

BRASIL



PARAGUAY

CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE ITAIPU

RESUMEN DE CANTIDADES, DIMENSIONES Y DATOS TÉCNICOS

PRINCIPALES DEL PROYECTO ITAIPU

5	Actualización a la situación de mayo/21	Dimilson/Miltonga/Jrsilva	05/05/21
4	Actualización a la situación de enero/19	miltonga/elifinco	12/02/19
3	Actualización a la situación de marzo/17	miltonga/elifinco	03/04/17
2	Actualización a la situación de marzo/15	pedrovil/afonseca	09/03/15
1	Actualización a la situación de julio/08	MLP/CPN/SMA	01/08/08
Nº	DESCRIPCIONES	APROB.	FECHA
REVISIONES			
Elab.: ASF / MLP 19 / 2 / 99		Visto: IB 19 / 2 / 99	
Verif.: JG / ASF 19 / 2 / 99		Aprob.: OV 19 / 2 / 99	
EN.DT - Superintendencia de Ingeniería ENC.DT - Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura ENCC.DT - División de Ingeniería Civil y Arquitectura			
DIRECCIÓN TÉCNICA		1314 . 50 . 15200 - E	R5

**RESUMEN DE CANTIDADES, DIMENSIONES Y DATOS TÉCNICOS
PRINCIPALES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE ITAIPU**

Cantidad de Páginas de este Documento

Carátula y Contratapa	02
Índice	02
Informe	33

Total de Páginas.....	37
-----------------------	----

Nota: Este Informe cancela y substituye al de nº 1314.50.0001.P.

RESUMEN DE CANTIDADES, DIMENSIONES Y DATOS TÉCNICOS
PRINCIPALES DEL PROYECTO ITAIPU

ÍNDICE

1	RESUMEN TÉCNICO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE ITAIPU	1
1.1	UBICACIÓN	1
1.2	CUENCA DEL RÍO PARANÁ - HIDROLOGÍA.....	1
1.3	GEOLOGÍA DE LAS FUNDACIONES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	2
1.4	OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	3
2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
2.1	CONCEPTOS GENERALES.....	3
2.2	DESVÍO DEL RÍO.....	4
2.3	PRESA PRINCIPAL (TRAMO F).....	5
2.4	PRESAS LATERALES.....	6
2.5	VERTEDERO (TRAMO A)	7
2.6	PRESAS DE TIERRA Y DE ENROCADO.....	8
2.7	TOMAS DE AGUA	9
2.8	CASA DE MÁQUINAS	10
2.9	NAVEGACIÓN	14
2.10	OTROS BENEFICIOS Y ASPECTOS ECOLÓGICOS.....	14
3	LONGITUD DE LAS PRESAS Y CASA DE MÁQUINAS DE ITAIPU	16
4	RESUMEN ESTADÍSTICO	17
4.1	RÍO PARANÁ.....	17
4.2	DATOS METEOROLÓGICOS.....	17
4.3	EMBALSE	17
4.4	CANAL DE FUGA	18
4.5	SALTO.....	18
4.6	CAPACIDAD DE GENERACIÓN	18
4.7	CANAL DE DESVÍO.....	18
4.8	ATAGUÍAS PRINCIPALES	19
4.9	DIQUE DE HERNANDARIAS	19
4.10	PRESA DE TIERRA DERECHA.....	19
4.11	VERTEDERO	19

4.12	PRESA LATERAL DERECHA (TRAMO D)	20
4.13	PRESA PRINCIPAL (TRECHOS E, F E I)	20
4.14	ESTRUCTURA DE DESVÍO (TRECHO H).....	20
4.15	TOMAS DE AGUA DE LA PRESA PRINCIPAL Y ESTRUCTURA DE DESVÍO...	21
4.16	PRESA DE ENROCADO.....	21
4.17	PRESA DE TIERRA IZQUIERDA.....	22
4.18	CASA DE MÁQUINAS (INCLUSIVE ÁREAS DE MONTAJE Y CANAL DE FUGA) 22	
4.19	TURBINAS	23
4.20	GENERADORES.....	23
4.21	TRANSFORMADORES PRINCIPALES DE LOS GENERADORES	24
4.22	TRANSFORMADORES PRINCIPALES DE LOS SERVICIOS AUXILIARES	24
4.23	EQUIPOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS AUXILIARES DE LA CASA DE MÁQUINAS Y ÁREAS DE MONTAJE.....	25
4.24	EQUIPOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS AUXILIARES DE LA CASA DE MÁQUINAS Y ÁREAS DE MONTAJE.....	27
4.25	EQUIPOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS AUXILIARES DE LA ESTRUCTURA DE DESVÍO, VERTEDERO Y PRESA PRINCIPAL	29
4.26	EQUIPOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS AUXILIARES DE LAS PRESAS Y VERTEDERO	30
4.27	SUBESTACIÓN DE LA CASA DE MÁQUINAS.....	30
4.28	SUBESTACIÓN DE LA MARGEN DERECHA	31
4.29	INTERCONEXIONES AÉREAS EN 500 KV	34
4.30	INTERCONEXIONES AÉREAS EN 220 KV	34
4.31	INTERCONEXIÓN AÉREA EN 66 KV.....	34
4.32	INTERCONEXIÓN SUBTERRÁNEA EN 66 KV.....	35

RESUMEN DE CANTIDADES, DIMENSIONES Y DATOS TÉCNICOS

PRINCIPALES DEL PROYECTO ITAIPU

1 RESUMEN TÉCNICO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE ITAIPU

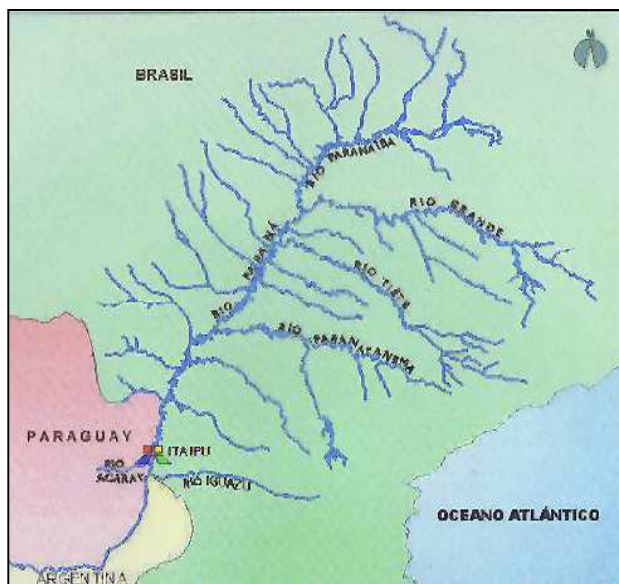
Para información más detallada, consultar el documento 1999.50.0001.P.R0 "Informe Final del Proyecto".

1.1 Ubicación

Las obras principales de la Central Hidroeléctrica de ITAIPU están situadas sobre el Río Paraná, entre el Paraguay y el Brasil, 14 km al norte (aguas arriba) del Puente Internacional de la Amistad que une los centros urbanos de Ciudad del Este y Foz do Iguaçu.

El área de la Central de ITAIPU se extiende desde Salto del Guairá / Guaira (al norte) hasta Ciudad del Este/Foz do Iguaçu (al sur) y en este trecho, el terreno que bordea las márgenes del río se encuentra aproximadamente a 200 m sobre el nivel del mar, con altitudes ligeramente superiores en el lado paraguayo.

1.2 Cuenca del Río Paraná - Hidrología

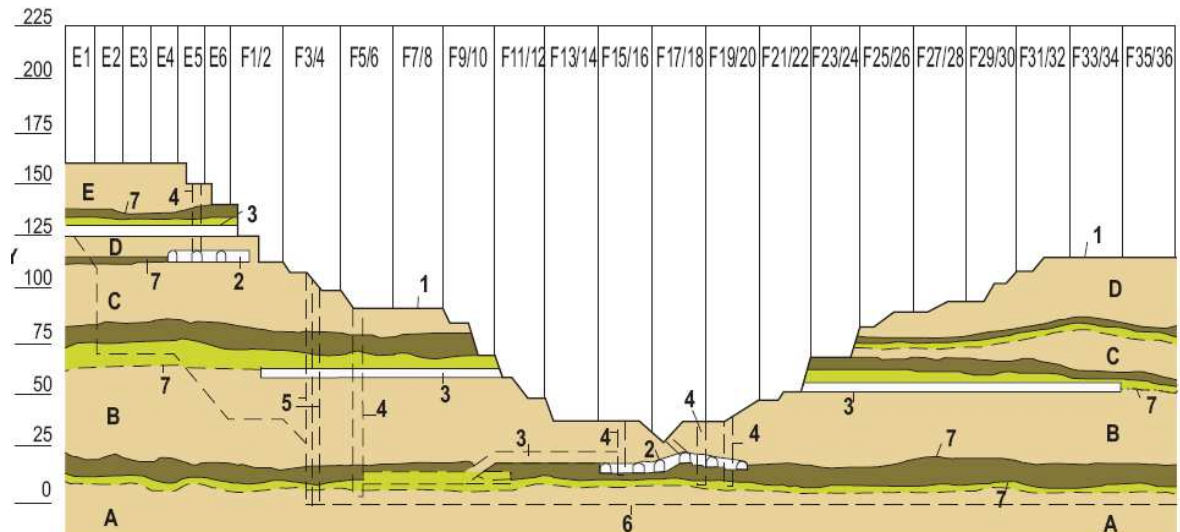


El Río Paraná posee una extensión total de 4.300 km (incluidos el Río Paranaíba y el Río Grande) y su cuenca global abarca un área de 3.000.000 km². Debido a su caudal y a las dimensiones de su cuenca, este río, incluyendo sus afluentes, es considerado uno de los siete mayores del mundo.

El área de la cuenca de drenaje del embalse de ITAIPU es de 820.000 km² y la descarga media anual desde enero de 1931 a diciembre de 1994, para el local de la presa, fue calculada en 9.736 m³/s.

En el Área de la Represa, desde el sitio de la presa hasta 190 km aguas arriba, el Río Paraná se orienta en dirección aproximada Norte-Sur, presentando en este trecho un desnivel de aproximadamente 120 m. La profundidad del río en el tramo del Área de la Represa varía entre 20 y 60 m.

1.3 Geología de las Fundaciones y Materiales de Construcción



GEOLOGÍA DE LA FUNDACIÓN DE LA PRESA PRINCIPAL – SECCIÓN LONGITUDINAL

- | | | |
|--------------------------------------|---|--------------------------------|
| Y - Elevación (m) | 6 - Límite de la Cortina de Inyección | Basalto Denso |
| 1 - Perfil de Excavación | 7 - Discontinuidades | Brecha |
| 2 - Chavetas | E1...E6 - Presa de Contrafuertes Derecha | Basalto vesicular amigdaloidal |
| 3 - Túneles de Exploración | F1/2...F35/36 - Bloques de la Presa Principal | |
| 4 - Pozos de Prospección | A, B...E - Derrames Basálticos | |
| 5 - Cortina de Inyección Transversal | | |

Las estructuras de hormigón del proyecto están asentadas sobre roca basáltica, predominando el basalto denso intercalado por camadas de basalto vesicular amigdaloidal y brecha. El basalto denso, normalmente se presenta como un material macizo y poco permeable. El basalto vesicular-amigdaloidal es menos resistente, más deformable y menos fracturado que el denso, presentando, de modo general, cualidades satisfactorias para fundaciones. Tratamiento especial también fue otorgado a los horizontes menos favorables desde el punto de vista de resistencia y estanqueidad, tales como discontinuidades litológicas y fajas muy fragmentadas en el basalto denso.

En el lecho del río, el material aluvial (constituido por arena y pedregullo) alcanzó en algunos lugares, espesores del orden de 20 m; este material fue completamente retirado del área de las estructuras, hasta alcanzar la superficie de roca sana.

El basalto denso proveniente de las excavaciones fue utilizado como agregado del hormigón, mientras que el suelo residual arcilloso de las márgenes del río constituyó el material predominante en la construcción de los núcleos de arcilla de la Presa de Enrocado, de las Ataguías Principales y de las Presas de Tierra.

Debido a la escasa existencia de pedregullo en el área de las obras y a la granulometría fina de la arena disponible para su utilización como agregado fino en el hormigón, fue necesario agregar arena artificial proveniente del basalto denso triturado en la proporción de 70%, para corrección de la granulometría.

En la determinación de los parámetros geológicos y geotécnicos del local del proyecto, durante la fase de estudio fueron realizadas prospecciones geológicas,

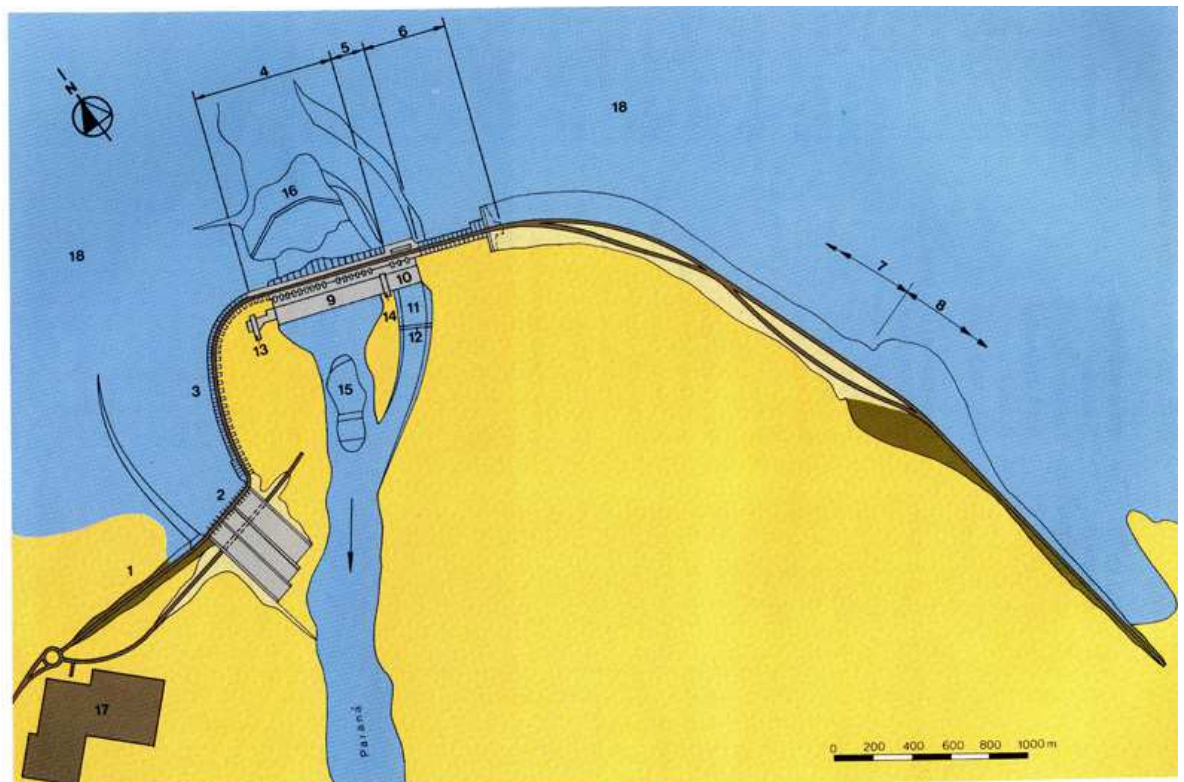
geofísicas y geomecánicas, aparte de correlaciones con los datos existentes referentes a la Central de Acaray, en la margen paraguaya. Tales relevamientos fueron realizados por medio de perforaciones de sondaje y abertura de trincheras, pozos y galerías.

1.4 Otros Materiales de Construcción

En adición a los materiales existentes en el área, fueron empleados otros materiales de construcción producidos en los dos países. Entre dichos materiales, los más importantes en virtud de las cantidades utilizadas son: cementos y productos puzolánicos, armaduras de acero, acero estructural y madera de construcción.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Conceptos Generales



DISPOSICIÓN GENERAL DEL PROYECTO

- | | | | | |
|---|--|--|---|-------------------------------------|
| 1 Presa de tierra derecha | 4 Presa principal, bloques F (36) más presa de contrafuerte derecha, bloques E (6) | 7 Presa de escollera | 10 Casa de máquinas en el lecho del río, bloques U16 a U18A | 14 Área de montaje izquierda |
| 2 Vertedero, boques A (15) | 5 Estructura de desvío, bloques H (14) | 8 Presa de tierra derecha | 11 Canal de desvío | 15 Atagüa de aguas abajo |
| 3 Presa lateral derecha, bloques D (58) | 6 Presa de contrafuerte izquierda, bloques I (27) | 9 Casa de máquinas en el lecho del río, bloques U1 a U15 | 12 Puente de servicio | 16 Atagüa de aguas arriba |
| | | | 13 Área de montaje derecha | 17 Subestación de la margen derecha |
| | | | | 18 Embalse |

El Proyecto ITAIPU consiste de una serie de presas de diversos tipos que atraviesan el río Paraná y cuyo coronamiento se desarrolla en la El. 225.00. La Casa de Máquinas está localizada al pie de la Presa Principal, transversalmente al río. El Vertedero para descarga de los caudales excedentes, está localizado en la planicie de la margen derecha. Para la construcción de la Presa Principal y la Casa de Máquinas, fue necesario desviar el río, lo cual fue realizado por un Canal

de Desvío construido en la margen izquierda. La selección de los tipos de presas tuvo como objeto la utilización más económica de los materiales de construcción disponibles en el local conforme los requisitos de operación de las varias partes del proyecto.

La potencia nominal de la central es de 14.000 MW, producidos por 20 unidades generadoras que comprenden turbinas tipo Francis, de 715 MW, 10 generadores 50 Hz de 823,6 MVA y 10 generadores 60 Hz de 737 MVA.

Las unidades de 50 Hz alimentan el sistema eléctrico paraguayo en 500kV y 220 kV. Por algún tiempo habrá un exceso de potencia en 50 Hz, el cual será transmitido para el Brasil por medio del sistema de transmisión de c.c. ± 600 kV. Las unidades de 60 Hz alimentan el sistema brasileño de transmisión en c.a. mediante la transformación de 525 kV en 765 kV.

Se ha previsto que la central operará esencialmente como central de base, a pelo de agua, con nivel de agua del embalse mantenido prácticamente constante.

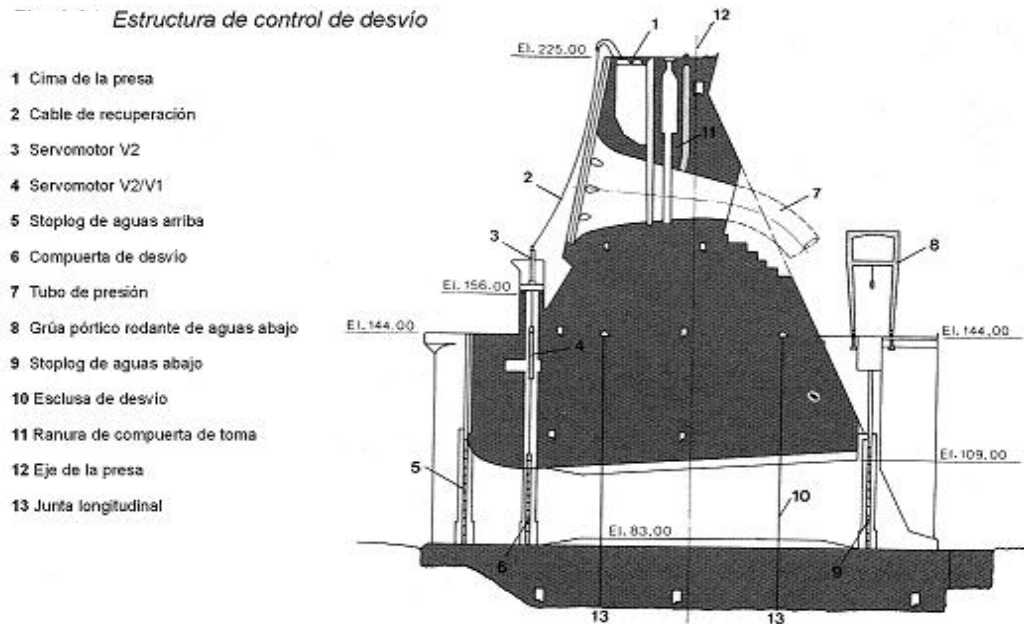
2.2 Desvío del Río



Durante la construcción de la Presa Principal y de la Casa de Máquinas en el lecho del río, el río Paraná fue desviado por un canal lateral en la margen izquierda con dimensiones aproximadas de 2.000 m de longitud, 150 m de ancho en el fondo y 90 m de profundidad máxima. Para abrir este canal fue necesaria una excavación de 22.500.000 m³ de roca y tierra, material cuya mayor parte fue utilizada en la construcción de la Presa de Enrocado y en la trituración de agregados para hormigón.

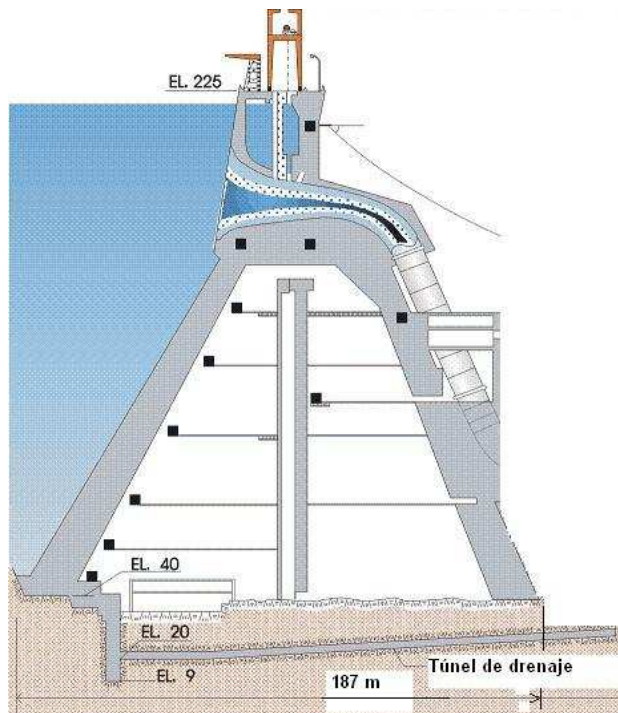
Para el Cierre del Canal de Desvío fue construida una estructura especial, tipo gravedad, en hormigón, con 12 esclusas, permitiendo una descarga máxima de 35.000 m³/s sin desbordar las ataguías en el canal del río. Esta Estructura de Desvío estuvo en operación durante 4 años, es decir, durante el período de construcción de la Presa Principal en el cauce del río, de la Casa de Máquinas y de otras obras relacionadas. El cierre del río fue realizado por 2 ataguías, de aproximadamente 90 m de altura, cada una de ellas constituida por dos diques de

enrocado y un núcleo de arcilla, construidas en el cauce del río para dejar expuesta el área de las fundaciones de la Presa Principal y de la Casa de Máquinas. En la ocasión del llenado del Embalse, las esclusas fueron cerradas



por compuertas y taponadas con hormigón. En el Canal de Desvío, inmediatamente aguas abajo de esta estructura, fue ejecutada la segunda etapa de la Casa de Máquinas, en la cual fueron instaladas 4 unidades generadoras.

2.3 Presa Principal (Tramo F)

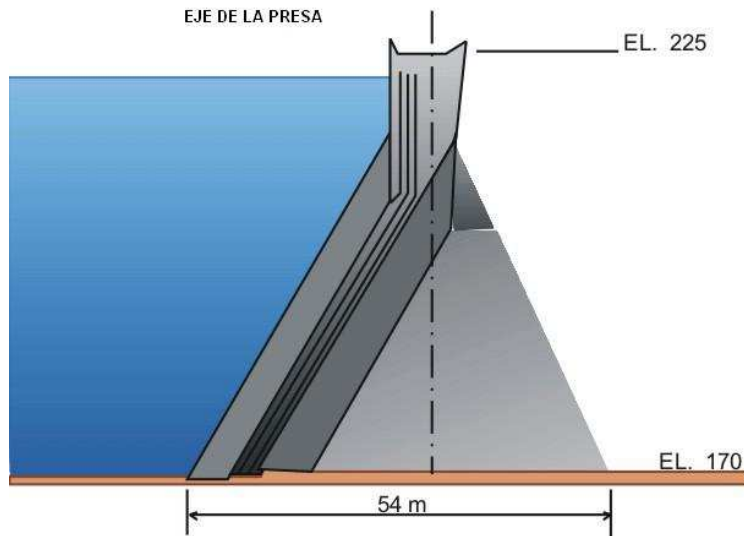


La Presa Principal está compuesta por los Bloques de Contrafuerte Derecho (E) y los Bloques de Gravedad Aligerada (F) y mide 714 m de longitud, con el coronamiento en la El. 225.00 y altura máxima de 196 m a partir del punto más bajo de la fundación. El volumen de hormigón cargado en estas estructuras fue del orden de $5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$. La presa está fundada sobre basalto sano.

Las fundaciones en roca recibieron tratamiento adecuado bajo la forma de chavetas, inyecciones de consolidación, cortinas de inyección y sistemas de drenaje.

2.4 Presas Laterales

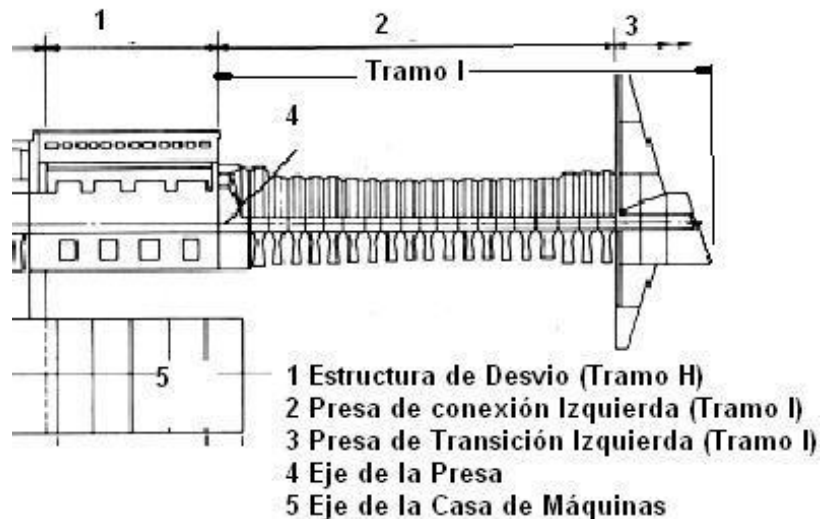
2.4.1 Derecha (Tramo D)



En la margen derecha, la Presa Principal está conectada al Vertedero por una presa lateral de hormigón del tipo de contrafuertes, con 986 m de longitud, cuyo trazado fue proyectado para orientar el flujo de agua hacia el Vertedero.

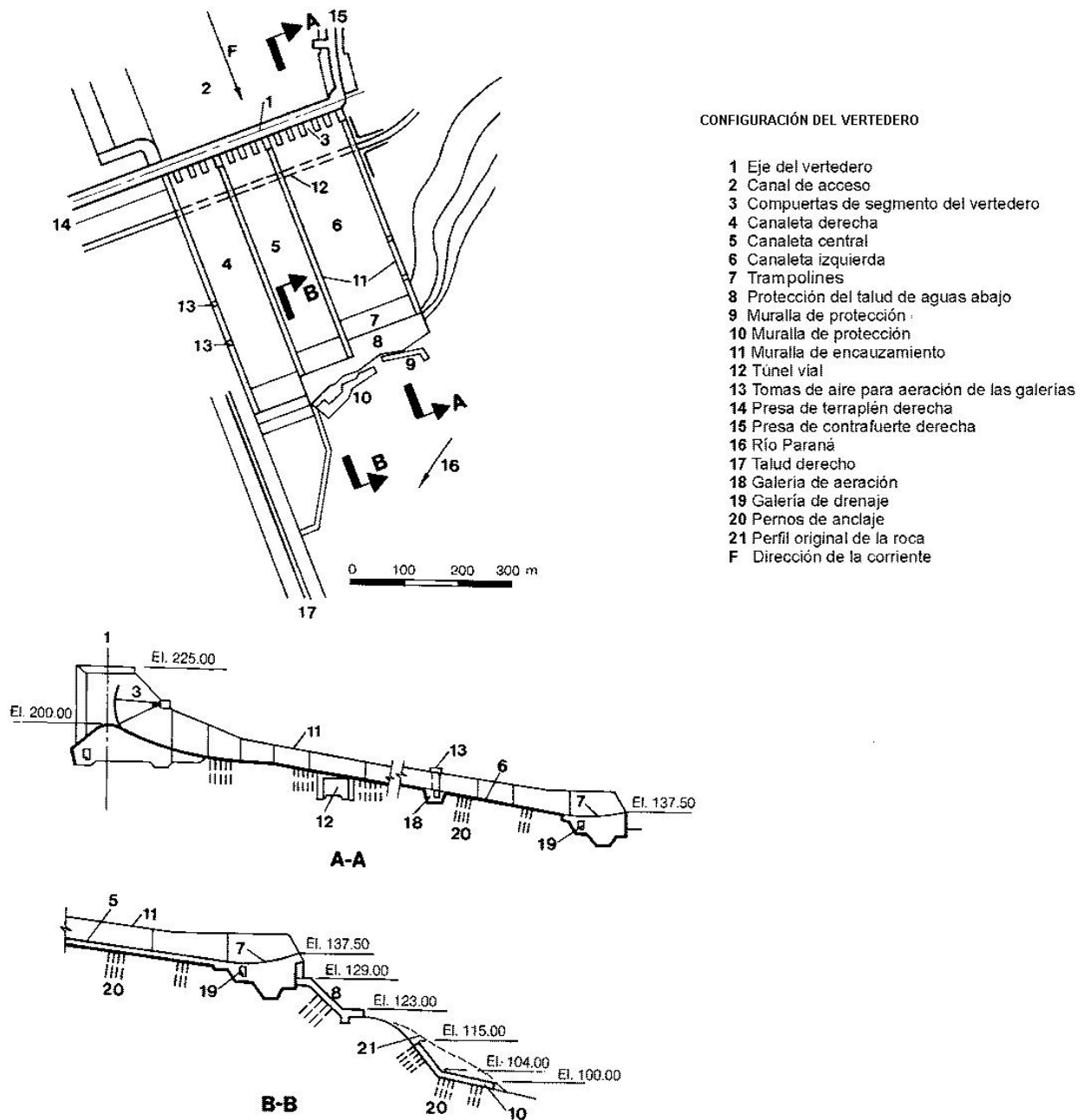
2.4.2 Izquierda (Tramo I)

En la margen izquierda una presa lateral de hormigón, también del tipo de contrafuertes, con 350 m de longitud realiza la conexión entre la Estructura de Desvío y la Presa de Enrocado.



2.5 Vertedero (Tramo A)

El Vertedero está ubicado en la margen derecha, aprovechando las condiciones topográficas favorables allí existentes. Comprende un canal de aproximación y las obras de control, canaletas y trampolines en hormigón. Incluyendo los pilares externos, las obras de control tienen 390 m de ancho con el coronamiento en la El. 200.00, e incorporan 14 compuertas de segmento de 20 m x 21 m. Para facilitar el mantenimiento, el Vertedero está dividido en 3 canaletas, separadas por muros divisorios. La capacidad máxima de descarga del Vertedero es de $62.200 \text{ m}^3/\text{s}$ con el embalse en la El. 223.10 (nivel máximo de creciente).



2.6 Presas de Tierra y de Enrocado

En la margen izquierda fue construida una Presa de Enrocado (PE), que está conectada a la Presa Principal y en el otro extremo a una Presa de Tierra (PTMI). Estas presas, con 4.278 m de longitud total, tienen el coronamiento en la El. 225.00. La altura máxima de la Presa de Enrocado es de 70 m. En el punto en que su altura alcanza aproximadamente 30 m, la presa del tipo enrocado se transforma en presa de tierra.



Barragem de Enrocamento

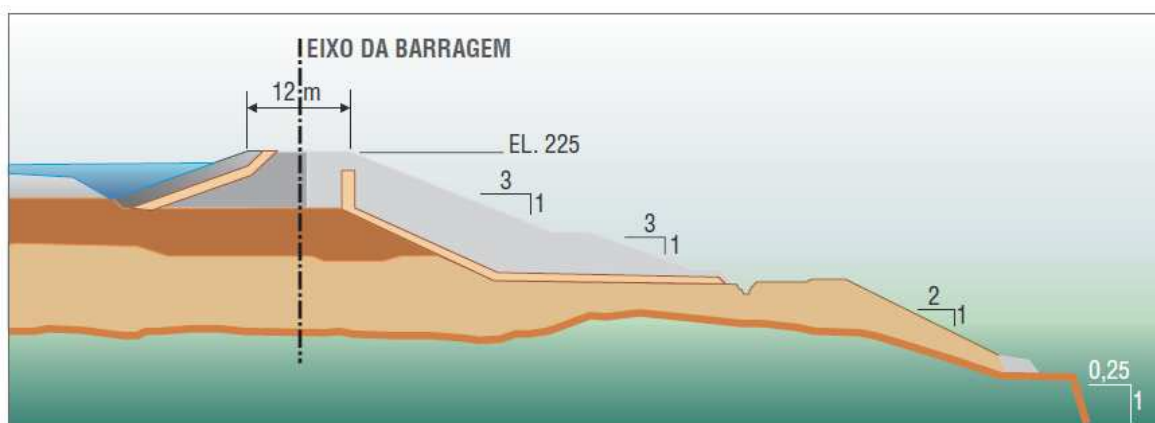
Comprimento da Crista (m)	1.984
Altura Máxima (m)	70
Volume Total (m³)	12,8 x 10 ⁶



Barragem de Terra da Margem Esquerda

Comprimento da Crista (m)	2.294
Altura Máxima (m)	30
Volume Total (m³)	4,4 x 10 ⁶

En la margen derecha, una presa de tierra con 872 m de longitud y una altura máxima de 25 m conecta el Vertedero al terreno natural. Obras de drenaje y un dique de tierra de cerca de 175 m de extensión y 51.000 m³ de volumen, dotado de válvula de retención del tipo "Flap-Gate", protege a la ciudad de Hernandarias.



Barragem de Terra da Margem Direita

Comprimento da Crista (m)

872

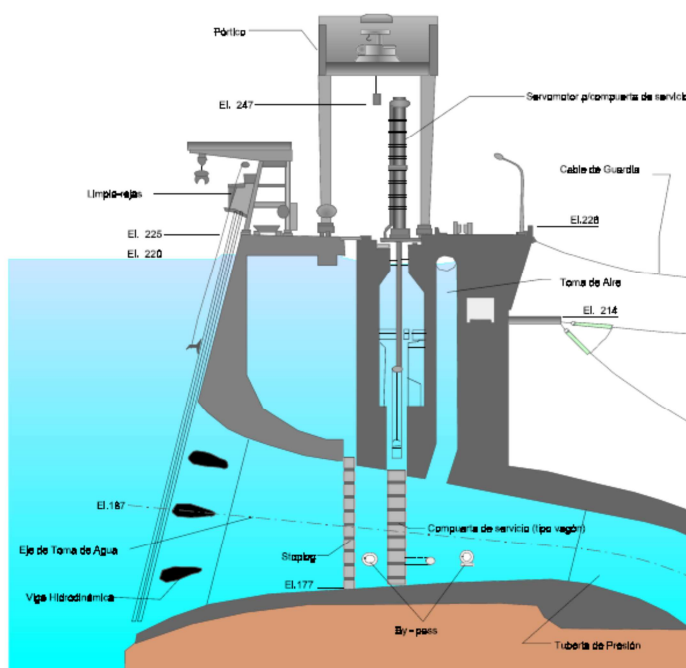
Altura Máxima (m)

25

Volume Total (m³)

0,4 x 10⁶

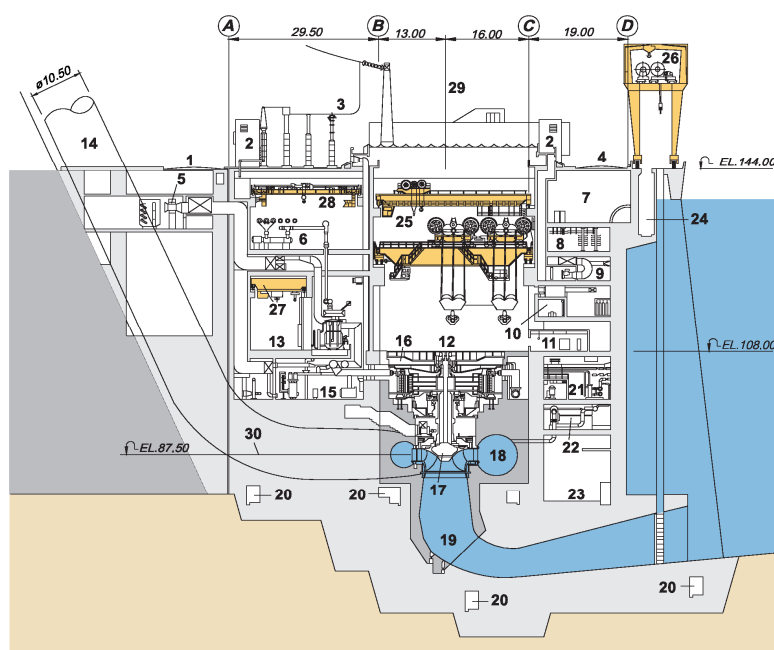
2.7 Tomas de Agua



Las Tomas de Agua para las 20 unidades generadoras están localizadas en la porción superior de la Presa Principal y de la Estructura de Desvío, siendo las mismas equipadas con rejas de protección. Estas tomas disponen de compuertas de servicio (tipo vagón) para cierres de emergencia, así como de ranuras para la colocación de “stoplogs” durante el mantenimiento del equipo. Las Tuberías de Presión, cuyos diámetros internos son de 10,50 m, tienen la parte intermedia fijada al paramento de aguas abajo de la Presa. La curva superior está envuelta por

hormigón y la parte inferior embutida en la Casa de Máquinas. Cada Tubería de Presión tiene cerca de 142 m de longitud total hasta su entrada a la Caja Espiral, y el espesor de su chapa varía de 30 a 65 mm.

2.8 Casa de Máquinas



CASA DE MÁQUINAS - SECCIÓN Y DISPOSICIÓN GENERAL

A, B, C, D - Ejes de Referencia

- 1 - Carretera de Aguas Arriba
- 2 - Ascensores
- 3 - Salida de Líneas
- 4 - Carretera de Aguas Abajo
- 5 - Galería de Ventilación de Aguas Arriba
- 6 - SF₆ - Subestación a Gas
- 7 - Galería de Equipos Eléctricos
- 8 - Galería de Cables
- 9 - Galería de Ventilación de Aguas Abajo
- 10 - Sala de Baterías

- 11 - Sala de Comando Local
- 12 - Hall de los Generadores
- 13 - Galería de los Transformadores Principales
- 14 - Tubería de Presión
- 15 - Galería de Equipos Eléctricos y de Excitación
- 16 - Generador
- 17 - Turbina
- 18 - Caja Espiral
- 19 - Tubo de Succión
- 20 - Galería de Drenaje

- 21 - Galería de Equipos Mecánicos y Eléctricos
- 22 - Galería de Auxiliares Mecánicos
- 23 - Galería Anti-Inundación
- 24 - Cámara de Almacenamiento
- 25 - Grúa Puente Rodante - 10 MN
- 26 - Grúa Pórtico, 1.4 MN
- 27 - Grúa Puente Rodante - 2.5 MN
- 28 - Grúa Puente Rodante - 100 kN
- 29 - Eje de las Unidades
- 30 - Eje de la Turbina

La Casa de Máquinas fue proyectada para la instalación de 20 unidades generadoras, distribuidas a intervalos de 34 m. Dieciseis de estas unidades están localizadas en el lecho del río, y las cuatro restantes en el Canal de Desvío.

Las dimensiones totales de la Casa de Máquinas, al pié de la presa, son las siguientes:

- ♦ Longitud total 968 m, incluyendo las 2 áreas de montaje
- ♦ Altura máxima, 112 m
- ♦ Ancho máximo, 99 m

La cobertura de la Casa de Máquinas se encuentra en la El. 144.00 y el piso de los generadores en la El. 108.00.

Las unidades de 50 Hz están instaladas en la margen derecha de la Casa de Máquinas, y las de 60 Hz en la margen izquierda, de las cuales tres están en la Estructura de Desvío.

Como ITAIPU fue proyectada para ser operada como central a pelo de agua, el nivel del embalse es mantenido prácticamente constante en torno de la cota 220.00 m.

El nivel de aguas abajo, sin embargo, es función de la propia descarga total de ITAIPU y de la afluencia del Río Iguaçu (afluente del Río Paraná).

De los datos hidrológicos y las curvas de permanencia del nivel de aguas abajo resultaron los saltos específicos de la turbina.

Condición	Niveles de Agua (m)		Pérdida (m)	Salto Líquido (m)	Potencia (MW) en eje de la turbina	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo			Contractual	Final
Máxima Excepcional	220	92	1,3	126,7	740	800
Máxima Normal	220	96,6	1,6	121,8	740	800
Proyecto	220	100	1,6	118,4	715	780
Mínima Normal	219,4	106,1	1,5	111,8	640	640
Mínima Excepcional	222	138	1,1	82,9	-	-

La tercera columna representa la pérdida de carga desde la toma de agua hasta el tubo de succión.

Como resultado de negociaciones posteriores con el consorcio encargado del suministro de las unidades generadoras, se obtuvo una extensión de la faja de sobrecargas admisibles, conforme indicado en la última columna del cuadro precedente.

Las turbinas fueron especificadas como sigue:

Tipo	-	Francis
Potencia nominal	-	715 MW
Salto nominal	-	112,9 m
Velocidad de proyecto	-	91,6 rpm

En función de la diversidad de frecuencias de generación en el Paraguay y en el Brasil, las velocidades reales de rotación de las turbinas son de 90,9 y 92,3 rpm, respectivamente, para los sectores de 50 y de 60 Hz.

A pesar de que la faja de operación normal de una turbina Francis de este porte está por encima del 60% de la abertura normal del distribuidor, las tres primeras unidades de 50 Hz son capaces de funcionar, adicionalmente, en la faja del 10 al 30%, para poder atender las características propias del sistema paraguayo.

Considerando los modos de operación de la Central de ITAIPU y utilizando las curvas de colina (Hill curves) de turbinas con velocidades específicas iguales a las de ITAIPU, fueron especificados los siguientes valores de proyecto para el rendimiento:

Salto Líquido (m)	Potencia (MW)	%	Potencia (MW)
118,4	715	≥ 92,5	Rendimiento Máx.
118,4	≥ 610	≥ 94,5	

Fue especificado también un rendimiento ponderado no inferior al 93,8%.

Los ensayos realizados en el prototipo mostraron que los resultados obtenidos fueron superiores a los previstos en el modelo y garantizados por el fabricante.

Los ensayos de modelo de turbina fueron realizados de acuerdo con las normas IEC 193/1965 y 193A/1972, durante el período de abril/mayo de 1979 en el Instituto Federal de Tecnología de Lausanne, Suiza. El generador, turbina, ejes, cojinetes y soportes deben ser tratados como un sistema integrado.

En el caso de ITAIPU el conjunto fue incluido en una licitación única, de modo que la responsabilidad por la coordinación del suministro no fuese dividida. Fueron establecidas restricciones bastante severas con respecto a la amplitud y la frecuencia de las vibraciones.

Tomando en consideración la relación entre velocidad de rotación y número de polos, fueron determinados, respectivamente, 78 y 66 para el número de polos de las unidades de 50 y 60 Hz.

Las diferencias en las características de las unidades de 50 y 60 Hz se deben al hecho de que las mismas suplen sistemas de energía eléctrica distintos entre Paraguay y Brasil. Para facilitar el proyecto y la construcción civil, los pozos de alojamiento son idénticos.

Uno de los factores para la determinación de la potencia máxima de las unidades fue la temperatura máxima de operación, debido a que, en máquinas de gran tamaño, la magnitud de los flujos térmicos relativos es el factor restrictivo predominante. Por esta razón, y llevando en cuenta la clase de aislamiento de las bobinas (clase F), fue considerado que debería ser especificada una temperatura máxima operativa para las partes, la cual no podría ser excedida bajo ninguna condición de carga.

Fue especificada el agua desmineralizada como medio de enfriamiento de las bobinas estáticas. De este modo, con la remoción directa del calor se procura equilibrar la distribución del calentamiento, reducir las diferencias de temperatura entre el punto más caliente ("hot spot") y las temperaturas medias de los conductores, minimizando los desplazamientos relativos entre conductores y armadura (núcleo) del estator.

Como control adicional, la medición de la temperatura de salida del agua en los conductores se tornó una referencia para el monitoreo del sistema de enfriamiento del bobinado estático.

El rotor posee enfriamiento convencional radial por aire. El enfriamiento por agua fue descartado no sólo por la complicación técnica adicional, sino también por la disminución de la inercia que iría resultar de esta solución.

Gracias a los sistemas de enfriamiento adoptados, pudo ser especificado un rendimiento del 98,6% para los generadores.

Las temperaturas de proyecto son las siguientes:

Bobinado del estator, calculado	- 90° C
Agua desmineralizada de enfriamiento en la salida (media por RTD)	- 75° C
Núcleo del estator (máxima en cualquier punto incluyendo los dientes, calculado)	- 100° C
Agua bruta de enfriamiento (entrada a los intercambiadores)	- 30° C

En el caso de falla de circulación del agua de enfriamiento del estator, la unidad es retirada de operación.

Cada generador es directamente conectado a un banco de transformadores de 18- 525 kV, cada uno de los cuales consiste de tres unidades monofásicas. Cada banco para los generadores de 50 y 60 Hz tiene potencia de 825 MVA y 768 MVA, respectivamente. Los transformadores son enfriados por agua con circulación forzada del líquido aislante.

Las salidas de los transformadores alimentan barras y equipos de maniobra de 525 kV aislados por gas SF₆, instalados en la galería encima de los transformadores en el lado de aguas arriba de la Casa de Máquinas.

Toda la potencia generada por la central es transmitida por ocho líneas aéreas de 525 kV, cuatro de las cuales en 50 Hz, para la subestación de la margen derecha, y cuatro en 60 Hz, para la subestación de FURNAS en la margen izquierda, donde la tensión es elevada hasta 765 kV para el sistema de transmisión en c.a. en Brasil. La subestación de la margen derecha alimenta el sistema paraguayo en 220 kV y 525 kV y permite la utilización de cualquier excedente de esta potencia para suplir el sistema brasileño de transmisión en c.c.

Dos niveles básicos fueron previstos para el control de las unidades: control local y control centralizado. Los tableros de control local están instalados en salas propias, cada una de ellas controlando dos unidades generadoras.

El control centralizado es del tipo convencional analógico, situado en la sala de control central, instalada en el interior de la Casa de Máquinas en su parte central, desde la cual también son controladas las compuertas del Vertedero y de las Tomas de Agua.

El control local sirve como sistema de retaguardia para el sistema de control centralizado y sirvió también para los ensayos y la operación inicial de las unidades.

Un sistema digital (SCADA) fue adquirido como sistema de control principal, con el objetivo de recopilar, procesar y registrar los datos y mejorar las interfaces entre el operador y los equipos. Después de la implantación del SCADA el control centralizado de la CHI fue mantenido como sistema de retaguardia.

Las fuentes principales para los servicios auxiliares son derivadas de las barras de 525 kV en SF₆ por medio de dos transformadores auxiliares de 525 - 13,8 kV, uno en 50 Hz y el otro en 60 Hz. Fuentes adicionales de alimentación de los servicios auxiliares están constituidos por dos transformadores de apoyo 66 - 13,8 kV, uno (50 Hz) alimentado por un cable aislado en aceite proveniente de la subestación de la margen derecha, y el otro (60 Hz) alimentado por una línea aérea 66 kV de la COPEL.

Aparte de las fuentes normales, principales y adicionales, la Central dispone de fuentes de emergencia provenientes de 4 grupos generadores diesel de emergencia, siendo 2 para los servicios auxiliares de 50 Hz y 2 para los servicios auxiliares de 60 Hz.

A fin de facilitar el montaje simultáneo de unidades en las 2 márgenes, fueron previstas 2 áreas de montaje de equipos - una en el lado derecho de la Casa de Máquinas y otra en la divisoria del río con el canal. La sala de control central está instalada en el interior de la Casa de Máquinas, en su parte central.

La descarga de los equipos en la cota de acceso El. 144 y su transferencia para las áreas de montaje es realizada por medio de 4 puentes grúa rodantes de 2,5 MN, de los cuales 2 están en el Edificio de descarga Derecho y 2 en el Edificio de Descarga Central. Para el montaje de los equipos principales, fueron previstos 4 puentes grúa rodantes de 10 MN cada uno, 2 puentes grúa rodantes de 2,5 MN y 2 puentes grúa rodantes de 1 MN cada uno. Dos de los puentes grúa rodantes de 10 MN cada uno, trabajando en conjunto, fueron usados para trasladar, como una unidad, los rotores de los generadores. Los puentes grúa rodantes de 2,5 MN y de 1 MN fueron utilizados para el montaje y el traslado de equipos diversos.

2.9 Navegación

Con respecto a las futuras instalaciones para la navegación, fueron estudiadas dos alternativas semejantes en cada margen. Estos estudios comprenden canales y esclusas destinados a permitir la transposición de la caída de 120 m de la presa de ITAIPU.

2.10 Otros Beneficios y Aspectos Ecológicos

Otros beneficios asociados a la construcción de ITAIPU se refieren al relativo control de crecientes, la significativa regularización de las descargas hacia aguas abajo, a la disponibilidad de agua para irrigación (a pesar de que en el Área del

Proyecto la relativa regularidad pluviométrica torna la irrigación en un ítem de menor importancia), al desarrollo de actividades de pesca, al incentivo al turismo y a la recreación e instalación de centros de desarrollo urbano y estaciones agrícolas.

Los asuntos vinculados al impacto ambiental resultante de las obras de ITAIPU recibieron debida consideración desde los primeros estudios. Fue elaborado un Plan Básico para la Conservación del Medio Ambiente, estableciendo directrices, estudios y proyectos y organizando un departamento especializado, creado con la finalidad de ejecutar las actividades relacionadas con los proyectos ecológicos y sociales.

3 LONGITUD DE LAS PRESAS Y CASA DE MÁQUINAS DE ITAIPU

Trecho	Presa	Longitud (m)	
		Parcial	Total Aproximado
R	DIQUE DE HERNANDARIAS - Obras de drenaje y pequeños terraplenes	-	175
Q	PRESA DE TIERRA DERECHA		872
A	VERTEDERO - Obras de Control • 13 bloques de 25 m	325,000	362
	- Bloque A1 de conexión con la presa de Tierra Derecha • 1 bloque de 29 m, de los cuales 10 m pertenecen al Trecho A y 19 están incluidos en el Trecho Q	10,000	
	- Bloque A15 de conexión con la PLD • 1 bloque de 35,54 m, de los cuales 27,382 pertenecen al Trecho A	27,382	
A / D	TRECHO DE CONEXIÓN - Del P1 de los ejes del Vertedero y de la Presa Lateral derecha hasta el inicio del Trecho D	11,536	12
D	PRESA LATERAL DERECHA - 42 bloques de ~17 m (radio del eje - 765 m)	714,007	986
	- 16 bloques de ~17 m (radio del eje - 247 m)	272,054	
E	PRESA PRINCIPAL - Conexión Derecha - 6 bloques de 17 m	102	102
F	PRESA PRINCIPAL - 16 bloques dobles con toma de agua de 34 m	544,000	612
	- 2 bloques dobles con conexión central de 34 m	68,000	
H	ESTRUCTURA DE DESVÍO - 1 bloque de 9,90 m	9,900	170
	- 4 bloques con toma de agua de 24,60 m	98,400	
	- 5 bloques de 12.30 m	61,500	
I	PRESA PRINCIPAL - Conexión Izquierda - 1 bloque de encuentro	26,900	350
	- 19 bloques de 17,00 m	323,000	
	- 7 bloques de enlace (embutidos en la Presa de Enrocado)	67,900	
K (parte)	PRESA DE ENROCADO (Incluyendo los 7 bloques de enlace de hormigón)	1984,07	1984
K (parte)	PRESA DE TIERRA IZQUIERDA - Transición	305	2294
L	- Presa de Tierra Izquierda	1989,33	
TOTAL = = = = = > > >			7.919

CASA DE MÁQUINAS	Longitud (m)	
	Parcial	Total Aproximado
ÁREA DE MONTAJE DERECHA - 1 bloque de 53,70 m - 2 bloques de 31,40 m - 1 bloque de 34,00 m	53,700 62,800 34,000	151
CASA DE MÁQUINAS - LECHO DEL RÍO - 15 bloques de 34 m (con equipo) - 1 bloques de 34 m (sin equipo)	510,000 34,000	544
ÁREA DE MONTAJE CENTRAL - 1 bloque de 21,60 m - 1 bloque de 34,00 m - 1 bloque de 42,55 m	21,600 34,000 42,550	98
CASA DE MÁQUINAS - CANAL DE DESVÍO - 3 bloques de 34 m (con equipo) - 1 bloque de 34 m (sin equipo) - 1 bloque de encuentro	102,000 34,000 38,800	175
TOTAL = = = = = > > >		968

4 RESUMEN ESTADÍSTICO

4.1 Río Paraná

Área total de la cuenca 820.000 km²

Caudales registrados en Guairá (Años 1931 - 1994)

- ♦ Media en el período..... 9.736 m³/s
- ♦ Media Máxima Diaria (en 15/06/1983)..... 39.850 m³/s
- ♦ Media Mínima Diaria (19 - 20/10/1994) 3.075 m³/s

Creciente máxima probable afluente al Embalse..... 72.020 m³/s

4.2 Datos Meteorológicos

En la Cuenca del Río Paraná

- ♦ Precipitación media anual 1.400 mm
- ♦ Evaporación media anual 1.200 mm

En el Área del Proyecto

- ♦ Precipitación media anual 1.650 mm
- ♦ Evaporación media anual 1.000 mm
- ♦ Temperatura media anual 21° C
- ♦ Temperatura máxima 40° C
- ♦ Temperatura mínima -4° C

4.3 Embalse

♦ Nivel normal máximo	El. 220,30 m
♦ Nivel máximo de creciente	El. 223,10 m
♦ Nivel excepcional mínimo	El. 197,00 m
♦ Longitud.....	170 km
♦ Área con nivel normal máximo	1.350 km ²
♦ Área con nivel máximo de creciente.....	1.460 km ²
Siendo - en el Paraguay	625 km ²
- en el Brasil.....	835 km ²
- Capacidad Total (en la El. 220,00)	29 x 10 ⁹ m ³
- Capacidad de Acumulación Útil.....	19 x 10 ⁹ m ³

4.4 Canal de Fuga

♦ Nivel normal.....	El. 100,00 m
♦ Nivel normal máximo	El. 106,10 m
♦ Nivel normal mínimo.....	El. 96,60 m
♦ Nivel máximo	(*) El. 138,00 m
♦ Nivel mínimo.....	El. 92,00 m

(*) Revaluación en función de las crecientes de 1982/1983, pasando para El. 142,15 (sin la CH Corpus) y la El. 143,55 (con la CH Corpus)

4.5 Salto

♦ Bruto máximo	128,0 m
♦ Bruto normal	120,0 m
♦ Bruto mínimo	84,0 m
♦ Líquido máximo	126,7 m
♦ Líquido normal.....	118,4 m
♦ Líquido mínimo.....	82,9 m

4.6 Capacidad de Generación

♦ Total instalada	14.000 MW
♦ Potencia firme.....	9.360 MW
♦ Energía firme anual	61.920 GWh
♦ Energía media anual	70.190 GWh

4.7 Canal de Desvío

♦ Capacidad de descarga.....	35.000 m ³ /s
♦ Excavación de roca en seco.....	18,4 x 10 ⁶ m ³
♦ Excavación en roca sumergida.....	0,9 x 10 ⁶ m ³
♦ Excavación de tierra	2,8 x 10 ⁶ m ³

4.8 Ataguías Principales

- ♦ Altura máxima..... 90 m
- ♦ Volumen $9,6 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.9 Dique de Hernandarias

- ♦ Adquisición de Terrenos..... 22 Ha
- ♦ Drenaje superficial..... 572 ml
- ♦ Terraplenes $50,8 \times 10^3 \text{ m}^3$

4.10 Presa de Tierra Derecha

- ♦ Longitud del coronamiento 872 m
- ♦ Cota del coronamiento 225 m
- ♦ Altura máxima..... 25 m
- ♦ Volumen total de terraplenes..... $0,4 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.11 Vertedero

- ♦ Capacidad de descarga máxima (El. 223,10 m)..... $62.200 \text{ m}^3/\text{s}$
- ♦ Longitud total (longitud de las obras de hormigón del coronamiento) 390 m
- ♦ Longitud total (canaleta + coronamiento) 483 m
- ♦ Excavación de roca $5,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ♦ Excavación de tierra $7,1 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ♦ Hormigón $0,8 \times 10^6 \text{ m}^3$

- ♦ Stoplogs 20,70 x 21,60 m
 - 2 juegos de 6 tableros cada uno
 - Peso total (estimado)..... 900 t
 - 14 juegos de piezas embutidas
 - Peso total (estimado)..... 350 t

- ♦ Compuertas de Segmento..... 20,00 x 21,34 m
 - Radio de la compuerta 20,00 m
 - 14 compuertas
 - Peso total (estimado)..... 4.200 t
 - 14 conjuntos de servomotor hidráulico
 - Capacidad unitaria..... 6.000 kN
 - Peso total (estimado)..... 980 t
 - 14 juegos de piezas embutidas
 - Peso total 321 t

- ♦ Grúa Pórtico
 - Número de unidades 1
 - Capacidad 785 kN
 - Peso total 100 t

4.12 Presa Lateral Derecha (Tramo D)

- ♦ Longitud del coronamiento 986 m
- ♦ Cota del coronamiento 225 m
- ♦ Altura máxima..... 64,50 m
- ♦ Excavación de roca $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ♦ Excavación de tierra $1,0 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ♦ Hormigón..... $0,8 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.13 Presa Principal (Trecos E, F e I)

- ♦ Longitud en el coronamiento 1.064 m
- ♦ Cota del coronamiento 225 m
- ♦ Cota mínima de la fundación 29 m
- ♦ Altura máxima..... 196 m
- ♦ Excavación de roca $2,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ♦ Excavación de tierra $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ♦ Hormigón..... $5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ♦ Ascensor de pasajeros
 - cantidad de unidades 5
 - capacidad unitaria (Nº de pasajeros)..... 20

4.14 Estructura de Desvío (Trecho H)

- ♦ • Longitud del coronamiento 170 m
- ♦ • Cota del coronamiento 225 m
- ♦ • Cota mínima de la fundación..... 63 m
- ♦ • Altura máxima 162 m
- ♦ • Hormigón..... $2,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ♦ • Esclusas de Desvío..... 12
 - Ancho 6,70 m
 - Altura 22,00 m
- ♦ • Stoplogs de Aguas Arriba..... $7,49 \times 29,79 \text{ m}$
 - 3 juegos de tableros - peso total 408 t
 - 12 juegos de piezas embutidas - peso total 1.200 t
- ♦ Compuertas Principales (tipo vagón)..... $8,23 \times 22,50 \text{ m}$
(Las dimensiones excluyen la altura de la viga de cabecera)
 - 12 compuertas - peso total 3.888 t
 - 12 juegos de piezas embutidas - peso total 1.900 t
 - 12 servomotores
 - capacidad unitaria 8.650 kN
 - peso total (estimado) 810 t
- ♦ Compuertas de Emergencia (Mantenimiento) $7,18 \times 26,00 \text{ m}$
 - 3 piezas móviles - peso total 243 t
- ♦ Stoplogs de Aguas Abajo $7,49 \times 31,98 \text{ m}$
 - 3 juegos de tableros - peso total 438 t
 - 12 juegos de piezas embutidas - peso total 1.250 t
- ♦ Ascensor de pasajeros

- cantidad de unidades 3
- capacidad unitaria (Nº de pasajeros)..... 14 y 17

4.15 Tomas de Agua de la Presa Principal y Estructura de Desvío

- ♦ Número de Unidades..... 20
- ♦ Tableros de rejillas por toma.....24 x 4,70 x 5,50 m
- ♦ 20 juegos de tableros de rejillas y 20 juegos de piezas embutidas
 - peso total (estimado) 6.320 t
- Grúa Limpia-Rejillas
 - número de unidades.....2
 - capacidad de la grúa200 kN
 - capacidad del balde.....2 m³
 - peso total..... 80 t
- ♦ Stoplogs (Reaprovechados de la Estructura de Desvío) 7,49 x 17,51 m
 - 8 juegos de tableros - peso total (aproximado) 640 t
 - 20 juegos de piezas embutidas - peso total (estimado)..... 300 t
- ♦ Compuertas de Servicio (tipo vagón) 8,23 x 16,35 m
(Las dimensiones excluyen la altura de la viga de cabecera)
 - 20 compuertas (14 reaprovechadas de la Estructura de Desvío)
 - peso total (aproximado) 4.400 t
 - 20 juegos de piezas embutidas - peso total (aproximado) 440 t
 - 18 servomotores
 - peso total (estimado) 980 t
 - capacidad unitaria8.650 kN
- ♦ Grúas de Pórtico Rodante
 - número de unidades.....2
 - capacidad unitaria 1.100 kN
 - peso total unitario (aproximado) 228 t
 - rieles de rodamiento (estimado) 160 t
- ♦ Tuberías de Presión
 - número de unidades..... 20
 - diámetro interno 10,5 m
 - longitud total..... 142,2 m
 - peso total (estimado)..... 40.860 t
 - suministrado por el fabricante de la tubería..... 26.100 t
 - suministrado por el fabricante de la turbina..... 14.760 t

4.16 Presa de Enrocado

- ♦ Longitud del coronamiento (incluyendo el enlace)..... 1.984 m
- ♦ Cota del coronamiento 225 m
- ♦ Altura máxima..... 70 m
- ♦ Excavación para las fundaciones5,1 x 10⁶ m³
- ♦ Arcilla compactada (inclusive bermas)2,1 x 10⁶ m³
- ♦ Filtros, transición y enrocado.....10,7 x 10⁶ m³
- ♦ Volumen total de terraplenes.....12,8 x 10⁶ m³

4.17 Presa de Tierra Izquierda

♦ Longitud del coronamiento	2.294 m
♦ Cota del coronamiento	225 m
♦ Altura máxima.....	30 m
♦ Arcilla compactada	$3,8 \times 10^6 \text{ m}^3$
♦ Otros materiales	$0,6 \times 10^6 \text{ m}^3$
♦ Volumen total de terraplenes.....	$4,4 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.18 Casa de Máquinas (inclusive áreas de montaje y canal de fuga)

♦ Número de unidades	20
- en el Río Paraná	16
- en el Canal de Desvío	4
♦ Longitud.....	968 m
♦ Ancho	99 m
♦ Altura	112 m
♦ Cota de la losa superior.....	144 m
♦ Cota del piso de los generadores	108 m
♦ Cota mínima de la fundación	32 m
♦ Distribución, espacio entre las unidades	34 m
♦ Excavación de roca	$4,3 \times 10^6 \text{ m}^3$
♦ Excavación de tierra	$1,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
♦ Hormigón.....	$3,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
♦ Puentes Grúa Rodantes Principales	
- número de unidades.....	4
- capacidad unitaria	10 MN
- peso unitario (aproximado)	565 t
- pista de rodamiento (estimado)	500 t
♦ Puentes Grúa Rodantes de Descarga y de Montaje	
- número de unidades.....	6
- capacidad unitaria	2,5 MN
- peso unitario (aproximado)	250 t
- pista de rodamiento (estimado)	15 t
♦ Puentes Grúa Rodantes Auxiliares	
- número de unidades.....	2
- capacidad unitaria	1,0 MN
- peso unitario (aproximado)	70 t
- pista de rodamiento (estimado)	155 t
♦ Puentes Grúa Rodantes p/ Descarga y Traslado de Transformadores	
- número de unidades.....	2
- capacidad unitaria	2,5 MN
- peso unitario (aproximado)	98 t
- pista de rodamiento (estimado)	220 t
♦ Puentes Grúa Rodantes para Equipos SF ₆	
- número de unidades.....	2
- capacidad unitaria	100 kN
- peso unitario (aproximado)	35 t
- pista de rodamiento (estimado)	110 t
♦ Ascensores de Carga (AMD e AMC)	

- número de unidades.....	2
- capacidad unitaria	30.000 daN
♦ Ascensores de Pasajeros	
- número de unidades.....	27
- capacidad unitaria (Nº de pasajeros).....	de 2 a 42
♦ Ascensores de Pasajeros (Laboratorio)	
- número de unidades.....	1
- capacidad unitaria (Nº de pasajeros).....	6
♦ Compuertas - Stoplogs del Tubo de Succión	10,50 x 11,00 m
- número de unidades.....	10
- peso total (estimado)	1.000 t
- piezas embutidas (para 20 unidades)	
- peso total (estimado)	1.800 t
♦ Grúa Pórtico Rodante del Tubo de Succión	
- número de unidades.....	3
- capacidad unitaria prevista	1,4 MN
- peso total unitario (aproximado)	240 t
- pista de rodamiento (estimado)	136 t

4.19 Turbinas

♦ Tipo	FRANCIS
♦ Potencia nominal unitaria	715 MW
♦ Potencia unitaria máxima (limitada por el generador)	740 MW
♦ Salto bruto de proyecto	120 m
♦ Salto líquido de proyecto	118,4 m
♦ Salto nominal.....	112,9 m
♦ Caudal nominal unitario	660 m ³ /s
♦ Diámetro de entrada de la caja espiral	9,64 m
♦ Diámetro del tubo de descarga.....	8,50 a 8,70 m
♦ Velocidad específica (referente al salto nominal)	246
♦ Velocidad de proyecto (50/60 Hz)	90,9/92,3 rpm
♦ Momento de inercia (GD ²)	12.000 tm ²
♦ Diámetro de las ruedas	8.647 mm
♦ Número de palas del distribuidor	24
♦ Pieza más pesada (rueda)	300 t
♦ Peso total de cada unidad (estimado)	3.300 t

4.20 Generadores

♦ Tipo - Umbrella modificado (DIN W42)	
♦ Número de unidades	
- 50 Hz	10
- 60 Hz	10
♦ Potencia nominal unitaria	
- 50 Hz	823,6 MVA
- 60 Hz	737,0 MVA
♦ Tensión nominal	18 ± 5% kV
♦ Momento de inercia (GD ²)	≥ 320.000 tm ²

- ♦ Tipo de aislamiento Clase F
- ♦ Máxima temperatura admitida (total) 100 °C
- ♦ Factor de potencia ($\cos \varnothing$)
 - 50 Hz 0,85
 - 60 Hz 0,95
- ♦ Componente más pesado para la instalación
 - 50 Hz 206,0 kN
 - 60 Hz 200,0 kN
- ♦ Peso total de cada unidad
 - 50 Hz 343,3 kN
 - 60 Hz 324,2 kN

4.21 Transformadores Principales de los Generadores

Con circulación forzada del líquido aislante y del agua de enfriamiento y con conmutación de derivación (sin tensión) $\pm 2 \times 2.5\%$.

- ♦ 10 bancos de 3 transformadores monofásicos + 2 de reserva 50 Hz, 18-525 / $\sqrt{3}$ kV, 825 MVA
- ♦ 10 bancos de 3 transformadores monofásicos + 2 de reserva 60 Hz, 18-525 / $\sqrt{3}$ kV, 768 MVA
- ♦ Peso total de cada unidad 214 t
- ♦ Temperatura máxima admitida (total)
 - media del bobinado y del aceite aislante 95 °C
 - máxima / punto caliente 110 °C
- ♦ Tensión de corto circuito en la tensión de 525 / $\sqrt{3}$ Kv 15 %
- ♦ Dimensiones (máxima, después de la instalación)
 - altura 7,645 m
 - longitud 7,0 m
 - ancho 6,440 m

4.22 Transformadores Principales de los Servicios Auxiliares

a) Transformadores Principales

Con enfriamiento ONAM y conmutación de derivación $\pm 2 \times 2,5\%$ (sin tensión)

- ♦ 1 banco de 3 transformadores monofásicos + 1 unidad de reserva instalada 50 Hz, 525-13,8 kV, 45 MVA
- ♦ 1 banco de 3 transformadores monofásicos + 1 unidad de reserva instalada 60 Hz, 525-13,8 kV, 45 MVA
- ♦ Tensión de Corto-Circuito a 75°C, base 45 MVA, 13,8 / $\sqrt{3}$ kV 12 %
- ♦ Dimensiones (máximas, después de la instalación)
 - altura 9,670 m
 - longitud 5,0 m
 - ancho 4,55 m
 - peso total de cada unidad 66 t

b) Transformadores de Apoyo

Transformador trifásico con enfriamiento ONAM-ONAF - ONAF y con conmutación de derivación (sin tensión) $\pm 2 \times 2,5\%$.

- ♦ 1 transformador trifásico 50 Hz 66-13,8kV - 23 / 34 / 45 MVA
- 1 transformador trifásico, 60 Hz 69-13,8kV - 18 / 24 / 30 MVA
- ♦ Tensión de corto circuito a 75°C - 45 MVA, 66 kV
 - entre primario e secundario apenas para el transformador de 50 Hz en la derivación de 66 kV 8 %
 - para transformador de 60 Hz 9 %

Dimensiones

- ♦ Altura 6,35 m
- ♦ Longitud 5,82 m
- ♦ Ancho 3,89 m
- ♦ Peso total 7,2 t

4.23 Equipos Principales de los Sistemas Eléctricos Auxiliares de la Casa de Máquinas y Áreas de Montaje

- ♦ Transformadores Reguladores (3 Ø)
 - número de unidades
 - 50 Hz 2
 - 60 Hz 2
 - potencia nominal 20 / 25 MVA
 - tensión primaria 13,8 kV
 - tensión secundaria 13,8 kV
 - faja de regulación + 12 % , - 20 %
 - tipo de enfriamiento LN / VF
 - tensión de corto circuito a 75°C, en la base de 20 MVA,
Tensión nominal de la derivación $\geq 3 \%$
- ♦ Transformadores Auxiliares (TM)
 - número de unidades
 - 50 Hz 15
 - 60 Hz 15
 - potencia nominal 1.000, 1.500 e 2.000 kVA
 - tensión superior 13,8 kV
 - tensión inferior 460 V
 - tipo de aislamiento seco
- ♦ Tablero de los servicios auxiliares (QA)
 - número de unidades
 - 50 Hz 1
 - 60 Hz 1
 - tensión nominal 13,8 kV

- ♦ Tablero de los servicios auxiliares (QP)
 - número de unidades
 - . 50 Hz..... 2
 - . 60 Hz..... 2
 - tensión nominal 13,8 kV

- ♦ Subestaciones Unitarias de Distribución 460 V (QF, QG, QI, QJ, QY, QM, QZ)
 - número de unidades
 - . 50 Hz..... 19
 - . 60 Hz..... 20
 - potencia nominal 300, 500, 1.000, 1.500, 2.000 kVA
 - relación de transformación de los transformadores..... 13,8 kV - 460 V
 - tensión nominal de los tableros 460 V

- ♦ Subestaciones Unitarias de Distribución 220 kV (c.c.)
 - número de unidades
 - . 50 Hz..... 2
 - . 60 Hz..... 2
 - potencia nominal 45, 225 kVA
 - relación de transformación de los transformadores..... 460 - 220 V

- ♦ Subestaciones Unitarias de Centros de Carga de Iluminación (CLF)
 - número de unidades
 - . 50 Hz..... 6
 - . 60 Hz..... 6
 - relación de transformación de los transformadores..... 460 V - 220 V
 - tensión nominal de los tableros 220 V

- ♦ Subestaciones Unitarias para Equipos de Informática (CLF)
 - número de unidades
 - . 50 Hz..... 1
 - . 60 Hz..... 1
 - potencia nominal 300 kVA
 - relación de transformación de los transformadores..... 460 - 220 V

- ♦ Grupos Generadores Diesel de Emergencia
 - número de unidades
 - . 50 Hz..... 2
 - . 60 Hz..... 2
 - potencia nominal 5,25 MVA
 - tensión de generación 6,9 kV
 - tipo de enfriamiento agua

- ♦ Tableros de Distribución de los Generadores de Emergencia (CS)
 - número de unidades
 - . 50 Hz..... 1
 - . 60 Hz..... 1
 - tensión nominal 13,8 kV

- ♦ Transformadores para los Generadores de Emergencia
 - número de unidades
 - . 50 Hz.....2
 - . 60 Hz.....2
 - potencia nominal 5 MVA
 - relación de transformación 6,9 - 13,8 kV
- ♦ Equipos de Corriente Continua
 - número de unidades..... 10
 - baterías de acumuladores
 - . capacidad.....700 Ah
 - . número de elementos, tensión nominal.....94, 125 V
 - tensiones nominales de los cargadores 460 V c.a. - 125 V c.c.
 - corriente nominal de los cargadores.....200 A
- ♦ Tableros de Distribución
 - tensión nominal 125 V c.c.

4.24 Equipos Principales de los Sistemas Mecánicos Auxiliares de la Casa de Máquinas y Áreas de Montaje

- ♦ Sistema de Ventilación

Equipos para sistema de ventilación mecánica para las galerías de aguas arriba, que incluyen enfriadores evaporativos, ventiladores, filtros, conductos y rejillas, y para las galerías de aguas abajo, que incluyen ventiladores, filtros, conductos y rejillas.

 - número de conjuntos 27
- ♦ Sistema de Aire Acondicionado

Equipos incluyendo sistema de agua helada con enfriadores de agua, acondicionadores de aire, filtros, conductos, difusores, resistencias, válvulas e instrumentos de control para acondicionar el hall principal, el auditorio y las salas de control, pronto socorro y de espera

 - número de conjuntos 1
- ♦ Sistema de Aceite Lubricante

Equipos incluyendo tanques de almacenamiento, purificadores de aceite, bombas, tuberías y accesorios

 - número de conjuntos 2
- ♦ Sistema de Aceite Aislante

Equipos incluyendo tanques de almacenamiento, purificadores de aceite, filtro-prensa, estufa para secado de papel-filtro, bombas de aceite, bomba de vacío, tuberías y accesorios

 - número de conjuntos 2
- ♦ Sistema de Protección contra Incendio

Equipos incluyendo sistemas automáticos de rociadores en los sectores administrativos para los transformadores principales y auxiliares, rociadores para salas de almacenamiento de aceite,

aislante, lubricante y combustible, red de detección y alarma, hidrantes de pared y de columna, extintores, puertas corta-fuego, detectores y alarmas, tuberías y accesorios.	
- número de conjuntos	20
♦ Sistema Conjugado Anti-Inundación y Drenaje del Agua de Enfriamiento de los Transformadores Principales	
Equipos incluyendo moto-bombas, CCM y tableros de control y red de tuberías y accesorios de la galería anti-inundación para acumulación de agua proveniente del enfriamiento de los transformadores y protección de la Casa de Máquinas, con los respectivos pozos de bombeo y sistema de recalque.	
- número de conjuntos	5
♦ Sistema de Drenaje	
Equipos incluyendo moto-bombas CCM, y tableros de control, accesorios y red de tuberías para captación del agua de drenaje y respectivos pozos de desagüe y sistema de recalque	
- número de conjuntos	5
♦ Sistema de Llenado y Desagüe	
Equipos incluyendo moto-bombas, CCM, y tableros de control, accesorios y red de tuberías para captación de agua proveniente de los tubos de succión, cajas espirales y tuberías de presión con sus respectivos pozos de acumulación y sistema de recalque	
- número de conjuntos	4
♦ Sistema de Aire Comprimido de Servicio	
Equipos constituidos por dos Centrales de Aire Comprimido localizadas en el AMD y AMC y dotadas de cuatro compresores con 44,7 kW, 7,7 m ³ /min y respectivos tanques de aire interconectados, tuberías y accesorios	
- número de conjuntos	2
♦ Sistema de Desagüe Cloacal	
Equipos para redes de desagüe, aparatos e instalaciones cloacales, estaciones de bombeo (tanques recolectores y bombas), estaciones de tratamiento, tuberías y accesorios	
- número de conjuntos	2
♦ Sistema de Agua de Servicio y de Agua Potable Tratada	
Equipos, tanques, tuberías y accesorios	
- número de conjuntos	4
♦ Sistema de Agua de Enfriamiento	
Equipos para captación de agua bruta de las cajas espirales, incluyendo válvulas reductoras de presión y filtros, tuberías y accesorios	
- número de conjuntos	20

4.25 Equipos Principales de los Sistemas Eléctricos Auxiliares de la Estructura de Desvío, Vertedero y Presa Principal

- ♦ Subestación de Distribución de la Estructura de Desvío (Trecho H)
 - número de unidades (60 Hz) 1
 - relación de transformación de los transformadores..... 13,8 kV - 460 V
 - potencia nominal de los transformadores.....500 kVA
 - tensión nominal de los tableros460 V
- ♦ Subestaciones Unitarias de la Presa Principal (Trecho F) (QT)
 - número de unidades
 - . 50 Hz.....2
 - . 60 Hz.....2
 - relación de transformación de los transformadores..... 13,8 kV - 460 V
 - potencia nominal de los transformadores.....750 kVA
 - tensión nominal de los tableros460 V
- ♦ Subestaciones Unitarias de las Bombas de Drenaje (QQ) de la Presa Principal
 - número de unidades
 - . 50 Hz (Trecho F)2
 - . 60 Hz (Trecho I)1
 - relación de transformación de los transformadores..... 13,8 kV - 460 V
 - potencia nominal de los transformadores.....500, 1.500 kVA
 - tensión nominal de los tableros460 V
- ♦ Subestación Unitaria del Vertedero (QK)
 - número de unidades (50 Hz) 1
 - relación de transformación de los transformadores..... 13,8 kV - 460 V
 - potencia nominal de los transformadores.....500 kVA
 - tensión nominal de los tableros460 V
- ♦ Tableros de Distribución de la Presa Principal (CK)
 - número de unidades
 - . 50 Hz.....1
 - . 60 Hz.....2
 - tensión nominal de los tableros460 / 220 V
- ♦ Subestaciones de Iluminación de la Estructura de Desvío y de la Presa Principal (CL)
 - número de unidades
 - . 50 Hz.....5
 - . 60 Hz.....5
 - relación de transformación de los transformadores.....460 V - 220 V - 127 V
 - potencia nominal de los transformadores.....75 kVA
- ♦ Subestación de Iluminación del Vertedero y Presa Lateral Derecha (CL)
 - número de unidades (50 Hz)4
 - relación de transformación de los transformadores.....460 V - 220 V - 127 V
 - potencia nominal de los transformadores.....75 kVA

- ♦ Grupos Generadores Diesel de Emergencia del Vertedero
 - número de unidades (50 Hz) 2
 - potencia nominal 200 kVA
 - tensión nominal 460 V
- ♦ Características de los Equipos de Corriente Continua, Baterías, Cargadores y tableros de la Presa Principal
 - número de conjuntos (cargador + batería + tablero)
 - . 50 Hz..... 4
 - . 60 Hz..... 4
 - capacidad de las baterías de acumuladores 2 x 152 Ah e 6 x 271 Ah
 - tensión nominal 125 V
 - tensiones nominales de los cargadores 460 V c.a. - 125 V c.c.
 - corriente nominal de los cargadores 150 A
- ♦ Baterías, Cargadores y Tableros del Vertedero
 - número de conjuntos (cargador + batería) 2
 - frecuencia de los cargadores 50 Hz
 - capacidad de las baterías de acumuladores 95 Ah
 - tensión nominal 125 V c.c.
 - tensiones nominales de los cargadores 460 V c.a. - 125 V c.c.
 - corriente nominal de los cargadores..... 35 A

4.26 Equipos Principales de los Sistemas Mecánicos Auxiliares de las Presas y Vertedero

- ♦ Sistema de Drenaje
 - número de conjuntos 7
- ♦ Sistema de Agua Potable Tratada
 - número de conjuntos 4
- ♦ Sistema de Desagüe Cloacal
 - número de conjuntos 4
- ♦ Sistema de Ventilación
 - número de conjuntos 27
- ♦ Sistema de Protección Contra Incendio
 - número de conjuntos 20

4.27 Subestación de la Casa de Máquinas

La subestación aislada por gas SF₆ (SIG) de 500 kV, sectores de 50 y 60 Hz, tiene la función de recibir la energía de las Unidades Generadoras a través de los transformadores elevadores, posibilitando todas las maniobras necesarias para la transmisión de esta energía por las líneas de 500 kV para la SEMD - 50 Hz o la subestación Foz do Iguaçu - (FURNAS) - 60 Hz.

Cada subestación aislada por gas SF₆ (50 / 60 Hz) está constituida por los siguientes “bays”:

- ♦ Un “bay” doble barra - doble disyuntor para los transformadores principales de los servicios auxiliares.
- ♦ Cuatro “bays” doble barra - doble disyuntor para salidas de línea
- ♦ Cinco “bays” de disyuntor y medio para las Unidades Generadoras (siendo uno incompleto)
- ♦ Dos “bays” de seccionamiento de barras. Las cantidades de los equipos son:

1) Sector 50 Hz

a) Equipos de SF₆

♦ Cubículos de control	12
♦ Disyuntores (c/2 llaves seccionadoras cada uno).....	26
♦ Llaves seccionadoras	62
♦ Pararrayos	27
♦ Llaves de puesta a tierra	85
♦ Aisladores pasantes monofásicos SF ₆ – aire.....	15
♦ Barras principales monofásicas de 4000 A.....	2.220 m
♦ Barras auxiliares monofásicas de 4000 A.....	1.100 m
♦ Transformadores de corriente.....	66
♦ Transformadores de potencial	12

b) Equipos Convencionales

♦ Pararrayos	15
♦ Dispositivos de potencial	12
♦ Filtros de onda	8

2) Sector 60 Hz

Las cantidades son iguales a las del sector de 50 Hz con las siguientes excepciones:

♦ Barras principales monofásicas de 4000 A.....	2.700 m
♦ Barras auxiliares monofásicas de 4000 A.....	975 m

4.28 Subestación de la Margen Derecha

La subestación de la Margen Derecha es una subestación de enlace de los sistemas eléctricos del Paraguay y del Brasil con la Central Hidroeléctrica de ITAIPU. La energía generada en 50 Hz (7.368 MVA) es transmitida en 500 kV hasta esta subestación, donde es seccionada y enviada en esta tensión para el Brasil, y transformada a los niveles de 220 y 66 kV para ser transmitida hasta el Paraguay en los niveles de 220 kV y en 500 kV. La tensión de 66 kV sirve para

alimentación de los servicios auxiliares de la CHI y la SE de conversión de FURNAS

Actualmente esta operando el Sistema de Control Computadorizado que realiza la Supervisión y el Control de las instalaciones existentes en 500, 220 y 66 kV. La Operación, Supervisión y el Control es realizada a través de una Work Station que está instalada en la Sala de Control de la SEMD. Los Dispositivos de Adquisición de Datos y Control (DAUCs) son los responsables de adquirir las informaciones necesarias para el sistema y son los siguientes:

- ♦ DAUC 01 - Supervisa y controla el sector de 500 kV existente + T1/T2 e T3.
- ♦ DAUC 02 - Supervisa y controla el sector de 220 kV existente + R1/R2 e R3.
- ♦ DAUC 03 - Supervisa y controla el sector de 66 kV y Servicios Auxiliares.
- ♦ DAUC C - (redundante) Supervisa y controla en forma totalmente digital el “bay” L4.
- ♦ DAUC F - (redundante) Supervisa y controla el T4/R4 y el futuro seccionamiento de barras de 220 kV.
- ♦ DAUC J - (redundante) Supervisar y controlará en nuevo “bay” de salida de 66 kV (L3).
- ♦ IFS - (redundante) Tablero de interface para Supervisión y Control de los siguientes “bays” TX/RX, T5/R5, Salida de líneas de 500 kV para la SE Villa Hayes, Seccionamiento de las Líneas L3/L11 y L4/L12 y Sistemas de Protección de las Líneas de 220 y 500 kV.

1) Patio 500 kV

- ♦ Cuatro “bays” completos de disyuntor y medio para conexión de las líneas L1, L2, L3, L4, L9, L10, L11 y L12 de 500 kV (total de 3 disyuntores y equipos asociados).
- ♦ Un “bay” completo de disyuntor y medio para conexión a los autotransformadores T1 y T2 (total de 3 disyuntores y equipos asociados).
- ♦ Un “bay” completo de disyuntor y medio para conexión a los autotransformadores T3 y T4 (total de 3 disyuntores y equipos asociados).
- ♦ Un “bay” completo de disyuntores y medio para conexión a los autotransformadores Tx y T5 (Total de 3 disyuntores y equipos asociados).
- Un “bay”, parcial, para conexión de la salida de línea en 500 kV para la Subestación de Villa Hayes (total de 2 disyuntores y equipos asociados).
- Dos Conjuntos de disyuntores y equipos asociados para acople de las barras de 500 kV;
- ♦ Barras rígidas principales de 525 kV - 8000 A, tubo de aluminio de 10", Long. Aprox. 7km

- ♦ Un “bay” completo de disyuntor y medio para conexión de las líneas L13 y futuro L14 (total dos disyuntores y equipos asociados) , salida de LT para SE Villa Hayes

2) Patio 220 kV

- ♦ Seis autotransformadores (T1, T2, T3, T4, TX y T5) 525 - 220-13,8 kV, 3 Ø, 450 MVA.
- ♦ Seis reguladores (R1, R2, R3, R4, R5 y RX) 220 / 220 kV 3 Ø 375 MVA
- ♦ Dos transformadores (T6 e T7) 220 - 66 - 13,8 kV, 3 Ø, 25 MVA.
- ♦ Cinco “bays” completos de disyuntor y medio para conexión de las líneas L1, L2, L3 y L4 de 220 kV (total de 9 disyuntores).
- ♦ Un vano completo para conexión de los Reguladores R5 y RX (Total de 3 disyuntores)
- ♦ Un “bay” completo de disyuntor y medio para conexión de los transformadores T6 y T7 (3 disyuntores).
- ♦ Barras rígidas principales de 220 kV - 4000 A, tubo de aluminio de 5 “ IPS, long. aproximada de 720 m.

3) Patio 66 kV

- ♦ El patio de 66 kV está constituido por seis disyuntores y equipos asociados. El patio está conectado a los transformadores T6 y T7 y a las líneas L1, L2 y L3 de 66 kV.
- ♦ Esta previsto en breve, implantar un nuevo “bay” para el transformador T8 (66/23 kV) para alimentar el futuro centro de distribución (CE-01) en 23 kV, que será el centro de carga para el Area Prioritaria y su influencia.

4) Diversos

- ♦ Casa de Relés con dos pisos..... 20 x 40 m
- ♦ Estación de bombeo..... 15 x 10 m
- ♦ Cubículos de 13,8 kV2 conjuntos
- ♦ Grupo generador de emergencia, 250kVA..... 1
- ♦ Baterías 125 V c.c., 690 Ah (Casa de Relés).....2 conjuntos
- ♦ Baterías 125 V c.c., 690 Ah (Caseta 2CCB-1)..... 2 conjuntos
- ♦ Cargadores de Baterías 125 Vcc)..... 4 conjuntos
- ♦ Casetas de relés local para supervisión y control de los “bay” L4 y T4, T5 y TX, Salida de Linea para SE Villa Hayes y Patio de Seccionamiento.

- ♦ Tableros de alimentación 125 Vcc (Caseta 2CCB-1).....2 conjuntos
- ♦ Tablero de control de la caseta 2CCB-1 (2COC).....1 conjunto
- ♦ Acondicionadores de aire (Caseta 2CCB-1).....3 conjuntos

4.29 Interconexiones Aéreas en 500 kV

- ♦ Casa de Máquinas - Toma de Agua (8 circuitos)..... 100 m (p/circuito)
- ♦ Toma de Agua - Subestación MD (4 circuitos) 2,1 km (p/circuito)
- ♦ Toma de Agua - Subestación Foz do Iguaçu
(Margen Izquierda - 4 circuitos) 7,8 km (p/circuito)
- ♦ Subestación MD - Subestación Foz do Iguaçu ME
(4 circuitos) 8,7 km (p/circuito)
- ♦ Cantidad de torres 219
- ♦ Conductor "RAIL" - 954 kcmil - ACSR (4 por fase) 1.038 km
- ♦ Cable Pararrayos "PARTRIDGE" - 266,8 kcmil – ACSR 145 km
- ♦ Cable Pararrayos "OPGW" – 10 hilos acero-aluminio, 36 fibras ópticas . 28 km
- ♦ Subestación MD - Subestación Vila Hayes (1 circuito)..... 370 km

4.30 Interconexiones Aéreas en 220 kV

- ♦ Subestación MD - Central de Acaray (2 circuitos) 5,0 km (p/circuito)
- ♦ Cantidad de torres 33
- ♦ Conductor "RAIL" - 954 kcmil - ACSR (2 por fase) 72 km
- ♦ Cable Pararrayos "PARTRIDGE" - 266,8 kcmil – ACSR 12 km
- ♦ Cable Pararrayos OPGW 115mm² hasta 24FO 12 km
- ♦ Cable OPGW Fujikura instalado en uno de los dos pararrayos de las líneas L1 y L2, con 24 fibras ópticas 9,6 km
- ♦ Cable CAA 266,8MCM Partridge en el otro pararrayos de las líneas L1 e L2, 9,6 km

4.31 Interconexión Aérea en 66 kV

- ♦ Subestación de la MD - Subestación de Foz do Iguaçu (ME) 9,5 km
- ♦ Cantidad aproximada de estructuras 70

- ♦ Conductor "PARTRIDGE" - 266,8 kcmil – ACSR..... 30 km
- ♦ Cable Pararrayos de acero galvanizado $\varnothing \frac{5}{16}$ " HS..... 10 km

- ♦ Subestación de la MD- Subestación Acaray (ANDE) 0,8 km
- ♦ Cantidad aproximada de estructuras..... 6
- ♦ Conductor "PARTRIDGE" - 266,8 kcmil – ACSR..... 2,5 km
- ♦ Cable Pararrayos de acero galvanizado $\varnothing \frac{5}{16}$ " HS..... 1 km

4.32 Interconexión Subterránea en 66 kV

- ♦ Subestación MD - Casa de Máquinas 3 km

- ♦ Cable singular en aceite (1 cable por fase y 1 de reserva)..... 12 km