



LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE ITAIPÚ

THE ITAIPU HYDROELECTRIC PLANT

Recibido: 05/09/07

Aceptado: 24/09/07

José Miguel Marañón Antolín
Dr. Ingeniero Industrial
Director de la revista DYNA

RESUMEN

Hasta la reciente construcción de la presa de Las Tres Gargantas, en el río Yangtsé, la central hidroeléctrica de Itaipú era la de mayor potencia instalada. Como siempre, las repercusiones tanto en el Medio ambiente como en el aspecto social, han sido

de gran importancia, pero dando paso a otras alternativas positivas independientemente de la importantísima generación eléctrica para Brasil y Paraguay.

Tanto la tecnología constructiva como la de los equipos de generación, transformación y control han evolucionado ampliamente desde entonces, pero los problemas derivados en Itaipú, Assuan y Las Tres Gargantas son muy distintos, derivados de sus entornos respectivos. No obstante, el tiempo irá desvelando consecuencias

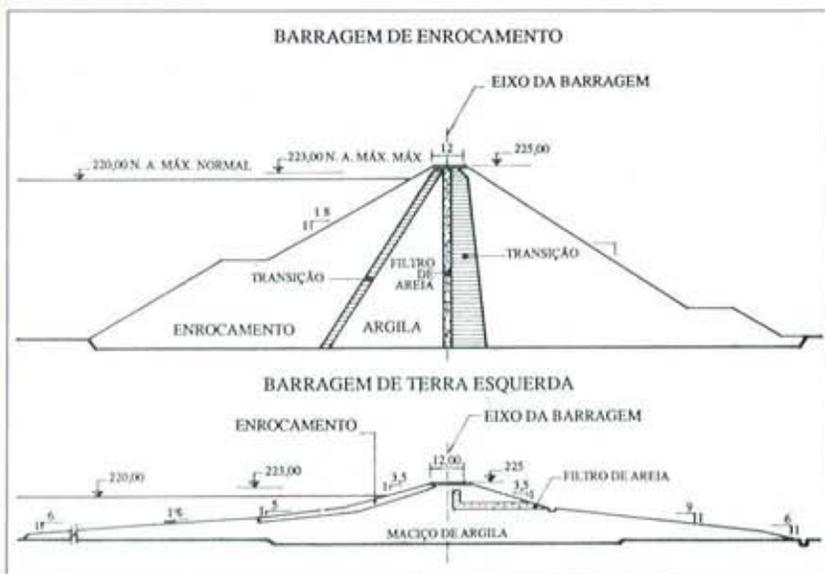
sobre la climatología imprevistas en estos momentos.

Palabras clave: Embalse, central hidroeléctrica, medio ambiente, potencia.

ABSTRACT

Until the recent construction of the prey of the Three Throats, in the Yang tsé river, the hydroelectric power station of Itaipú was the biggest one in power. Like always, the repercussions as much in the environment as in the social aspect, they have been of great importance, but taking step to other positive alternatives independently of the most important electrical generation for Brazil and Paraguay. As much the constructive technology as the one of the generation, transformation and control equipment has evolved widely since then, but the problems derived in Itai-





pú, Assuan and the Three Throats are very different, derivatives of their respective surroundings. However, the time will be keeping awake unexpected consequences at the moment.

Key words: Capacity, power station, environment, power.

1.- INTRODUCCIÓN

La Central Hidroeléctrica de Itaipú (*Tierra que canta*, en lengua guaraní) nació a la luz de una feliz iniciativa de asociación entre Paraguay y Brasil para aprovechar el enorme potencial energético que ofrece el río Paraná (en la zona fronteriza de ambos países) con miras al desarrollo de la región. El Tratado se firmó el 26 de abril de 1973.

El desafío técnico y económico fue afrontado de forma conjunta como una obra de gran magnitud en el campo de la energía eléctrica y sin paralelo en el mundo hasta entonces.

La construcción se inició en 1975, terminándose en 1991 aunque el primer grupo generador entró en servicio en 1984.

La Central está situada sobre el río Paraná, a 14 km aguas arriba del puente internacional que une Ciudad del Este, Paraguay, con Foz de Yguazú, Brasil.

El Paraná, uno de los siete mayores ríos del mundo, nace en la confluencia de los ríos Paranaíba y Grande, discurrendo inicialmente por territorio brasileño hasta el Salto del

Guairá a partir de cuyo punto constituye la frontera entre Paraguay y Brasil. Tiene una longitud total de 4.000 km (incluidos sus afluentes Paranaíba y Grande) y su cuenca abarca 3.000.000 km².

2.- LA INGENIERÍA DEL PROYECTO

Se decidió estructurar un cuerpo técnico permanente reducido encar-

gado de la supervisión general de la Ingeniería del proyecto.

La coordinación general fue encomendada al Consorcio IEICO-ELC integrado por **International Engineering Company**, de San Francisco, y **Electroconsult**, de Milán, que ya había realizado anteriormente el Estudio de viabilidad previo.

Este Consorcio subcontrató a **IESA** (Internacional de Ingeniería, S. A.), **Enerconsult**, S. A., **Electroconsult** del Paraguay (PARELC) y a la **Compañía Internacional de Ingeniería**, que disponía de mano de obra técnica especializada brasileña y paraguaya.

IEICO-ELC fue responsable también de la preparación de las especificaciones de los equipos principales: generadores, transformadores, subestación, etc.

Participaron cuatro Consorcios de consultoras brasileñas y paraguayas realizándose alrededor de 60.000 planos.

La Central Hidroeléctrica de Itaipú nació a la luz de una feliz iniciativa de asociación entre Paraguay y Brasil

Los estudios hidráulicos fueron realizados por una empresa brasileña (**Centro de Estudios Prof. Parigot de Souza**), una francesa (**SOGREAH**, de



Grenoble) y el **Laboratorio de Hidráulica** de la Universidad de Lausanne.

Los aspectos geomecánicos se desarrollaron por el **Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT)** de Sao Paulo y el **Instituto Experimental de Modelos y Estructuras (ISMES)** de Italia.

Los estudios sobre las características sísmicas de la zona fueron desarrollados por el Laboratorio de la **Universidad de Brasilia**.

Los temas eléctricos se realizaron por un Consorcio brasileño con la colaboración del **CESI**, Centro Experimental Electrotécnico Italiano y figuraron como proveedores principales empresas de primera línea internacional como **Alstom Atlantique**, **Brown Boveri**, **J. M. Voith GmbH**, **Neyrpic**, **Siemens**, **COEMSA** (Brasil) y otras firmas brasileñas autónomas o filiales.

3.-DATOS GENERALES

Presas de tierra de la margen derecha

Esta presa se extiende a lo largo de 872 m desde el vertedero hasta el terreno natural a la cota 225 en la margen derecha. Tiene una altura máxima de 25 m con un volumen de 400.000 m³ de terraplén. Es de arcilla plástica compactada con taludes uniformes, aguas arriba y abajo.

Vertedero

Localizado en la margen derecha, está formado por un canal de aproximación, estructuras de control, tres canales de escurrimiento y toboganes disipadores de energía.

La coronación está situada en la cota 225; la cresta de escurrimiento

en la 200, y tiene un ancho de 390 m, con 14 compuertas de segmentos de 20 x 21,34 m cada una.

Presas lateral derecha

Es del tipo de contrafuertes, con disposición en curva y su elevación de coronación se encuentra en la cota 225. Su altura máxima es de 64,50 m con un volumen de hormigón de 800.000 m³.

Presas principal

Situada en el cauce natural del río, es de gravedad aliviada. Tiene en su coronación una longitud de 1.064 m en la cota 225, una altura máxima de 196 m y un volumen de hormigón de 5.200.000 m³.

Canal de desvío

Es artificial excavado a orillas del Paraná y su finalidad principal es desviar las aguas del Paraná para permitir la construcción de la represa en el cauce natural del mismo.

Dimensiones:

Longitud:	2.000 m
Anchura:	150 m
Profundidad:	90 m
Volumen total de excavación	22.500.000 m ³

Sección de desvío

Es la parte de la presa situada en el canal de desvío que une la presa principal con la presa izquierda. Es maciza y del tipo de gravedad. Tiene una longitud de 170 m y su coronación está situada en la cota 225. Su altura máxima es de 162 m y su volumen de hormigón es de 2.100.000 m³.

Presas de enrocado

Tiene una extensión de 1.984 m y su altura varía entre 40 y 70 m. En su parte central tiene arcilla arenosa, que la hace impermeable, y dos prismas externos de material rocoso. El volumen total es de 13.000.000 m³.



Aspecto actual de la presa tras el proyecto de iluminación desarrollado por la empresa Indal do Brasil, Ltda. Del Grupo Indal. Sus características son:

- Potencia instalada... 1.000 kW.
- Siete subestaciones de 300 kVA cada una.
- 100 km de cables de fuerza y control.
- 293 proyectores simétricos Indalux mod. IZM..
- 239 proyectores asimétricos Indalux mod. IZL.
- 58 proyectores dispersores Indalux mod. IZX.

Presas de tierra en la margen izquierda

Se extiende a lo largo de 2.294 m desde la presa de transición de enrocado a tierra hasta el terreno natural a la cota 225 m en la margen izquierda.

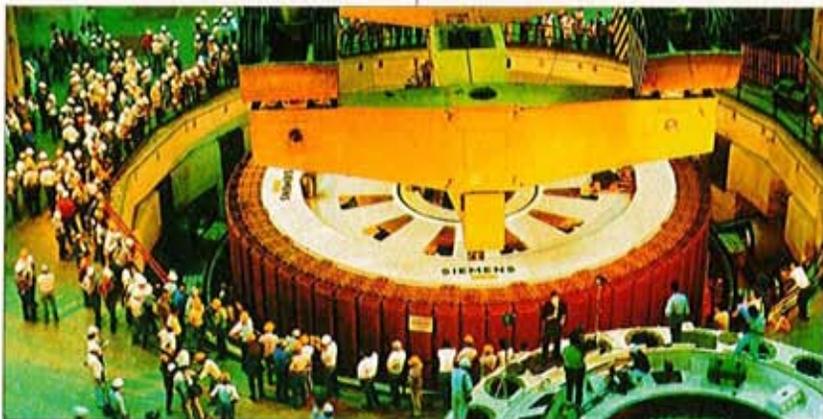
Tiene una altura máxima de 30 m y un volumen de 4.400.000 m³ de terraplén.

Al igual que la presa de tierra en la margen derecha, está construida de arcilla plástica compactada.

Casa de máquinas y zonas de montaje

La casa de máquinas está localizada al pie de la presa principal. Contiene 18 unidades generadoras a intervalos de 34 m, 15 de las cuales se encuentran en el lecho original del río y tres en el canal de desvío. Estaba prevista la instalación de dos unidades complementarias a cuyo efecto se reservó el espacio necesario.

Su longitud total es de 968 m, con una altura máxima de 112 m y una anchura de 99 m.



Generadores

Características eléctricas:

	50 Hz	60 Hz
Potencia	823,6 MVA	766,0 MVA
Tensión	18.000 V ± 5%	18.000 V ± 5%
Corriente (dividida en seis circuitos paralelos)	26.417 A	26.639 A
Refrigeración de los bobinados		
- Bobinado de estator	Agua pura	
- Núcleo del estator y rotor completo	Aire	
Excitación	Estática (con tiristores)	
Corriente de excitación en carga	4.000 A	3.237 A

Características mecánicas:

	50 Hz	60 Hz
Estator		
Diámetro exterior	18,65 m	18,65 m
Diámetro interior	16,00 m	16,00 m
Peso	734 t	734 t
Rotor		
Diámetro	15,93 m	15,96 m
Altura	3,82 m	3,53 m
Peso	1.760 t	1.760 t
Número de polos	66	78
Cojinetes		
Superior	Guía	Guía
Inferior	Guía más empuje	Guía más empuje
Entrehierro	37 mm	27 mm
Peso total del conjunto rotativo	2.650 t	2.650 t
Altura total del conjunto rotativo	22 m	22 m
Velocidad de disparo	140%	140%
Velocidad de embalamiento	185%	185%



y trabajan con un caudal nominal de 690 m³/s. Su potencia nominal unitaria es de 715 MW y funcionan bajo un salto de 112,9 m y sus velocidades son de 90,9 / 92,3 rpm respectivamente.

5.- TOMAS DE AGUA

Ubicadas en la presa principal, su objeto es aportar el caudal necesario para el funcionamiento de los grupos. Son 18 (efectivas) más dos para las unidades de reserva eventuales.

El nivel superior de la toma de agua se encuentra en la cota 202,50 m con un diámetro variable que se reduce a 10,50 m en su zona final más estrecha.

6.- TUBERÍAS DE PRESIÓN

También son 18 para las unidades en funcionamiento más las dos eventuales para las unidades de reserva.

Su diámetro interior es de 10,50 m con una longitud total de 142,20 m. Cada una de ellas está formada por 44 anillos metálicos que pesan en total 1.450 toneladas.

7.- TRANSFORMACIÓN Y TRANSMISIÓN

Las unidades generadoras de 50 y 60 Hz giran, respectivamente, a 90,9 y 92,3 rpm. La tensión es generada a 18 kV.

Los transformadores para cada generador están instalados en la cota 108, en una galería paralela a la de las unidades. Elevan la tensión de 18 kV a 500 kV y alimentan la subestación blindada ubicada en la cota 128. Desde ésta, se transmite la energía de 50 Hz a 500 kV, en forma directa, a la Subestación de la margen derecha-Paraguay, y la de 60 Hz, a la Subesta-

El embalse

El nivel máximo normal del agua está en la cota 220 m. Tiene una capacidad bruta de 29.000 millones de metros cúbicos y una superficie de espejo de agua de 1.350 km² con una longitud aproximada de 170 km. Aneja 580 km² de territorio paraguayo y 770 km² de territorio brasileño.

Edificios de descarga de materiales

Situados en la cota 144, recibieron las piezas mayores de las unidades generadoras de diversos orígenes y transportadas al lugar de montaje en vehículos especiales capaces de acceder hasta ambos edificios, dotados de equipos electromecánicos, ubicados sobre las zonas de montaje derecha y central.

Edificio de mando

Situado en la parte superior de la estructura de la casa de máquinas en su trozo central, comprende tres unidades y cuenta con siete plantas, destinadas al comando de la Central. Desde la Sala de mando centralizado se ejerce el control individualizado de la producción de cada uno de los 18 grupos generadores.

4.- GRUPOS GENERADORES

De los citados 18 grupos, nueve generan energía a 50 Hz para Paraguay y otros nueve, a 60 Hz para Brasil.

Turbinas

Las turbinas, del tipo *Francis*, tienen un peso unitario total de 3.300 t

ción de Electrobras (Centrais Electricas Brasileiras, S.A.) Furnas-Brasil también a 500 kV.

8.- SUBESTACIÓN BLINDADA

La subestación blindada de SF₆ está ubicada en la Casa de máquinas en la cota 128 y ocupa una superficie aproximada de 20.000 m². Esta subestación era, entonces, la mayor del mundo en su tipo y la única en América Latina.



la subestación de la margen derecha, a cielo abierto, está ubicada dentro del predio de Itaipú

Cabe mencionar la existencia de equipos de control y protección com-

plejos, que se encuentran condicionados por etapas y en la entrada de ca-



Tuberías de presión

da grupo generador. Esta subestación ocupa apenas un décimo de la superficie que sería necesaria para una subestación convencional, lo que permite una mayor proximidad a los generadores. Ello mejora el rendimiento en la transmisión y permite, simultáneamente, desarrollar más fácilmente los trabajos de mantenimiento.

9.- DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA

De las subestaciones ubicadas en las Casas de máquinas parten cuatro líneas de transmisión para cada grupo de nueve generadores de igual frecuencia.

Las líneas de transmisión a la subestación de la margen derecha se conectan a la subestación de la margen izquierda, de propiedad de Furnas, para el tratamiento de la energía no utilizada por el Paraguay y cedida al Brasil, donde se procesa la energía y se la transforma para su transporte por las líneas de alta tensión.

La subestación de la margen derecha, a cielo abierto, está ubicada dentro del predio de Itaipú, a 2,5 km de la Casa de máquinas. Recibe la energía generada por las unidades de 50 Hz y la distribuye al sistema eléctrico del Paraguay y a la Estación convertidora de Electrobras / Furnas. La subestación consta de un parque de 500 kV, uno de 220 kV y otro de 66 kV.



10.- MEDIO AMBIENTE

Desde el comienzo de la construcción de la Central hidroeléctrica,

Itaipú desarrolló en forma paralela un programa de conservación medioambiental de tal forma que su implantación redundara en un desarrollo positivo para la promoción de la región

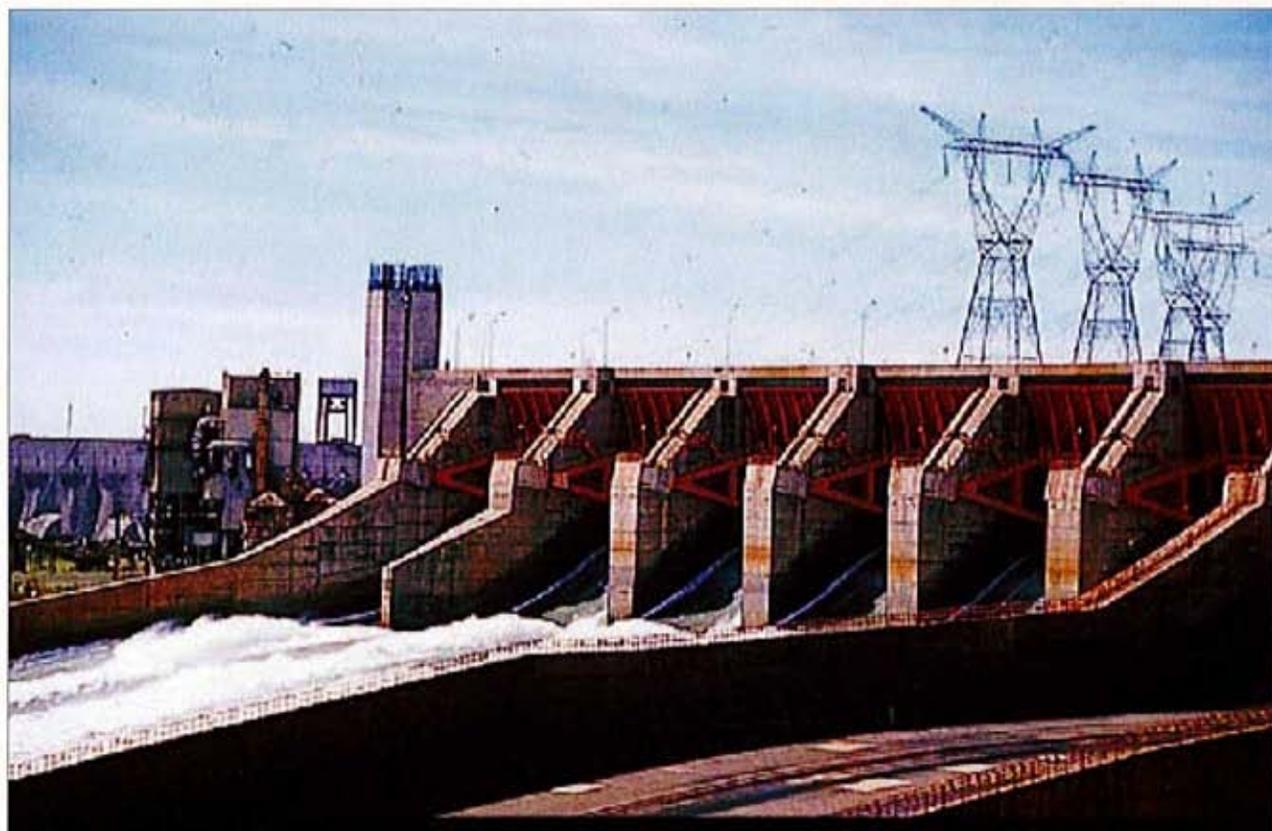
con efecto en las nuevas condiciones a las que se verían sometidas tanto la fauna como la flora.

Se alcanzaron muy buenos resultados (incluso mejorando las condiciones anteriores a la implantación)



Carpinchos - Zoológico de Itaipú

salvar
especies que
se
encontraban
en evidentes
vías de
extinción



además de salvar especies que se encontraban en evidentes vías de extinción como, por citar un ejemplo, los carpinchos, de piel universalmente muy solicitada

10.1.-Arqueología

También se realizaron los inventarios arqueológicos habituales de todas las superficies anegadas en ambas márgenes del Paraná, donde se encontraron vestigios de pueblos que vivieron hace más de 8.000 años.

Se clasificaron más de dos toneladas de material excavado, cerámico y precerámico, encontrado tanto en las



Madera de especies nativas

márgenes paraguayos como en las brasileñas. Los estudios históricos y socio-culturales (con mayor relevancia en la margen derecha) aportaron datos étnicos históricos de la época de los jesuitas, de las evoluciones culturales y, finalmente, de las migraciones que se produjeron dejando profundas huellas en esta región.

10.2.-Paisajismo

Se realizó un intenso trabajo de adaptación paisajística en toda la zona de influencia de la central, para lo cual se plantaron miles de árboles de especies autóctonas. De esta forma se logró integrar la central de una forma armónica con el rico y variado paisaje circundante.

10.3.-Navegación

La formación del embalse convirtió en riberas a zonas antes muy distantes del curso de cualquier río; además, eliminó el desnivel en la región de Salto del Guairá creando condiciones nuevas y favorables para la implantación de una excelente hidrovia de carácter internacional, en beneficio del Paraguay y Brasil. Las esclusas permiten

navegar hasta las cercanías del Gran São Paulo, a más de 1.300 km.

La conexión de dicha hidrovia con los puntos de comunicaciones terrestres, carreteras y ferrocarriles, existentes y proyectados en ambas márgenes, tiene una importancia fundamental para la economía regional.

10.4.-Recreo y Turismo

El cambio del paisaje del Paraná (que anteriormente discurría por un profundo lecho rocoso con aguas caudalosas y peligrosas) en la superficie tranquila de un lago artificial, ofreció condiciones para la implantación de numerosas instalaciones hoteleras, de recreo complementarias tales como clubes, playas artificiales, atracaderos, instalaciones para deportes náuticos, parques, etc.

11.-BIBLIOGRAFÍA

- *Emprendimiento Itaipú*. Río de Janeiro.1990.

- *Itaipú Binacional*. Editorial Farolito. 1991. ■