

Complejo Hidroeléctrico Río Grande Central en Caverna de Acumulación por Bombeo

Victor Gabriel Trombotto

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones industriales que permiten aprovechar la energía potencial de un salto de agua o la energía cinética de un curso hidrológico para convertirlo en energía eléctrica.

Desde el punto de vista medioambiental, se considera a la electricidad de origen hidráulico como una alternativa no contaminante, aunque la construcción de una central hidroeléctrica implica un cierto impacto en el medio ambiente regional, por ejemplo, el incremento de la humedad relativa del ambiente como consecuencia de la evaporación del agua contenida en los embalses.

El costo de construcción de estas centrales es elevado pero los gastos de explotación y mantenimiento son muy bajos, constituyendo una de las alternativas más rentables para la provisión de energía eléctrica.

El lugar de asentamiento de estos aprovechamientos está condicionado por las características del terreno y por lo general suelen ubicarse lejos de los grandes centros urbanos.

Tipos de Centrales Hidroeléctricas

Existen diferentes tipos de centrales hidroeléctricas, dependiendo de sus principios de funcionamiento y del servicio que presten a la red eléctrica a la cual abastecen. Es posible hacer la siguiente clasificación general de las mismas:

Central Hidroeléctrica de Paso

Una central de paso es aquella en la que no existe un embalse "aguas arriba" de las turbinas, o el mismo no produce una acumulación apreciable de agua.

Generalmente se aprovecha un estrechamiento del río, y la casa de máquinas puede formar parte de la presa.

El salto o diferencia de cota entre "aguas arriba" y "aguas abajo" de la central es reducido y al no disponer de un embalse, su capacidad de generación es fuertemente dependiente de las variaciones estacionales en el módulo del río.

Central Hidroeléctrica con Embalse de Reserva

En este tipo de proyecto se embalsa un

volumen considerable de líquido "aguas arriba" de las turbinas mediante la construcción de una o más presas para formar un lago artificial, el cual permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas, permitiendo producir energía eléctrica durante todo el año en forma independiente del módulo estacional del o los ríos que alimentan al embalse.

La construcción de centrales con almacenamiento de reserva exige por lo general una inversión de capital mayor que las de paso, pero en la mayoría de los casos permiten un mejor aprovechamiento de los recursos.

Centrales Hidroeléctricas de Bombeo

Las centrales de bombeo son un tipo especial de aprovechamiento hidroeléctrico que posibilita un empleo más racional de los recursos energéticos de un país. Estas centrales permiten aplanar el diagrama de carga del sistema, incrementando la carga en las horas de

valle y aportando energía en los horarios de pico.

Constructivamente disponen de dos embalses situados a diferente nivel, vinculados por un conducto hidráulico y la sala de máquinas. Cuando la demanda de energía eléctrica del sistema alcanza su máximo nivel (pico), las centrales de bombeo funcionan como centrales convencionales generando energía y almacenando el agua utilizada en el embalse inferior.

Durante las horas del día en las que la demanda de energía es menor (valle) el agua es bombeada al embalse superior cerrando el ciclo productivo.

Para ello la central puede disponer de grupos de motores-bombas independientes de los generadores o en su defecto las turbinas pueden ser reversibles de manera que funcionan como bombas y los alternadores como motores.

Reseña Histórica del Complejo Hidroeléctrico Río Grande

El Río Grande, tributario principal del Río Tercero, es un típico río de montaña, perteneciente a la cuenca del plata, que nace en las sierras de Córdoba a 1250 m de altura, cuya cuenca es de 720 km y recibe una precipitación media anual de 728 mm, proporcionando un módulo de 11,5 m³/seg. A partir de 1956 se realizaron estudios hidrológicos preliminares de su cuenca y reconocimiento de posibles zonas de emplazamiento de presas y túneles, y entre los años 1970 y

1972, Agua y Energía Eléctrica concretó el proyecto ejecutivo de un complejo hidroeléctrico para embalsar sus aguas y aprovechar su potencial hidroeléctrico en una central de pico de generación eléctrica con recuperación por bombeo, procurando una importante herramienta para la operación del Sistema Interconectado Nacional (S.I.N.) que permitiera aplanar su diagrama de carga diario, aportando energía en los horarios de máxima demanda e incre-

mentando la demanda de base.

Finalmente en 1974, luego de realizados los estudios geológicos, geotécnicos y topográficos necesarios, se iniciaron las obras de construcción (Figura 1) de presas, caminos y perforación de túneles, concluyendo el 14 de Febrero de 1986 con la inauguración del Complejo, poniendo a disposición del Mercado Eléctrico Nacional sus cuatro (4) grupos Turbina-Bomba con una potencia instalada de 750 MW y con capacidad de generación anual de 970.000 MWh, de los cuales el 85 % se logra con aportes de acumulación por bombeo y el 15 % restante corresponde al aporte del Río Grande, con una reserva de energía de 100 GWh y un tiempo de arranque muy breve (3 minutos) para casos de emergencia.

El Complejo fue operado y administrado por la ex Sociedad del Estado Nacional, Agua y Energía Eléctrica, hasta el 31 de

Marzo de 1996, fecha en que se transfiere su explotación comercial a la empresa Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NASA), quedando bajo su órbita, junto a las centrales nucleares que la integran, hasta el 25 de Abril de 2001. Desde esa fecha y hasta el presente la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (E.P.E.C.) es la titular de la concesión otorgada por la Secretaría de Energía de la Nación.

El Complejo Hidroeléctrico Río Grande, ubicado en el departamento Calamuchita de la provincia de Córdoba, a 130 km al suroeste de la ciudad capital, es una importante herramienta para optimizar la operación del S.I.N. que posibilita satisfacer una demanda en permanente crecimiento y cada vez más exigente en términos de calidad, constituyendo un orgullo tecnológico para el desarrollo de nuestro país.

Figura 1.
Excavación
del Túnel de
Restitución



Descripción General

El Complejo cuenta con 2 embalses, el superior denominado **Cerro Pelado** y el inferior, **Arroyo Corto**, situado a 12 km aguas abajo del primero. El desnivel entre ambos es de 185 m y las presas de ambos embalses fueron construidas con materiales sueltos y núcleo impermeable.

La **sala de máquinas** está construida en caverna ubicada a 130 m por debajo del lecho original del río (226 m debajo del nivel de vertedero del embalse principal), en las profundidades del Cerro Pelado.

La sala de máquinas está vinculada al embalse principal, por medio de dos "tuberías forzadas" de acero inoxidable

de 330 m de longitud y diámetro variable entre 7,5 y 3,5 m, que nacen en la obra de toma del embalse Cerro Pelado a 50 m de profundidad y terminan en las válvulas esféricas de entrada a cada una de las turbinas en la sala de máquinas. Cada una de estas tuberías forzadas alimenta a dos turbinas.

Las salidas de los difusores de máquinas están vinculadas al contra embalse Arroyo Corto por medio de un túnel de 12 x 18 m de sección abovedada y 5800 m de longitud con pendiente de 1,13 %, denominado **Túnel de Restitución**. El volumen de excavación de este túnel es de 1108700m³ y tiene una pérdida de carga máxima de 6,1 m.

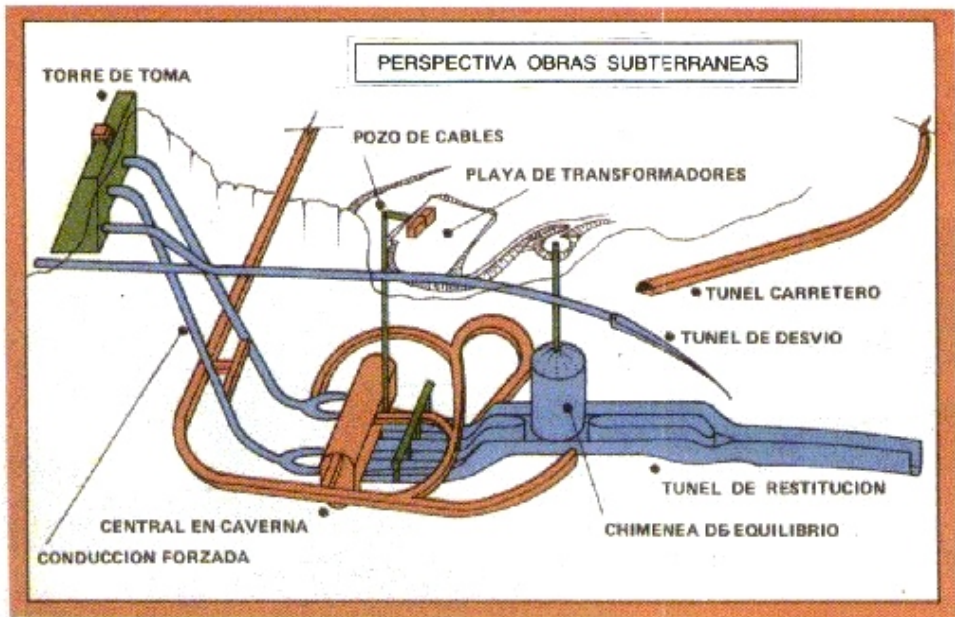


Figura 2. Esquema de Obras Subterráneas

Los Embalses

Las presas son los elementos distintivos de los aprovechamientos hidroeléctricos. Son construcciones de hormigón o de tierra que se alzan sobre el lecho del río en forma perpendicular a su dirección, con la finalidad de formar un embalse.

Existen 4 tipos diferentes de presas:

- De gravedad, que retienen el agua gracias al tipo de materiales empleados, como mampostería u hormigones.
- De contrafuerte, formadas por una pared impermeable situada aguas arriba, y contrafuertes resistentes para su estabilidad, situados aguas abajo.
- De arco-bóveda, que aprovechan el efecto transmisor del arco para transferir el empuje del agua al terreno.

- De tierra o escollera, con un núcleo de material arcilloso, que a veces es tratado químicamente o con inyecciones de cemento.

El embalse superior del Complejo Río Grande, llamado **Cerro Pelado**, está formado por tres presas de gravedad con núcleo impermeable de limo arcilloso y espaldón de broza de canto rodado proveniente de las excavaciones.

La principal (Figura 3), fundada sobre el lecho del río, de 104 m de altura por 420 m de longitud y un volumen total de 3675000 m³; la segunda, denominada **Cierre Lateral Margen Derecha**, de 50 m de altura por 1500 m de longitud y un volumen total de 1600000 m³; y la tercera denominada **Cierre Lateral Margen Izquierda**, de 6 m de altura y 54 metros de longitud, con un volumen total



Figura 3.
Presa Principal
Embalse
Cerro Pelado

de 2480 m³. Las tres presas tienen cota de coronamiento de 880 m sobre el nivel del mar.

El espejo de agua abarca una superficie de 1240 ha con una capacidad de almacenamiento de 370 hm³, volumen que representa un ciclo hidrológico (aporte anual de agua del Río Grande).

El contra embalse de **Arroyo Corto** está formado por una presa de 44 m de altura, 1600 m de longitud, y cota de

coronamiento de 701 m, de características similares a las anteriores, con un volumen de 2366230 m³.

La superficie cubierta por este embalse es de 357 ha con una capacidad de almacenamiento de 35 hm³.

El desnivel entre ambos embalses es de 185 m, lo que representa el salto útil máximo del aprovechamiento, y están ubicados a 12 km de distancia entre sí.

Central en Caverna

La sala de máquinas de una central es el lugar donde están situadas las máquinas motrices y los grupos generadores de la misma.

La **sala de máquinas** del Complejo (Figura 4), está ubicada a 226 m. de profundidad con respecto al nivel de vertedero del embalse Cerro Pelado, en

las profundidades del Cerro Pelado. Su eje longitudinal está aproximadamente a 65 m aguas abajo del eje de la presa principal y sensiblemente paralelo al mismo.

Sus dimensiones son: 105 m de longitud, 27 m de ancho y 50 m de altura. Con un volumen de excavación de

Figura 4.
Sala de
Máquinas
en Caverna



120000 m³ y 25600 m³ de hormigón. A los efectos de tomar conciencia de su volumen, puede decirse que dentro de ella podría alojarse la Catedral de la ciudad de Córdoba.

Esta sala alberga a los cuatro grupos TURBINA-BOMBA, los que totalizan una potencia instalada de 750 MW.

A esta caverna se accede a través de un **túnel carretero** (Figura 5) de 1800 m de longitud excavado en roca, con pendiente del 8 % y sección abovedada de 7 x 7,5 m. La boca de acceso al mismo se encuentra aproximadamente a 320 m aguas abajo del eje de la presa principal.

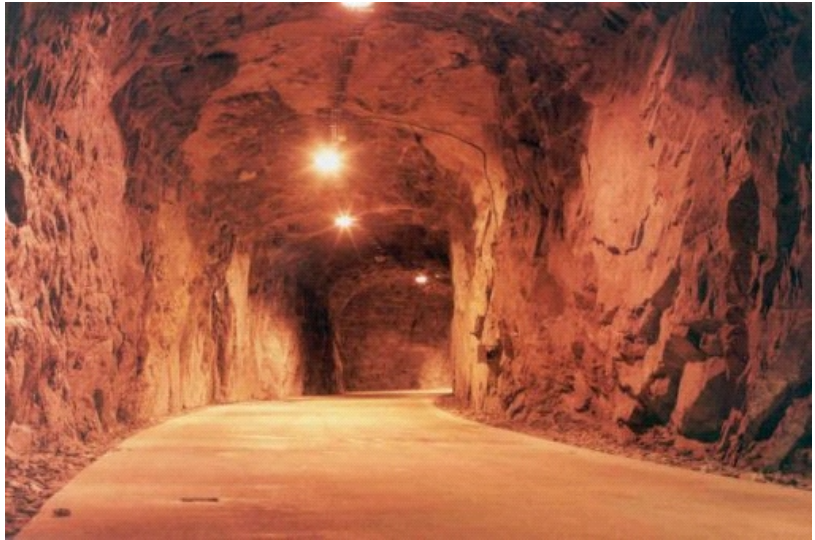


Figura 5.
Túnel Carretero
de acceso a la
Caverna

Sala de Comando

Dentro de la sala de máquinas en caverna y sobre el extremo de margen izquierda de la misma, se encuentra el **edificio de comando**, una construcción de tres pisos que alberga en la planta baja todos los transformadores y tableros de distribución para servicios auxiliares en media y baja tensión; el primer piso corresponde a la sala de relé

y sala de baterías, donde se encuentran los tableros correspondientes a protecciones, alarmas y servicios auxiliares de emergencia en 110 V de corriente continua.

Finalmente, en el segundo piso se encuentra la **Sala de Comando** (Figura 6), desde la cual se operan todas las instalaciones del Complejo.



Figura 6.
Sala de
Comando

Vertederos

Los vertederos son elementos vitales de los embalses cuya misión es liberar, si es preciso, grandes cantidades de agua, que supere la capacidad de almacenamiento del embalse, evitando que esta pase sobre la presa durante una crecida importante del río.

El Complejo tiene, en total, tres vertederos, dos en el embalse **Cerro Pelado** (superior), y uno en el embalse de **Arroyo Corto**.

El **Vertedero Principal del embalse Cerro Pelado** (Figura 7) está ubicado entre el Cierre Lateral Margen Derecha y la Presa Principal. Está formado por un umbral de hormigón de perfil estricto dividido en 5 tramos de 13 m cada uno, totalizando

una luz libre de 65 m.

La cota de coronamiento es 880 m y el caudal máximo de evacuación en cota inicial (876 m) es de 3285 m³/s, valor correspondiente a crecidas extraordinarias de frecuencia 1 / 5000 años.

Cada tramo tiene una compuerta radial tipo segmento de 13 m de luz y 8 m de altura, comandadas a distancia desde la Central en Caverna, o en forma local desde una caseta ubicada en el muro lateral.

Sobre la margen izquierda de la presa principal existe un **vertedero auxiliar** de coronamiento plano a cota 877,7 m, de 150 m de longitud, 11 m de ancho y 4 m de altura, con capacidad de descarga

de 3285 m³/s a cota 879.

El **Vertedero del embalse Arroyo Corto** es de tipo libre, de 4 vanos de 17,5 m cada uno, totalizando una luz libre de 75,4 m (incluidas las pilas). La cota de cresta es

691 m con capacidad de erogación de 3170 m³/s a cota 698,58 m.

El canal de fuga está revestido en hormigón y tiene una longitud de 428 m y ancho variable entre 75,4 y 45 m.



Figura 7.
Vertedero
Principal
del Embalse
Cerro Pelado

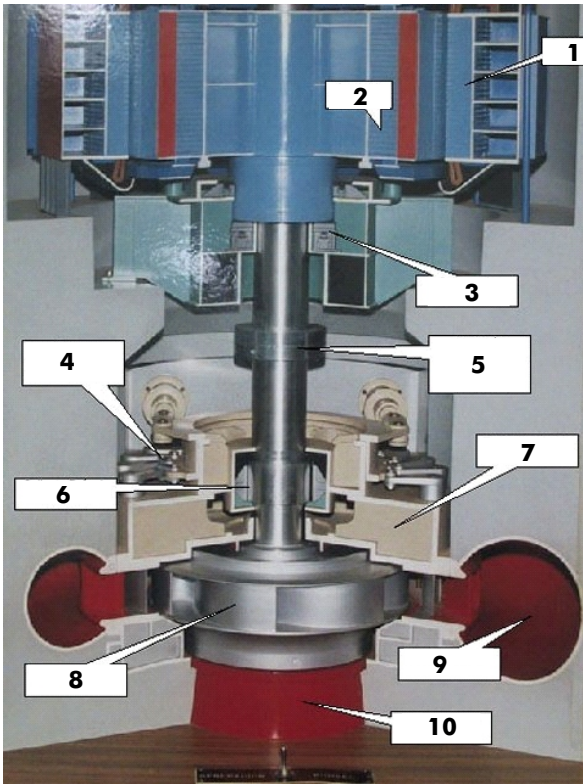
Características Electromecánicas

La central cuenta con una potencia instalada de 750 MW distribuida en 4 grupos turbina-bomba de 187,5 MW / 210 MVA. Las turbinas son tipo Francis Reversibles de 250 rpm. En la Figura 8 se muestra una vista de detalle de los grupos generadores.

La tensión de generación de 16,5 kV es adaptada al Sistema Interconectado Nacional de 500 kV mediante dos transformadores trifásicos de 440 MVA

cada uno, ubicados en la **Playa de Transformadores** (Figura 9) al pie de la presa principal.

La conexión entre generadores y transformadores se realiza con blindobarras de aluminio de 0,7 m de diámetro exterior que recorren un túnel vertical de sección circular de 150 m de longitud y 7,2 m de diámetro denominado **Pozo de Cables**, por el que también se realiza la ventilación de la Sala de Máquinas.



- 1 Estator del Generador
- 2 Rotor del Generador
- 3 Cojinete de empuje
- 4 Sistema de Accionamiento de Álabes Directrices
- 5 Manchón de Acoplamiento Eje Turbina y Generador
- 6 Cojinete de Guía de Turbina
- 7 Tapa Superior de Turbina
- 8 Rodete de Turbina
- 9 Cámara Espiral
- 10 Tubo Difusor

Figura 8.
Vista Detalles
de los Grupos
Generadores



Figura 9.
Playa de
Transformadores

Modos de Funcionamiento

Los cuatro turbo-grupos del Complejo son de funcionamiento mixto, pudiendo operar en tres modos diferentes, según los requerimientos del sistema:

■ **Modo Generación:** aportando una potencia máxima de 187,5 MW por máquina, con un mínimo técnico de

130 MW.

■ **Modo Bombeo:** con demanda de 187,5 MW por máquina.

■ **Modo Compensador:** aportando sólo potencia reactiva al sistema (capacitivo o inductivo), máximo 126 MVAR por máquina.

Arranque Estático

El sistema de lanzamiento de los grupos para su funcionamiento en modos Bomba y Compensador consiste en un equipo **Convertidor de Frecuencia** electrónico de estado sólido de 10 MVA de potencia nominal y 6,1 kV denominado **Arranque Estático**. Este dispositivo permite alimentar los generadores, que en modo bomba funcionan como motores sincrónicos, con tensión reducida de 6,1 kV y frecuencia variable entre 0 y 53 Hz para acelerarlos desde

velocidad cero a velocidad nominal en un tiempo de 3 minutos. Una vez alcanzada la velocidad nominal de 250 rpm se libera el dispositivo de Arranque Estático y el motor se conecta al sistema, estando así en condiciones de comenzar a tomar carga.

El mismo dispositivo de Arranque Estático también se utiliza como freno dinámico durante las secuencias de parada de los grupos.

Bibliografía

| Manuales y Documentación Técnica del Complejo Hidroeléctrico Río Grande

| <http://energia.mecon.gov.ar/contenidos/contenidos.asp?id=166>

Ing. Víctor Gabriel Trombotto. Operación y Mantenimiento EPEC - C.H. Río Grande