálicas desmon-

table. Su limpieza se realiza por medio del pórtico y su limpiarrejas respectivo de capacidad 6/1.3 t, cuenta además con vagonetas de limpieza.

La cota de salida de eje de las cañerías para riego es de 454,62 m.s.n.m..

1.2.11. Cámara de aquietamiento

Los conductos de servicio terminan en una cámara de aquietamiento de hormigón armado de 36,30 m de ancho por 51,76 m de largo, la cota de fondo es 449,50 m.s.n.m. y la del máximo tirante 453,00 m.s.n.m..

1.2.12. Vertedero en cámara de aquietamiento

En el final de la cámara de aquietamiento, hacia agua abajo y a la izquierda, se ubica un umbral vertedero de 15,20 m de ancho y cuyo labio tiene cota 451,70 m.s.n.m.. Esta obra garantiza el nivel para el escurrimiento máximo de 58,00 m³/s. Las cotas agua arriba y agua abajo son respectivamente 449,50 m.s.n.m. y 450,50 m.s.n.m.

El punto de cota 451,70 m.s.n.m. marca el origen del canal de conducción "El Tunal-Figueroa".

1.2.13. Puentes de servicio y carretero

El puente de servicio de 10 tramos de 12,00 m cada uno, con una luz libre entre apoyos para cada tramo de 10,50 m, se ha montado sobre el perfil vertedor. Esta obra permite el desplazamiento de un pórtico grúa para la maniobra de las compuertas de sector y ataguaia. La trocha del pórtico es de 5,20 m.

El puente carretero de 14 tramos de 12,00 m cada uno, se extiende a todo lo largo del dique de hormigón con luces libres de 10,50 m y una longitud bruta de 168 m. El ancho de calzada es de 6,00 m, disponiéndose de una vereda a cada lado de 1,00 m de ancho.

Se ha adoptado el sistema isostático, con vigas simplemente apoyadas, a fin de no perturbar la estructura con los previsibles pequeños asentamientos diferenciales, no uniformes, de los elementos sobre los que apoyan los puentes.

Ambos puentes apoyan mediante placas de neoprene.

1.2.14. Central hidroeléctrica

Agua abajo del dique de hormigón y en la zona correspondiente al perfil no vertedor, se ha reservado un espacio de 60.00 m por 45.00 m destinado a la central hidroeléctrica. En el extremo del mismo y colindante con la pileta de aquietamiento del aliviadero, se instaló el edificio principal de la central. Este es totalmente de hormigón armado con cerramiento de ladrillos a la vista y amplias ventanas con ventilación forzada. Abarca una planta de 18.00 m de ancho por 38.00 m de largo incluyendo la parte de la descarga de riego. Agua arriba y adyacente al mismo, está el edificio anexo en donde se alojan los servicios auxiliares. Su planta es de 8.50 m de ancho por 23.00 m de largo.

Se instalaron dos (2) turbinas Francis de 5.422 kW cada una, cuyo funcionamiento estaría condicionado a las demandas de riego.

1.2.15. Playa de transformadores

Se encuentra ubicada en el espacio que se dispone agua abajo de la central. Este sitio de 46.50 m por 30.10 m está separado de la central por una cerca de tejido de alambre sobre postes de hormigón.

1.2.16. Iluminación del coronamiento

Cada 25 metros de distancia se ha dispuesto, a tresbolillos, tanto en la zona del dique de materiales sueltos como en el de hormigón, una columna de hierro, de 8 metros libres de altura, con un brazo de 3.00 metros, provisto de un artefacto con lámpara a vapor de mercurio de 250 Watt de potencia. Esta iluminación se continua en el campamen-

to ubicado en margen derecha cercano a la presa.

1.2.17. Camino de acceso a válvulas y central

Un camino pavimentado de 8 m de ancho conduce, desde el coronamiento en margen izquierda y Ruta Provincial Nº 43, hasta la zona de válvulas para descarga de riego y central.