

BRASIL



PARAGUAY

CENTRAL HIDRELÉTRICA DE ITAIPU

RESUMO DE QUANTIDADES, DIMENSÕES E DADOS TÉCNICOS

PRINCIPAIS DO PROJETO ITAIPU

4	Atualização para retratar a situação em janeiro/2019	Julio Cesar Romero Ayala	22/01/19
3	Atualização para retratar a situação em março/2017	miltonga/elifinco	03/04/2017
2	Atualização para retratar a situação em março/2015	pedrovil/afonseca	09/03/2015
1	Atualização para retratar a situação em julho de 2008	MLP / CPN / SMA	01/08/08
Nº	DESCRIÇÕES	APROV.	DATA
REVISÕES			
Elab.: ASF / MLP..... <u>19 / 2 / 99</u>		Visto: IB..... <u>19 / 2 / 99</u>	
Verif.: ASF / JG..... <u>19 / 2 / 99</u>		Aprov.: OV <u>19 / 2 / 99</u>	
EN.DT - Superintendência de Engenharia			
ENC.DT - Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura			
ENCC.DT - Divisão de Engenharia Civil e Arquitetura			
DIRETORIA TÉCNICA		1314 . 50 . 15200 - P	R4

RESUMO DE QUANTIDADES, DIMENSÕES E DADOS TÉCNICOS
PRINCIPAIS DO PROJETO ITAIPU

Quantidade de Páginas deste Documento

Folha de Rosto e Contra Capa	02
Índice	02
Relatório	34
Total de Folhas	38

Nota: Este Relatório cancela e substitui o Relatório 1314.50.0001.P.

RESUMO DE QUANTIDADES, DIMENSÕES E DADOS TÉCNICOS**PRINCIPAIS DO PROJETO ITAIPU****ÍNDICE**

1.	RESUMO TÉCNICO DO PROJETO HIDRELÉTRICO DE ITAIPU	1
1.1.	Localização	1
1.2.	Bacia do Rio Paraná - Hidrologia	1
1.3.	Geologia das Fundações e Materiais de Construção	2
1.4.	Outros Materiais de Construção.....	3
2.	DESCRIÇÃO DO PROJETO	3
2.1.	Generalidades	3
2.2.	Desvio do Rio	4
2.3.	Barragem Principal (Trecho F).....	5
2.4.	Barragens Laterais	6
2.4.1.	Direita (Trecho D)	6
2.4.2.	Esquerda	6
2.5.	Vertedouro (Trecho A).....	7
2.6.	Barragens de Terra e Enrocamento	8
2.7.	Tomadas de Água	9
2.8.	Casa de Força	9
2.9.	Navegação	14
2.10.	Outros Benefícios e Aspectos Ecológicos	14
3.	COMPRIMENTO DAS BARRAGENS E CASA DE FORÇA DE ITAIPU	15
4.	RESUMO ESTATÍSTICO	16
4.1.	Rio Paraná	16
4.2.	Dados Meteorológicos	16
4.3.	Reservatório	17
4.4.	Canal de Fuga	17
4.5.	Queda.....	17
4.6.	Capacidade de Geração	17
4.7.	Canal de Desvio	17
4.8.	Ensecadeiras Principais.....	18
4.9.	Dique de Hernandárias	18

4.10.	Barragem de Terra Direita.....	18
4.11.	Vertedouro.....	18
4.12.	Barragem Lateral Direita	19
4.13.	Barragem Principal (Trechos E, F e I).....	19
4.14.	Estrutura de Desvio (Trecho H)	19
4.15.	Tomadas de Água da Barragem Principal e Estrutura de Desvio	20
4.16.	Barragem de Enrocamento	21
4.17.	Barragem de Terra Esquerda.....	21
4.18.	Casa de Força (inclusive áreas de montagem e canal de fuga)	21
4.19.	Turbinas.....	22
4.20.	Geradores.....	23
4.21.	Transformadores Principais dos Geradores	23
4.22.	Transformadores Principais dos Serviços Auxiliares	23
4.23.	Equipamentos Principais dos Sistemas Elétricos Auxiliares da Casa de Força e Áreas de Montagem	24
4.24.	Equipamentos Principais dos Sistemas Mecânicos Auxiliares da Casa de Força e Áreas de Montagem	26
4.25.	Equipamentos Principais dos Sistemas Elétricos Auxiliares da Estrutura de Desvio, Vertedouro e Barragem Principal	28
4.26.	Equipamentos Principais dos Sistemas Mecânicos Auxiliares das Barragens e Vertedouro	29
4.27.	Subestação da Casa de Força	30
4.28.	Subestação da Margem Direita.....	31
4.29.	Interligações Aéreas em 500 kV	33
4.30.	Interligações Aéreas em 220 kV	34
4.31.	Interligação Aérea em 66 kV	34
4.32.	Interligação Subterrânea em 66 kV	34

RESUMO DE QUANTIDADES, DIMENSÕES E DADOS TÉCNICOS

PRINCIPAIS DO PROJETO ITAIPU

1. RESUMO TÉCNICO DO PROJETO HIDRELÉTRICO DE ITAIPU

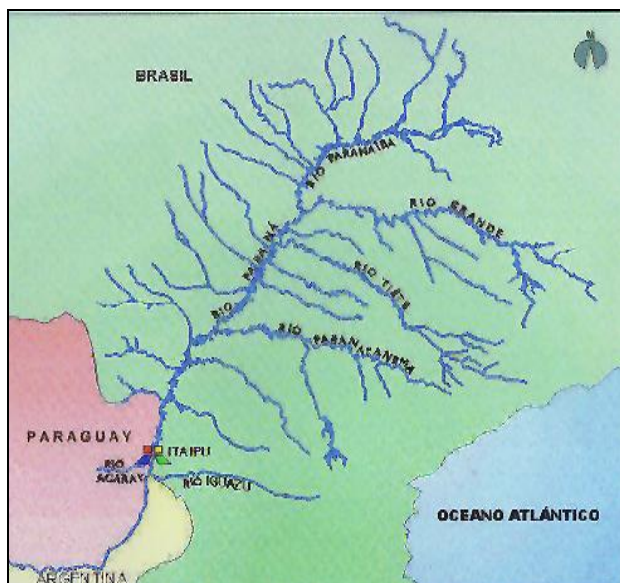
Para informações mais detalhadas, consultar o documento 1999.50.0001.P.R0 “Relatório Final de Projeto”.

1.1. Localização

As principais obras do Projeto Hidrelétrico de ITAIPU situam-se no Rio Paraná, entre o Brasil e o Paraguai, a 14 km ao norte (montante) da Ponte Internacional da Amizade que liga as cidades de Foz do Iguaçu e Ciudad del Este.

A área do Projeto ITAIPU estende-se desde Guaíra (ao norte) até Foz do Iguaçu / Ciudad Del Este (ao sul) e, neste trecho, o terreno ladeando as margens do rio situa-se, em média, cerca de 200 m acima do nível do mar, com altitudes ligeiramente superiores no lado paraguaio.

1.2. Bacia do Rio Paraná - Hidrologia

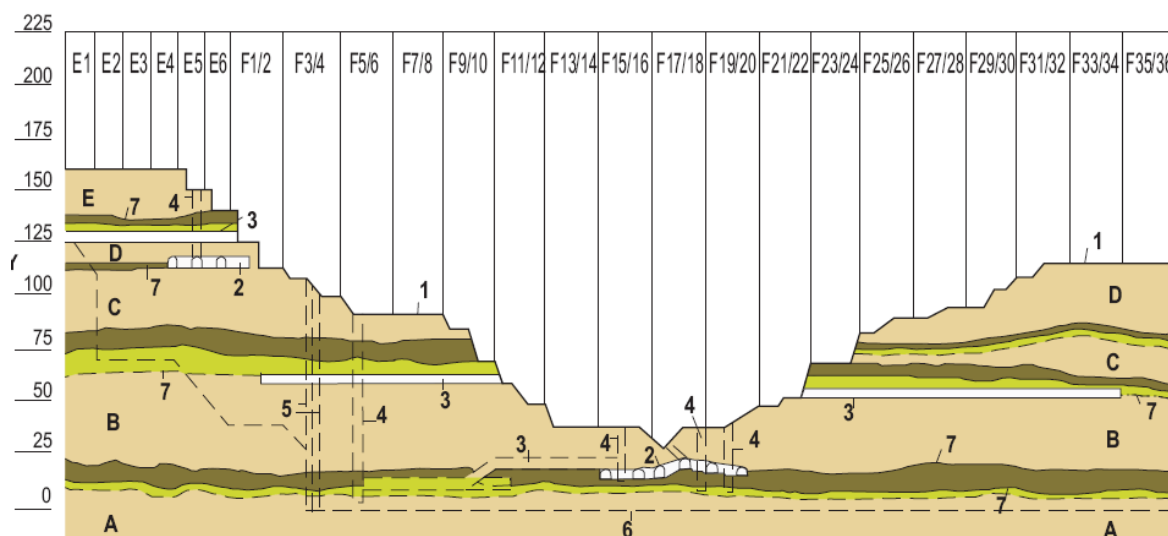


O Rio Paraná possui uma extensão total de 4.300 km (incluindo o Rio Paranaíba e o Rio Grande) e sua bacia global abrange uma área de 3.000.000 km². Devido à sua vazão e às dimensões de sua bacia, este rio, incluindo os seus afluentes, é considerado um dos sete maiores rios do mundo.

A área da bacia de drenagem do reservatório de ITAIPU é de 820.000 km² e a descarga média anual de janeiro de 1931 a dezembro de 1994 para o local da barragem foi calculada em 9.736 m³/s.

Na Área de Projeto, desde o local da barragem até 190 km a montante, o Rio Paraná se orienta segundo direção aproximada Norte-Sul, possuindo neste trecho um desnível de aproximadamente 120 m. A profundidade do rio no trecho da Área do Projeto varia entre 20 e 60 metros.

1.3. Geologia das Fundações e Materiais de Construção



GEOLOGIA DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM PRINCIPAL – SEC LONGITUDINAL

Y - Elevação (m)
 1 - Perfil de Escavação
 2 - Chavetas
 3 - Túneis de Exploração
 4 - Poços de Prospeção
 5 - Cortina de Injeção Transversal

6 - Limite da Cortina de Injeção
 7 - Descontinuidades
 E1...E6 Barragem de Contraforte Direita
 F1/2...F35/36 Blocos da Barragem Principal
 A, B...E Derrames Basálticos

Basalto Denso
 Brecha
 Basalto Viscoamigdaloidal

As estruturas de concreto do projeto estão assentes em rocha basáltica, predominando o basalto denso intercalado por camadas de basalto vesicular-amigdaloidal e brecha. O basalto denso normalmente apresenta-se como um material maciço e pouco permeável. O basalto vesicular-amagdaloidal é menos resistente, mais deformável e menos fraturado que o denso, apresentando, de um modo geral, qualidades satisfatórias para fundação. As camadas de brecha possuem espessuras variáveis e características irregulares e aleatórias, necessitando de tratamento adequado para utilização como material de fundação. Tratamento especial também foi dispensado às feições menos favoráveis do ponto de vista de resistência e estanqueidade, tais como descontinuidades litológicas e faixas muito fraturadas no basalto denso.

No leito do rio, material aluvionar (constituído por areia e cascalho) em alguns locais atingiu espessuras da ordem de 20m; esse material foi completamente removido na área das estruturas, até ser atingida a rocha sã.

O basalto denso proveniente das escavações foi utilizado como agregado de concreto, enquanto o solo residual argiloso das margens do rio constituiu o material predominante na construção dos núcleos de argila da Barragem de Enrocamento, Ensecadeiras Principais e maciços das Barragens de Terra.

Devido à pequena ocorrência de cascalho na área das obras e à granulometria fina da areia disponível para utilização como agregado miúdo para concreto, foi necessário acrescentar areia artificial proveniente do basalto denso britado na proporção de 70%, para correção da granulometria.

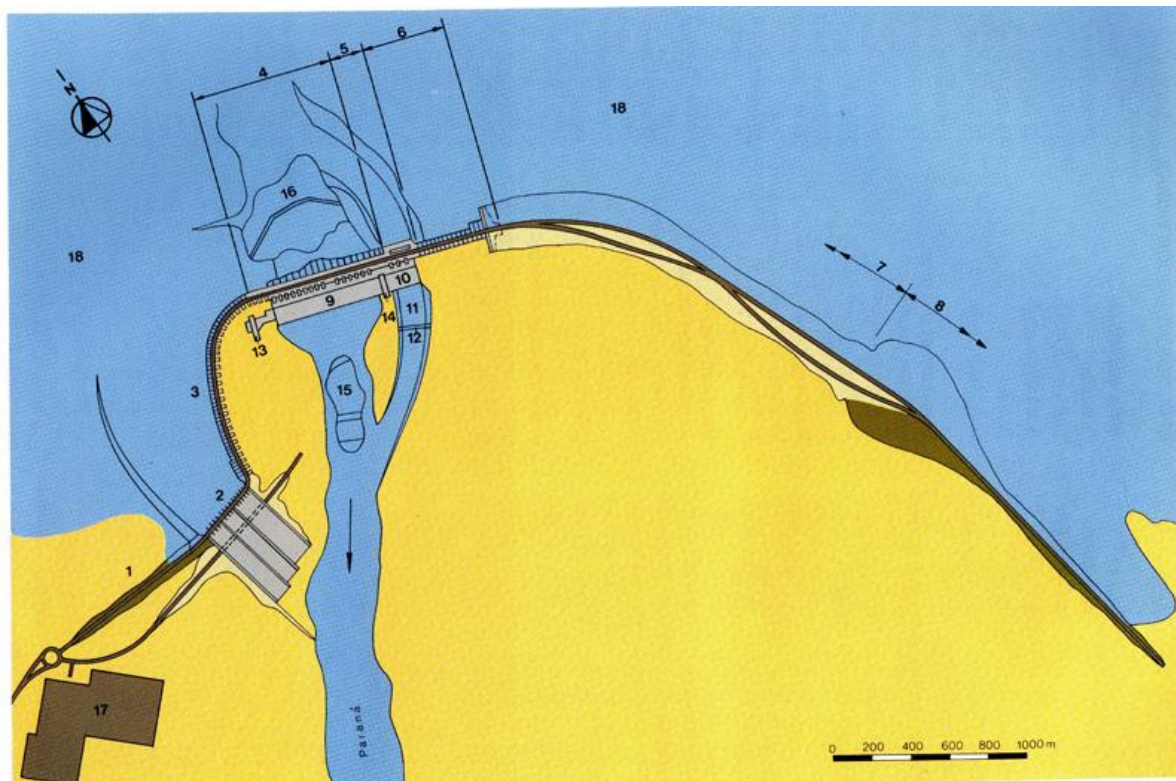
Na determinação dos parâmetros geológicos e geotécnicos do local do projeto, durante a fase de estudo foram realizadas prospecções geológicas, geofísicas e geomecânicas, além de correlações com os dados existentes referentes à Central de Acaray, na margem paraguaia. Tais prospecções foram efetuadas através de furos de sondagem e abertura de trincheiras, poços e galerias.

1.4. Outros Materiais de Construção

Além dos materiais existentes na área, foram empregados outros materiais de construção produzidos nos dois países. Dentre esses materiais, os mais importantes, em virtude das quantidades utilizadas, citam-se: cimentos e produtos pozolânicos, armadura de aço, aço estrutural e madeira de construção.

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1. Generalidades



ARRANJO GERAL DO PROJETO

- | | | |
|--|---|-------------------------------|
| 1 - Barragem de Terra Direita | 7 - Barragem de Enrocamento | 13- Área de Montagem Direita |
| 2 - Vertedouro, Blocos A(15) | 8 - Barragem de Terra Esquerda | 14- Área de Montagem Esquerda |
| 3 - Barragem Lateral Direita, Blocos D(58) | 9 - Casa de Força no Leito do Rio, Blocos U1 a U15 | 15- Ensecadeira de Jusante |
| 4 - Barragem Principal, Blocos F(36) mais Barragem de Contraforte Direita, Blocos E(6) | 10- Casa de Força no Canal de Desvio, Blocos U16 a U18A | 16- Ensecadeira de Montante |
| 5 - Estrutura de Desvio, Blocos H(14) | 11- Canal de Desvio | 17- Subestação Margem Direita |
| 6 - Barragem de Contraforte Esquerda, Blocos I(27) | 12- Ponte de Serviço | 18- Reservatório |

O Projeto ITAIPU consiste de uma série de barragens de diversos tipos que atravessam o rio e cujos coroamentos se desenvolvem na El. 225,00 m. A Casa de Força está localizada no pé da Barragem Principal, transversalmente ao rio. O Vertedouro, para descarga das vazões excedentes, fica localizado no platô da

margem direita. Para a construção da Barragem Principal e da Casa de Força, foi necessário desviar o rio, o que foi realizado por um Canal de Desvio construído na margem esquerda. A seleção dos tipos de barragens objetivou a utilização mais econômica dos materiais de construção disponíveis no local em conformidade com os requisitos de operação das várias partes do projeto.

A potência nominal da usina é de 14.000 MW, produzida por 20 unidades geradoras compreendendo turbinas tipo Francis, de 715 MW, 10 geradores 60 Hz de 737 MVA e 10 geradores 50 Hz de 823,6 MVA.

As unidades de 60 Hz alimentam o sistema brasileiro de transmissão em c.a. através de transformação de 525 kV para 765 kV.

As unidades de 50 Hz alimentam o sistema elétrico paraguaio em 500 kV e 220 kV. Por algum tempo haverá um excesso de potência em 50 Hz, o qual será transmitido para o Brasil por meio do sistema de transmissão de c.c. ± 600 kV.

É previsto que a Usina irá operar essencialmente como usina de base, a fio d'água, com o nível da água no reservatório mantido aproximadamente constante.

2.2. Desvio do Rio



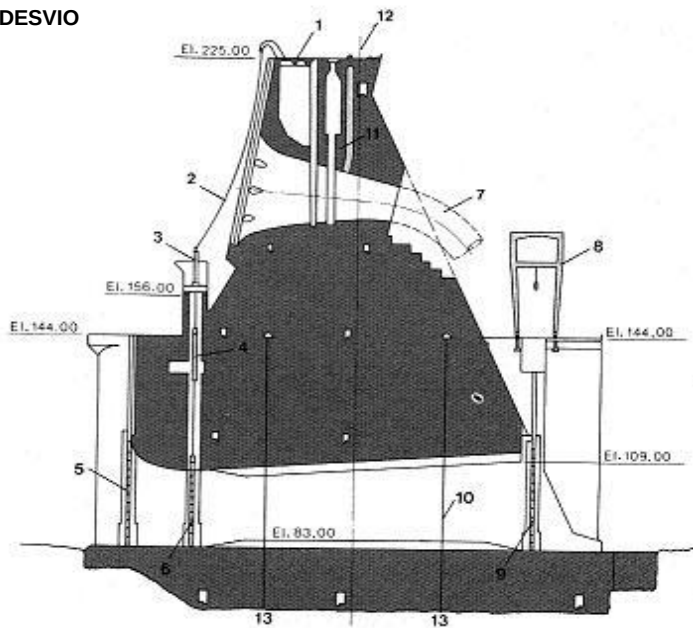
Durante a construção da Barragem Principal e da Casa de Força no canal do rio, o Rio Paraná foi desviado por meio de um canal lateral aberto na margem esquerda, com dimensões aproximadas de 2.000 m de comprimento, 150m de largura no fundo e 90 m de profundidade máxima. Para esse canal, foi necessária uma escavação de 22.500.000 m³ de rocha e terra, material esse cuja maior parte foi utilizado na construção da Barragem de Enrocamento e na britagem de agregados

para concreto. Para o fechamento do Canal de Desvio, foi construída uma estrutura especial, tipo gravidade, em concreto, com 12 aberturas, permitindo uma descarga máxima de 35.000 m³/s sem transbordamento das ensecadeiras no canal do rio. Esta Estrutura de Desvio esteve em operação durante 4 anos - isto é: durante o período de construção da Barragem Principal no canal do rio, da Casa de Força e outras obras correlatas. O fechamento do rio foi realizado por 2

ensecadeiras, de aproximadamente 90 m de altura, cada uma delas constituída por dois diques de enrocamento e um núcleo de argila, construídas no canal do rio para deixar exposta a área das fundações da Barragem Principal e da Casa de Força.

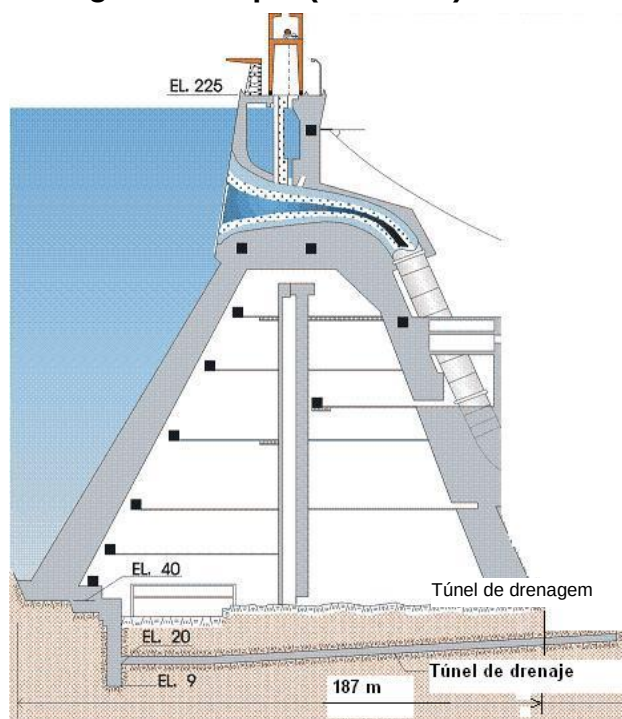
ESTRUTURA DE CONTROLE DE DESVIO

- 1 - Topo da Barragem
- 2 - Cabos de Recuperação das Comportas
- 3 - Servo Motor
- 4 - Servo Motor
- 5 - Stoplog de Montante
- 6 - Comportas de Desvio
- 7 - Conduto Forçado
- 8 - Eixo do Stoplog
- 9 - Stoplog de Jusante
- 10 - Adufa de Desvio
- 11 - Comporta
- 12 - Eixo da Barragem
- 13 - Junta Longitudinal



Por ocasião do enchimento do Reservatório, as aberturas foram fechadas por comportas e tamponadas com concreto. No Canal de Desvio, imediatamente a jusante desta estrutura, foi executado o segundo estágio da Casa de Força, na qual foram instaladas 4 unidades geradoras.

2.3. Barragem Principal (Trecho F)

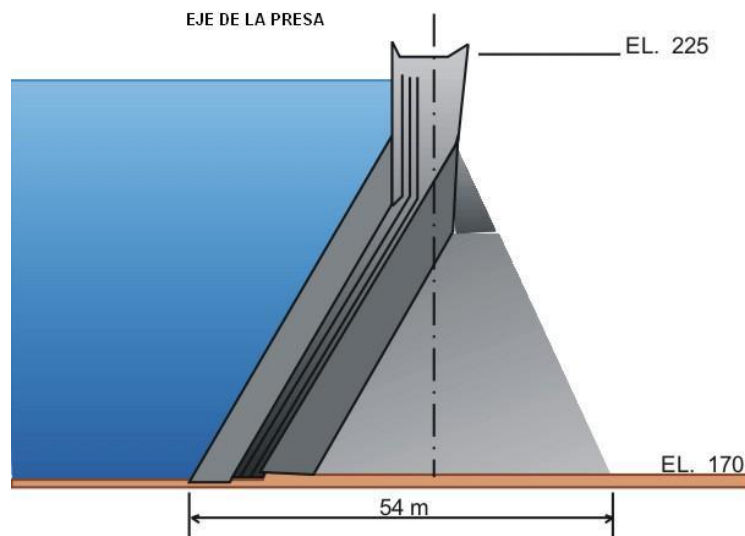


A Barragem Principal é composta de Blocos de Contraforte Direito (E) e dos Blocos de Gravidade Aliviada (F) e mede 714 m de comprimento, crista na El. 225 m e altura máxima de 196 m a partir do ponto mais baixo na fundação. O volume de concreto lançado nestas estruturas foi da ordem de $5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$. A barragem está fundada no basalto são.

As fundações em rocha receberam tratamento adequado na forma de chavetas, injeções de consolidação, cortinas de injeção e sistemas de drenagem.

2.4. Barragens Laterais

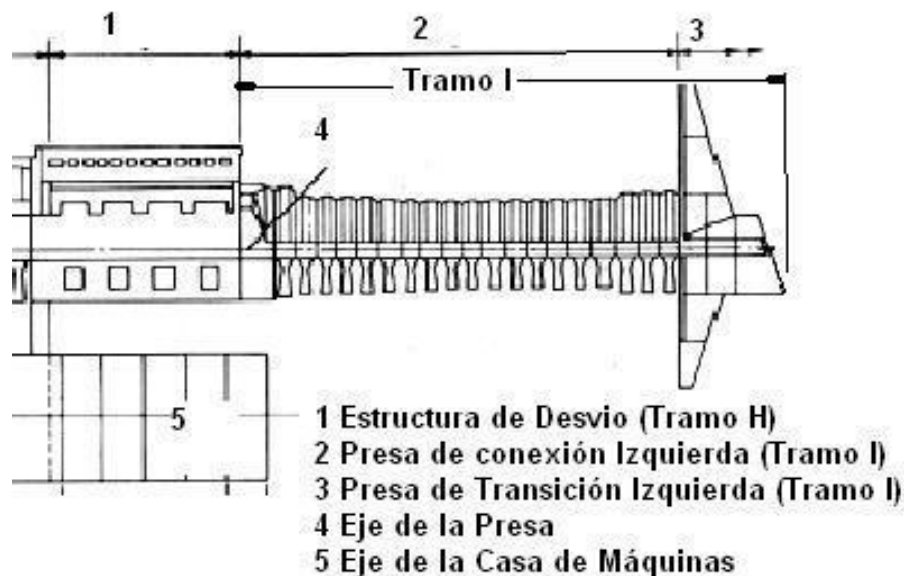
2.4.1. Direita (Trecho D)



Na margem direita, a Barragem Principal é ligada ao Vertedouro por uma barragem lateral de concreto do tipo contraforte, com 986 m de comprimento, cujo traçado foi projetado para orientar o fluxo de água para o Vertedouro.

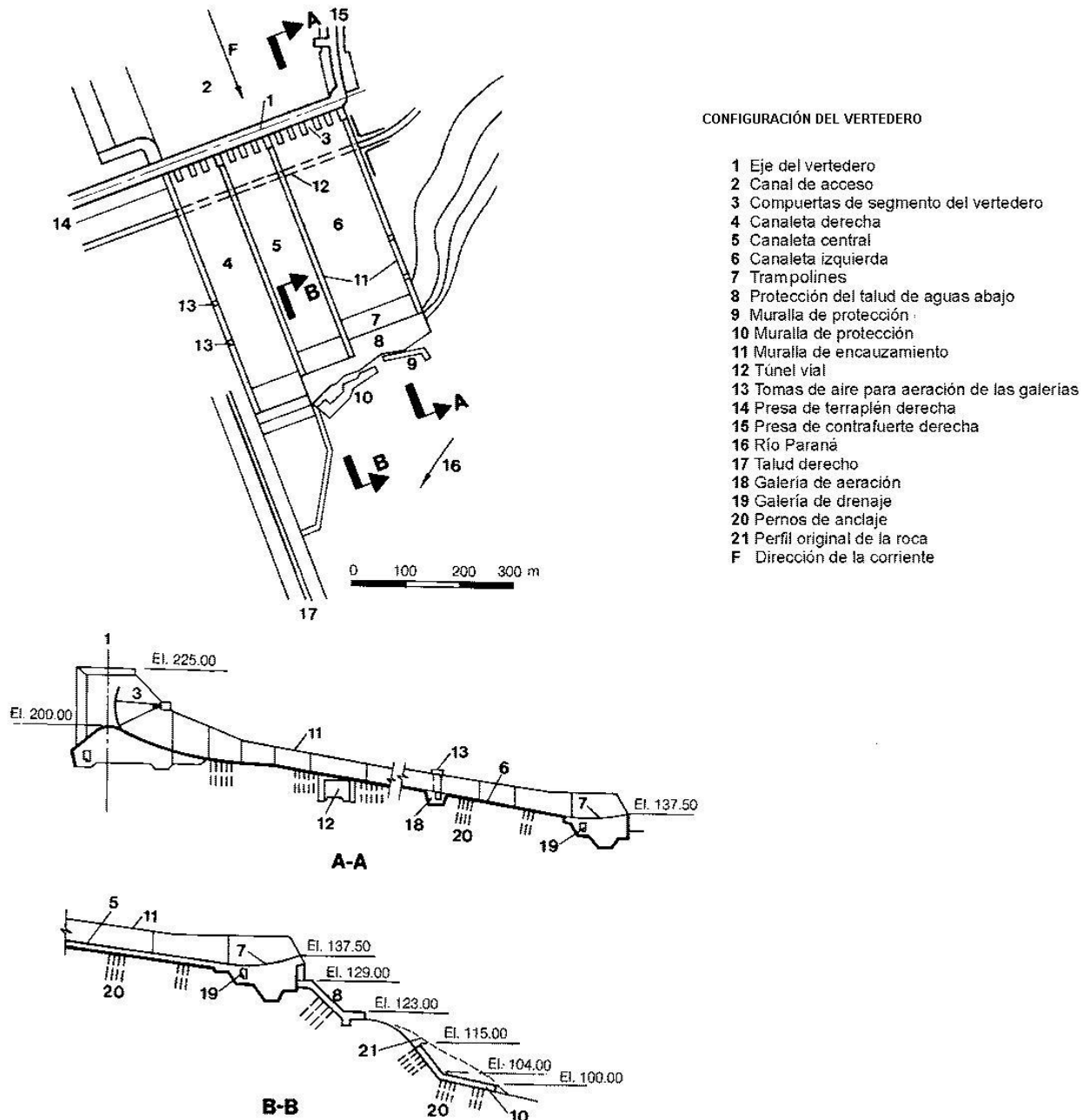
2.4.2. Esquerda

Na margem esquerda uma barragem lateral de concreto, também tipo contraforte, com 350 m de comprimento faz a ligação entre a Estrutura de Desvio e a Barragem de Enrocamento.



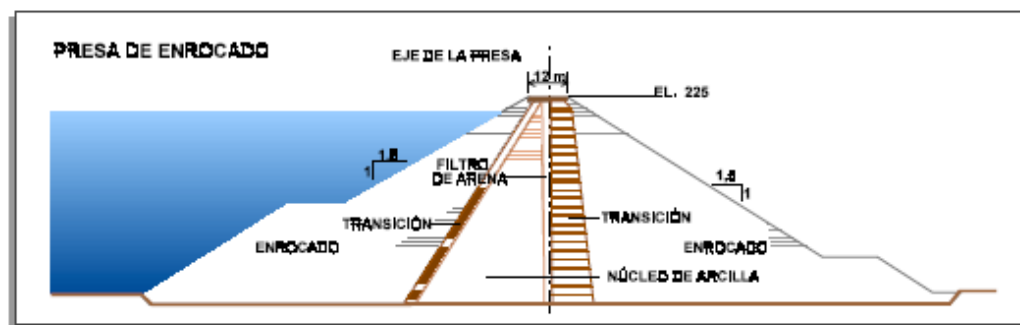
2.5. Vertedouro (Trecho A)

O Vertedouro está localizado na margem direita, aproveitando as condições topográficas favoráveis ali existentes. Compreende um canal de aproximação e as obras de controle, calhas e trampolins em concreto. Incluindo os pilares extremos, as obras de controle tem 390 m de largura com a crista na El. 200,00 m, e incorporam 14 comportas de segmento, de 20 m x 21 m. Para facilidade de manutenção, o Vertedouro está dividido em 3 calhas, separadas por muros divisórios. A capacidade máxima de descarga do vertedouro é de 62.200 m³/s com o reservatório na El. 223,10 m (nível máximo de cheia).

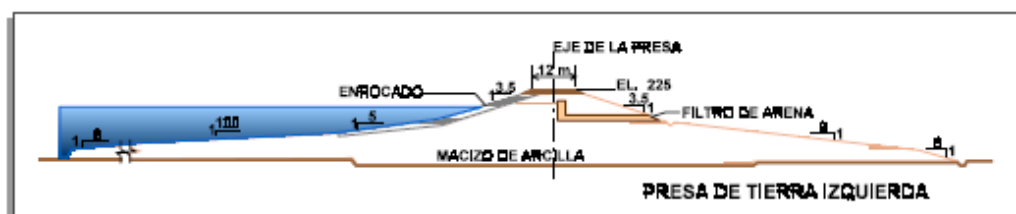


2.6. Barragens de Terra e Enrocamento

Na margem esquerda foi construída uma Barragem de Enrocamento (BE), que é ligada à Barragem Principal e, na outra extremidade, a uma Barragem de Terra (BTME). Esses maciços, com 4.278 m de comprimento total, tem a crista na El. 225,00 m. A altura máxima da Barragem de Enrocamento é de 70 m. No ponto em que a sua altura atinge aproximadamente 30 m, o maciço muda do tipo de enrocamento para o de terra.



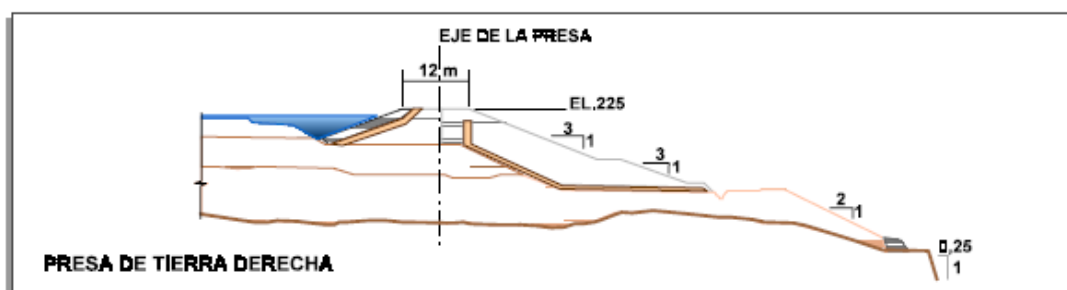
Longitud del Coranamiento (m)	1.884
Altura Máxima (m)	70
Volumen Total (m ³)	12,8 X 10 ⁶



Longitud en el Coranamiento (m)	2.284
Altura Máxima (m)	30
Volumen Total (m ³)	4,4 X 10 ⁶

Obs.: Todas las elevaciones están en msnm.

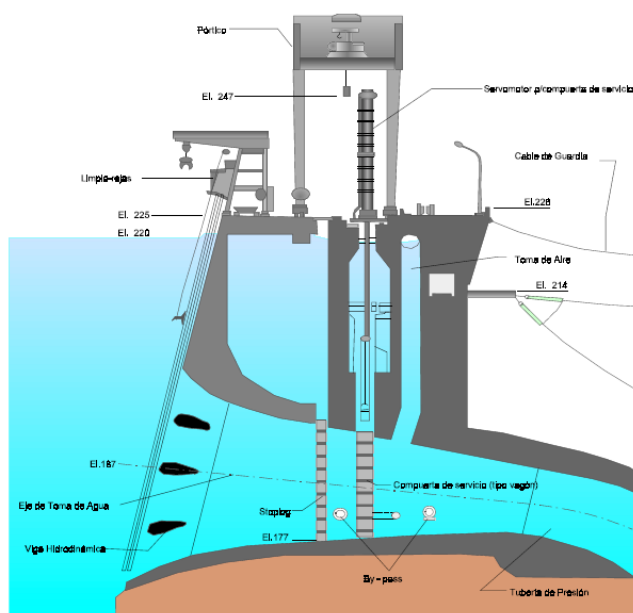
Na margem direita, uma barragem de terra com 872 m de comprimento e altura máxima 25 m liga o Vertedouro ao terreno natural. Obras de drenagem e um dique de terra de cerca de 175 m de extensão e 51.000 m³ de volume, dotado de válvula de retenção do tipo “Flap-Gate” protege a cidade de Hernandárias.



Longitud en el Coranamiento (m)	872
Altura Máxima (m)	25
Volumen Total (m ³)	0,4 X 10 ⁶

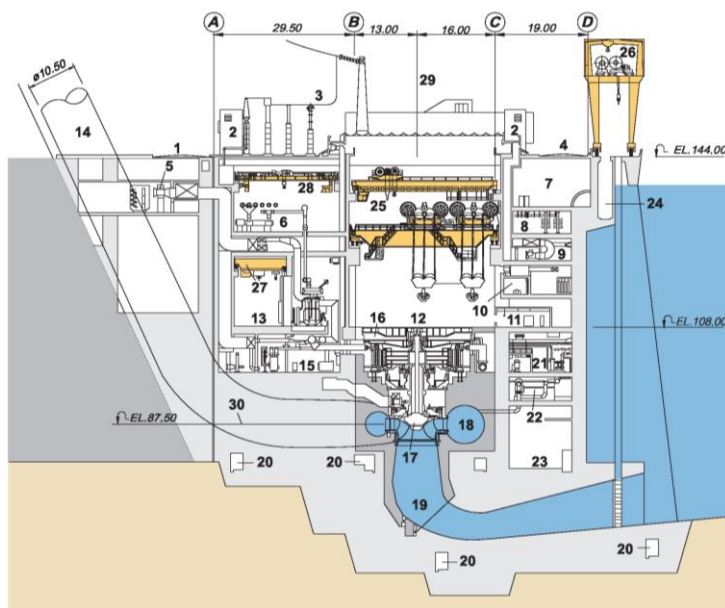
Obs.: Todas las elevaciones están en msnm.

2.7. Tomadas de Água



As Tomadas de Água para as 20 unidades geradoras ficam localizadas na parte superior da Barragem Principal e da Estrutura de Desvio, sendo providas de grades protetoras. Essas tomadas dispõem de comportas de serviço (tipo vagão) para fechamentos de emergência, bem como de ranhuras para a colocação de “stop-logs” durante a manutenção do equipamento. Os Condutos Forçados, cujo diâmetro interno é de 10,50 m, tem a parte intermediária fixada no paramento de jusante da Barragem. A curva superior é envolvida por concreto, a parte inferior do Conduto Forçado é embutida na Casa de Força. Cada Conduto Forçado tem cerca de 142 m de comprimento total até a entrada da Caixa Espiral, e a espessura de sua chapa varia de 30 a 65 mm.

2.8. Casa de Força



A Casa de Força foi projetada para a instalação de 20 unidades geradoras, a intervalos de 34 m. Dezesesseis dessas unidades estão localizadas no leito do rio, e as quatro outras no Canal de Desvio.

CASA DE FORÇA - SEÇÃO E ARRANJO GERAL

A, B, C, D - Eixos de Referência

- 1 - Pista Montante
- 2 - Elevadores
- 3 - Saída de Linha
- 4 - Pista Jusante
- 5 - Galeria de Ventilação Montante
- 6 - SF₆ - Subestação a Gás
- 7 - Galeria de Equipamentos Elétricos
- 8 - Galeria de Cabos
- 9 - Galeria de Ventilação Jusante
- 10 - Sala de Baterias

- 11 - Sala de Comando Local
- 12 - Hall dos Geradores
- 13 - Galeria dos Transformadores Principais
- 14 - Conduto Forçado
- 15 - Galeria de Equipamentos Elétricos e de Excitação
- 16 - Gerador
- 17 - Turbina
- 18 - Caixa Espiral
- 19 - Tubo de Sucção
- 20 - Galeria de Drenagem

- 21 - Galeria de Equipamentos Mecânicos e Elétricos
- 22 - Galeria de Auxiliares Mecânicos
- 23 - Galeria Anti-Inundação
- 24 - Câmara de Estocagem
- 25 - Ponte Rolante - 10 MN
- 26 - Pórtico, 1,4 MN
- 27 - Ponte Rolante - 2,5 MN
- 28 - Ponte Rolante - 100 kN
- 29 - Eixo das Unidades
- 30 - Eixo da Turbina

As dimensões totais da Casa de Força, no pé da barragem, são as seguintes:

- Comprimento total 968 m, incluindo as 2 áreas de montagem
- Altura máxima 112 m
- Largura máxima 99 m

A cobertura da Casa de Força fica na El. 144,00 m e o piso dos geradores na El. 108,00 m.

As unidades de 50 Hz estão instaladas na margem direita da Casa de Força, e as de 60 Hz na margem esquerda, das quais três no pé da Estrutura de Desvio.

Como ITAIPU foi projetada para ser operada como usina a fio d'água, o nível do reservatório é mantido praticamente constante em torno da cota 220 m.

O nível de jusante, entretanto, é função da própria descarga total de ITAIPU e da afluência do Rio Iguaçu (afluente do Paraná).

Dos dados hidrológicos e das curvas de permanência de nível de jusante resultaram as quedas usadas na especificação da turbina.

Condição	Níveis de Água (m)		Perda (m)	Queda Líquida (m)	Potência (MW) no Eixo da turbina	
	Montante	Jusante			Contratual	Final
Máxima Excepcional	220,0	92,0	1,3	126,7	740	800
Máxima Normal	220,0	96,6	1,6	121,8	740	800
Projeto	220,0	100,0	1,6	118,4	715	780
Mínima Normal	219,4	106,1	1,5	111,8	640	640
Mínima Excepcional	222,0	138,0	1,1	82,9	-	-

A terceira coluna representa a perda de carga desde a tomada de água até o tubo de sucção.

Como resultado de negociações posteriores com o consórcio encarregado do fornecimento das unidades geradoras, se obteve uma extensão da faixa de sobrecargas admissíveis, conforme indicado na última coluna do quadro acima.

As turbinas foram assim especificadas:

Tipo	-	Francis
Potência nominal	-	715 MW
Queda nominal	-	112,9 m
Velocidade de projeto	-	91,6 rpm

Em função da diversidade das freqüências de geração no Brasil e no Paraguai, as velocidades reais de rotação das turbinas são 90,9 e 92,3 rpm, respectivamente, para os setores de 50 e 60 Hz.

Enquanto que a faixa de operação normal de uma turbina Francis deste porte está acima de 60% da abertura nominal do distribuidor, as três primeiras unidades de 50 Hz são capazes de funcionar, adicionalmente, na faixa de 10 a 30%, para atendimento das características próprias do sistema paraguaio.

Considerando-se os modos de operação da Central de ITAIPU e utilizando-se curvas de colina (Hill curves) de turbinas com velocidades específicas iguais às da ITAIPU, foram especificados os seguintes valores de projeto para rendimento:

Queda Líquida (m)	Potência (MW)	%	Observação
118,4	715	≥92,5	Rendimento Máx.
118,4	≥610	≥94,5	

Foi também especificado um rendimento ponderado não menor que 93,8%.

Os ensaios realizados no protótipo mostraram que os resultados obtidos foram superiores aos previstos no modelo e garantidos pelo fabricante.

Os ensaios de modelo da turbina foram realizados de acordo com as normas IEC 193/1965 e 193A/1972, no período de abril/maio de 1979 no Instituto Federal de Tecnologia de Lausanne, Suíça. O gerador, turbina, eixos, mancais e suportes devem ser tratados como um sistema integrado.

No caso de ITAIPU o conjunto foi incluído numa licitação única, de modo que a responsabilidade pela coordenação do fornecimento não fosse dividida. Foram estabelecidas restrições bastante severas quanto a amplitude e frequência das vibrações.

Considerando-se a relação entre velocidade de rotação, número de polos, foram determinados, respectivamente, 78 e 66 para o número de polos das unidades de 60 e 50 Hz.

As diferenças nas características das unidades de 60 e 50 Hz se devem ao fato de que elas suprem sistemas de energia elétrica distintos entre Brasil e Paraguai. Para facilitar o projeto e a construção civil, os poços de alojamento são idênticos.

Um dos fatores para a determinação da potência máxima das unidades foi a temperatura máxima de operação, devido ao fato que, em máquinas de grande porte, a magnitude dos fluxos térmicos relativos é o fator limitativo predominante. Por esta razão e levando-se em conta a classe de isolamento dos enrolamentos (classe F), foi considerado que deveria ser especificada uma temperatura máxima operativa para as partes, a qual não poderia ser excedida em nenhuma condição de carga.

Foi especificado a água desmineralizada como meio refrigerante dos enrolamentos estatóricos. Desse modo, com a remoção direta do calor teve-se como objetivo equilibrar a distribuição do aquecimento, reduzir as diferenças de temperatura entre o ponto mais quente (hot spot) e as temperaturas médias dos condutores, minimizando os deslocamentos relativos entre condutores e armadura (núcleo) do estator.

Como controle adicional, a medição da temperatura de saída de água nos condutores tornou-se uma referência para o monitoramento do sistema de refrigeração do enrolamento estatórico.

O rotor tem refrigeração convencional radial a ar. A refrigeração a água foi descartada não somente pela complicação técnica adicional, mas também pela diminuição da inércia que iria resultar desta solução.

Graças aos sistemas de refrigeração adotados, pode ser especificado um rendimento de 98,6% para os geradores.

São as seguintes as temperaturas de projeto:

Enrolamento do estator calculado	-	90° C
Água desmineralizada de resfriamento na saída (média por RTD)	-	75° C
Núcleo do estator (máxima em qualquer ponto incluindo os dentes, calculado)	-	100° C
Água bruta de resfriamento (entrada nos trocadores)	-	30° C

No caso de falha do fluxo de água de resfriamento do estator, a unidade é retirada de operação.

Cada gerador é diretamente ligado a um banco de transformadores de 18-525 kV, cada um dos quais consiste de três unidades monofásicas. Cada banco para os geradores de 50 e 60 Hz tem potência de 825 MVA e 768 MVA, respectivamente. Os transformadores são resfriados a água com circulação forçada do líquido isolante.

As saídas dos transformadores alimentam barramentos e equipamentos de manobra de 525 kV isolados a gás SF₆, instalados na galeria acima dos transformadores a montante, na Casa de Força.

Toda a potência gerada pela usina é transmitida por oito linhas aéreas de 525 kV, quatro das quais em 50 Hz, para a subestação da margem direita, e quatro em 60 Hz, para a subestação de FURNAS na margem esquerda, onde a tensão é elevada para 765 kV para o sistema de transmissão em c.a. no Brasil. A subestação da margem direita alimenta o sistema paraguaio em 220 kV e 525 kV e permite a utilização de qualquer excesso dessa potência para suprir o sistema brasileiro de transmissão em c.c.

Dois níveis básicos foram previstos para o controle das unidades: controle local e controle centralizado. Os painéis de controle local estão instalados em salas próprias, cada uma delas controlando duas unidades geradoras.

O controle centralizado é do tipo convencional analógico, situado na sala de controle central, instalada no interior da Casa de Força em sua parte central, da qual também são controladas as comportas do Vertedouro e da Tomada d'Água.

O controle local serve como sistema de retaguarda para o sistema de controle centralizado e serviu também para os testes e operação inicial das unidades.

Um sistema digital (SCADA) foi adquirido como sistema de controle principal, com o objetivo de coletar, processar e registrar os dados e melhorar as interfaces entre o operador e os equipamentos. Após a implantação do SCADA o controle centralizado da CHI foi mantido como sistema de retaguarda.

As fontes principais para os serviços auxiliares são derivadas das barras de 525 kV em SF₆ por meio de dois transformadores auxiliares de 525 - 13,8 kV, um em 60 Hz e um em 50 Hz. Fontes adicionais de alimentação dos serviços auxiliares estão constituídas por dois transformadores de apoio 66-13,8 kV, um (50 Hz) alimentado por um cabo isolado em óleo proveniente da subestação da margem direita, o outro (60 Hz) alimentado por uma linha aérea 66 kV da COPEL.

Além das fontes normais, principais e adicionais, a Usina dispõe de fontes de emergência provenientes de 4 grupos geradores diesel de emergência, sendo 2 para os serviços auxiliares de 60 Hz e 2 para os serviços auxiliares de 50 Hz.

A fim de facilitar a montagem simultânea de unidades nas 2 margens, foram previstas 2 áreas de montagem de equipamentos - uma do lado direito da Casa de Força e outra na divisória do rio com o canal. A sala de controle central está instalada no interior da Casa de Força, em sua parte central.

A descarga dos equipamentos na cota de acesso El. 144 m e a sua transferência para as áreas de montagem é realizada por meio de 4 pontes rolantes de 2,5 MN, das quais 2 são no Edifício de Descarga Direito e 2 no Edifício de Descarga Central. Para a montagem dos equipamentos principais, foram previstas 4 pontes rolantes de 10 MN cada, 2 pontes rolantes de 2,5 MN e 2 pontes rolantes de 1 MN cada. Duas das pontes rolantes de 10 MN cada, trabalhando em conjunto, foram usadas para movimentar, como uma unidade, os rotores dos geradores. As pontes rolantes de 2,5 MN e de 1 MN foram utilizadas para a montagem e movimentação de equipamentos diversos.

2.9. Navegação

Com vista às futuras instalações para navegação, foram estudadas duas alternativas semelhantes em cada margem. Esses estudos compreendem canais e eclusas destinados a possibilitar a transposição da queda de 120m da barragem de ITAIPU.

2.10. Outros Benefícios e Aspectos Ecológicos

Outros benefícios associados à construção de ITAIPU referem-se ao relativo controle de enchentes, à significativa regularização das descargas a jusante, à disponibilidade de água para irrigação (se bem que na Área do Projeto a relativa regularidade pluviométrica torne a irrigação um item de menor importância), ao desenvolvimento de atividades pesqueiras, ao incentivo ao turismo e à recreação e instalação de centros de desenvolvimento urbano e estações agrícolas.

Os assuntos vinculados ao impacto ambiental decorrente das obras de ITAIPU receberam a devida consideração desde os primeiros estudos. Foi elaborado um Plano Básico para a Conservação do Meio Ambiente, estabelecendo diretrizes, estudos e projetos e organizando um departamento especializado, criado com a finalidade de executar as atividades relacionadas com os projetos ecológicos e sociais.

3. COMPRIMENTO DAS BARRAGENS E CASA DE FORÇA DE ITAIPU

Trecho	Barragem	Comprimento (m)	
		Parcial	Total Aproximado
R	DIQUE DE HERNANDARIAS – Obras de drenagem e pequenos aterros	-	175
Q	BARRAGEM DE TERRA DIREITA		872
A	VERTEDOIRO – Obras de Controle • 13 blocos de 25 m	325,000	362
	– Bloco A1 de ligação com a Barragem de Terra Direita • 1 bloco de 29 m, dos quais 10 m pertencem ao Trecho A e 19 m estão incluídos no Trecho Q	10,000	
	– Bloco A15 de ligação com a BLD • 1 bloco de 35,54 m, dos quais 27,382 pertencem ao Trecho A	27,382	
A / D	TRECHO DE LIGAÇÃO – Do PI dos eixos do Vertedouro e da Barragem Lateral Direita até o início do Trecho D	11,536	12
D	BARRAGEM LATERAL DIREITA – 42 blocos de ~17 m (raio do eixo - 765 m)	714,007	986
	– 16 blocos de ~17 m (raio de eixo - 247 m)	272,054	
E	BARRAGEM PRINCIPAL - Ligação Direita – 6 blocos de 17 m	102	102
F	BARRAGEM PRINCIPAL – 16 blocos duplos com tomada d'água de 34 m	544,000	612
	– 2 blocos duplos de ligação central de 34 m	68,000	
H	ESTRUTURA DE DESVIO – 1 bloco de 9,90 m	9,900	170
	– 4 blocos com tomada d'água de 24,60 m	98,400	
	– 5 blocos de 12,30 m	61,500	
I	BARRAGEM PRINCIPAL - Ligação Esquerda – 1 bloco de encontro	26,900	350
	– 19 blocos de 17,00 m	323,000	
	– 7 blocos de enlace (embutidos na Barragem de Enrocamento)	67,900	
K (parte)	BARRAGEM DE ENROCAMENTO (Incluindo os 7 blocos de enlace de concreto)	1984,07	1984
K (parte)	BARRAGEM DE TERRA ESQUERDA – Transição	305	2294
L	– Barragem de Terra Esquerda	1989,33	
TOTAL = = = = = > > >			7.919

CASA DE FORÇA	Comprimento (m)	
	Parcial	Total Aproximado
ÁREA DE MONTAGEM DIREITA – 1 bloco de 53,70 m – 2 blocos de 31,40 m – 1 bloco de 34,00 m	53,700 62,800 34,000	151
CASA DE FORÇA - LEITO DO RIO – 15 blocos de 34 m (com equipamento) – 1 bloco de 34 m (sem equipamento)	510,000 34,000	544
ÁREA DE MONTAGEM CENTRAL – 1 bloco de 21,60 m – 1 bloco de 34,00 m – 1 bloco de 42,55 m	21,600 34,000 42,550	98
CASA DE FORÇA - CANAL DE DESVIO – 3 blocos de 34 m (com equipamento) – 1 bloco de 34 m (sem equipamento) – 1 bloco de encontro	102,000 34,000 38,800	175
TOTAL = = = = = > > > >		968

4. RESUMO ESTATÍSTICO

4.1. Rio Paraná

Área total da bacia 820.000 km²

Vazões registradas em Guaíra (Anos 1931 - 1994)

- Média no período 9.736 m³/s
- Média Máxima Diária (em 15/06/1983) 39.850 m³/s
- Mínima Média Diária (19 - 20/10/1994) 3.075 m³/s

Enchente máxima provável afluente no Reservatório 72.020 m³/s

4.2. Dados Meteorológicos

Na Bacia do Rio Paraná

- Precipitação anual média 1.400 mm
- Evaporação anual média 1.200 mm

Na Área do Projeto

- Precipitação anual média 1.650 mm
- Evaporação anual média 1.000 mm
- Temperatura anual média 21° C
- Temperatura máxima 40° C

- Temperatura mínima -4° C

4.3. Reservatório

- Nível máximo normal El. 220,30 m
- Nível máximo de cheia El. 223,10 m
- Nível mínimo excepcional El. 197,00 m
- Comprimento 170 km
- Área com nível máximo normal 1.350 km²
- Área com nível máximo de cheia 1.460 km²
 Sendo - no Brasil 835 km²
 - no Paraguai 625 km²
- Capacidade Total (na El. 220,00) 29 x 10⁹ m³
- Capacidade de Acumulação Útil 19 x 10⁹ m³

4.4. Canal de Fuga

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

(*) Reavaliado em função das cheias de 1982/1983, passando para El. 142,15 (sem UHCorpus) e El. 143,55 (com UHCorpus).

4.5. Queda

- Bruta máxima 128,0 m
- Bruta normal 120,0 m
- Bruta mínima 84,0 m
- Líquida máxima 126,7 m
- Líquida normal 118,4 m
- Líquida mínima 82,9 m

4.6. Capacidade de Geração

- Total instalada 14.000 MW
- Potência firme 9.360 MW
- Energia firme anual 61.920 GWh
- Energia média anual 70.190 GWh

4.7. Canal de Desvio

- Capacidade de descarga 35.000 m³/s

- Escavação de rocha a seco $18,4 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Escavação em rocha submersa $0,9 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Escavação de terra $2,8 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.8. Ensecadeiras Principais

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

4.9. Dique de Hernandárias

- Aquisição de Terrenos 22 Ha
- Drenagem superficial 572 ml
- Aterros $50,8 \times 10^3 \text{ m}^3$

4.10. Barragem de Terra Direita

- Comprimento da crista 872 m
- Cota da crista 225 m
- Altura máxima 25 m
- Volume total de aterros $0,4 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.11. Vertedouro

- Capacidade de descarga máxima (El. 223,10 m) $62.200 \text{ m}^3/\text{s}$
- Largura total (comprimento das obras de concreto da crista) 390 m
- Comprimento total (calha + crista) 483 m
- Escavação de rocha $5,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Escavação de terra $7,1 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Concreto $0,8 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Stop logs 20,70 x 21,60 m
 - 2 jogos de 6 painéis cada
 - Peso total (estimado) 900 t
 - 14 jogos de peças embutidas
 - Peso total (estimado) 350 t
- Comportas de Segmento 20,00 x 21,34 m
 - Raio da comporta 20,00 m
 - 14 comportas
 - Peso total (estimado) 4.200 t
 - 14 conjuntos de guincho hidráulico
 - Capacidade unitária 6.000 kN
 - Peso total (estimado) 980 t
 - 14 jogos de peças embutidas

Peso total 321 t

- Pórtico
 - Número de unidades 1
 - Capacidade 785 kN
 - Peso total 100 t

4.12. Barragem Lateral Direita

- Comprimento da crista 986 m
- Cota da crista 225 m
- Altura máxima 64,50 m
- Escavação de rocha $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Escavação de terra $1,0 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Concreto $0,8 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.13. Barragem Principal (Trechos E, F e I)

- Comprimento da crista 1.064 m
- Cota da crista 225 m
- Cota mínima da fundação 29 m
- Altura máxima 196 m
- Escavação de rocha $2,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Escavação de terra $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Concreto $5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Elevadores
 - número de unidades 5
 - capacidade unitária (nº de passageiros) 20

4.14. Estrutura de Desvio (Trecho H)

- Comprimento da crista 170 m
- Cota da crista 225 m
- Cota mínima da fundação 63 m
- Altura máxima 162 m
- Concreto $2,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Aberturas de Desvio 12
 - Largura 6,70 m
 - Altura 22,00 m
- Stop logs de Montante 7,49 x 29,79 m
 - 3 jogos de painéis - peso total 408 t
 - 12 jogos de peças embutidas - peso total 1.200 t
- Comportas Principais (tipo vagão) 8,23 x 22,50 m
(as dimensões excluem a altura da viga de cabeceira)
 - 12 comportas - peso total 3.888 t
 - 12 jogos de peças embutidas - peso total 1.900 t
 - 12 servomotores

capacidade unitária	8.650 kN
peso total (estimado).....	810 t
• Comportas de Emergência (Manutenção).....	7,18 x 26,00 m
– 3 peças móveis - peso total.....	243 t
• Stop logs de Jusante.....	7,49 x 31,98 m
– 3 jogos de painéis - peso total.....	438 t
– 12 jogos de peças embutidas - peso total.....	1.250 t
• Elevador de passageiros	
– número de unidades	3
– capacidade unitária (nº de passageiros)	14 e 17

4.15. Tomadas de Água da Barragem Principal e Estrutura de Desvio

• Número de Unidades	20
• Painéis de grade por tomada	24 x 4,70 x 5,50 m
• 20 jogos de painéis de grade e 20 jogos de peças embutidas	
– peso total (estimado).....	6.320 t
• Guindaste Limpa-Grade	
– número de unidades	2
– capacidade do guincho	200 kN
– capacidade da caçamba	2 m ³
– peso total	80 t
• Stop logs (Reaproveitados da Estrutura de Desvio).....	7,49 x 17,51 m
– 8 jogos de painéis - peso total (aproximado).....	640 t
– 20 jogos de peças embutidas - peso total (estimado)	300 t
• Comportas de Serviço (tipo vagão)	8,23 x 16,35 m
(as dimensões excluem a altura da viga de cabeceira)	
– 20 comportas (14 reaproveitadas da Estrutura de Desvio)	
peso total (aproximado)	4.400 t
– 20 jogos de peças embutidas - peso total (aproximado).....	440 t
– 18 servomotores	
peso total (estimado).....	980 t
capacidade unitária	8.650 kN
• Pórticos	
– número de unidades	2
– capacidade unitária	1.100 kN
– peso total unitário (aproximado).....	228 t
– caminho de rolamento (estimado).....	160 t
• Condutos Forçados	
– número de unidades	20
– diâmetro interno	10,5 m
– comprimento total.....	142,2 m
– peso total (estimado).....	40.860 t
fornecido pelo fabricante dos condutos.....	26.100 t
fornecido pelo fabricante da turbina	14.760 t

4.16. Barragem de Enrocamento

- Comprimento da crista (inclusive o enlace) 1.984 m
- Cota da crista 225 m
- Altura máxima 70 m
- Escavação para as fundações $5,1 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Argila compactada (inclusive bermas) $2,1 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Filtros, transição e enrocamento $10,7 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Volume total de aterros $12,8 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.17. Barragem de Terra Esquerda

- Comprimento da crista 2.294 m
- Cota da crista 225 m
- Altura máxima 30 m
- Argila compactada $3,8 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Outros materiais $0,6 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Volume total de aterros $4,4 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.18. Casa de Força (inclusive áreas de montagem e canal de fuga)

- Número de unidades 20
 - no Rio Paraná 16
 - no Canal de Desvio 4
- Comprimento 968 m
- Largura 99 m
- Altura 112 m
- Cota da laje superior 144 m
- Cota do piso dos geradores 108 m
- Cota mínima da fundação 32 m
- Espaçamento entre as unidades 34 m
- Escavação de rocha $4,3 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Escavação de terra $1,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Concreto $3,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Pontes Rolantes Principais
 - número de unidades 4
 - capacidade unitária 10 MN
 - peso unitário (aproximado) 565 t
 - caminho de rolamento (estimado) 500 t
- Pontes Rolantes de Descarga e Montagem
 - número de unidades 6
 - capacidade unitária 2,5 MN
 - peso unitário (aproximado) 250 t
 - caminho de rolamento (estimado) 15 t
- Pontes Rolantes Auxiliares
 - número de unidades 2
 - capacidade unitária 1,0 MN
 - peso unitário (aproximado) 70 t

- caminho de rolamento (estimado) 155 t
- Pontes Rolantes para Descarga e Movimentação de Transformadores
 - número de unidades 2
 - capacidade unitária 2,5 MN
 - peso unitário (aproximado) 98 t
 - caminho de rolamento (estimado) 220 t
- Pontes Rolantes para Equipamentos SF₆
 - número de unidades 2
 - capacidade unitária 100 kN
 - peso unitário (aproximado) 35 t
 - caminho de rolamento (estimado) 110 t
- Elevadores de Carga (AMD e AMC)
 - número de unidades 2
 - capacidade unitária 30.000 daN
- Elevadores de Passageiros
 - número de unidades 19
 - capacidade unitária (nº de passageiros) de 8 a 42
- Elevadores de Passageiros (Laboratório)
 - número de unidades 1
 - capacidade unitária (nº de passageiros) 6
- Comportas-Ensecadeiras do Tubo de Sucção 10,50 x 11,00 m
 - número de unidades 10
 - peso total (estimado) 1.000 t
 - peças embutidas (para 20 unidades)
 - peso total (estimado) 1.800 t
- Pórtico do Tubo de Sucção
 - número de unidades 3
 - capacidade unitária prevista 1,4 MN
 - peso total unitário (aproximado) 240 t
 - caminho de rolamento (estimado) 136 t

4.19. Turbinas

- Tipo FRANCIS
- Potência nominal unitária 715 MW
- Potência unitária máxima (limitada pelo gerador) 740 MW
- Queda bruta de projeto 120 m
- Queda líquida de projeto 118,4 m
- Queda nominal 112,9 m
- Vazão nominal unitária 660 m³/s
- Diâmetro de entrada da caixa espiral 9,64 m
- Diâmetro do tubo de descarga 8,50 a 8,70 m
- Velocidade específica (referente à queda nominal) 246
- Velocidade do projeto (50/60 Hz) 90,9/92,3 rpm
- Momento de inércia (GD²) 12.000 tm²
- Diâmetro das rodas 8.647 mm
- Número de pás do distribuidor 24
- Peça mais pesada (roda) 300 t
- Peso total de cada unidade (estimado) 3.300 t

4.20. Geradores

- Tipo - Umbrella modificado (DIN W42)
- Número de unidades
 - 50 Hz..... 10
 - 60 Hz..... 10
- Potência nominal unitária
 - 50 Hz..... 823,6 MVA
 - 60 Hz..... 737,0 MVA
- Tensão nominal..... $18 \pm 5\%$ kV
- Momento de inércia (GD^2)..... $\geq 320.000 \text{ tm}^2$
- Tipo de isolamento Classe F
- Máxima temperatura admitida (total)..... 100°C
- Fator de potência ($\cos \varnothing$)
 - 50 Hz..... 0,85
 - 60 Hz..... 0,95
- Componente mais pesado para instalação
 - 50 Hz..... 206,0 kN
 - 60 Hz..... 200,0 kN
- Peso total de cada unidade
 - 50 Hz..... 343,3 kN
 - 60 Hz..... 324,2 kN

4.21. Transformadores Principais dos Geradores

Com circulação forçada do líquido isolante e da água de resfriamento e com mudança de “tap” (sem tensão) $\pm 2 \times 2,5\%$.

- 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 unidade 214 t
- Temperatura máxima admitida (total)
 - média do enrolamento e do óleo isolante 95°C
 - máxima / ponto quente..... 110°C
- Tensão de curto circuito na tensão 525 / $\sqrt{3}$ kV 15 %
- Dimensões (máxima, após instalação)
 - altura 7,645 m
 - comprimento 7,0 m
 - largura 6,440 m

4.22. Transformadores Principais dos Serviços Auxiliares

a) Transformadores Principais

Com resfriamento ONAM e com mudança de “tap” $\pm 2 \times 2,5\%$ (sem tensão)

- 1 banco de 3 transformadores monofásicos
+ 1 unidade de reserva instalada 50 Hz, 525-13,8 kV, 45 MVA
- 1 banco de 3 transformadores monofásicos
+ 1 unidade de reserva instalada 60 Hz, 525-13,8 kV, 45 MVA
- Tensão de Curto-Circuito a 75°C, base 45 MVA, $13,8 / \sqrt{3}$ kV 12 %
- Dimensões (máximas, após instalação)
 - altura 9,670 m
 - comprimento 5,0 m
 - largura 4,55 m
 - peso total de cada unidade 66 t

b) Transformadores de Apoio

Transformador trifásico com resfriamento ONAM-ONAF - ONAF e com mudança de “tap” (sem tensão) $\pm 2 \times 2,5\%$.

- 1 transformador trifásico, 60 Hz 69-13,8kV - 18 / 24 / 30 MVA
- 1 transformador trifásico 50 Hz 66-13,8kV - 23 / 34 / 45 MVA
- Tensão de curto circuito a 75°C - 45 MVA, 66 kV
 - entre primário e secundário apenas para o trafo de 50 Hz
na derivação 66 kV 8 %
 - para trafo de 60 Hz 9 %

Dimensões

- Altura 6,35 m
- Comprimento 5,82 m
- Largura 3,89 m
- Peso total 7,2 t

4.23. Equipamentos Principais dos Sistemas Elétricos Auxiliares da Casa de Força e Áreas de Montagem

- Transformadores Reguladores (3 Ø) —
 - número de unidades
 - 50 Hz 2
 - 60 Hz 2
 - potência nominal 20 / 25 MVA
 - tensão primária 13,8 kV
 - tensão secundária 13,8 kV
 - faixa de regulação $\pm 12\%$, - 20 %
 - tipo de resfriamento LN / VF
 - tensão de curto circuito a 75°C, na base de 20 MVA,
tensão nominal da derivação $\pm 3\%$

- Transformadores Auxiliares (TM)
 - número de unidades
 - . 50 Hz 15
 - . 60 Hz 15
 - potência nominal 1.000, 1.500 e 2.000 kVA
 - tensão superior 13,8 kV
 - tensão inferior 460 V
 - tipo de isolamento seco
- Quadro dos serviços auxiliares (QA)
 - número de unidades
 - . 50 Hz 1
 - . 60 Hz 1
 - tensão nominal 13,8 kV
- Quadro dos serviços auxiliares (QP)
 - número de unidades
 - . 50 Hz 2
 - . 60 Hz 2
 - tensão nominal 13,8 kV
- Subestações Unitárias de Distribuição 460 V (QF, QG, QI, QJ, QY, QM, QZ)
 - número de unidades
 - . 50 Hz 19
 - . 60 Hz 20
 - potência nominal 300, 500, 1.000, 1.500, 2.000 kVA
 - relação de transformação dos transformadores 13,8 kV - 460 V
 - tensão nominal dos quadros 460 V
- Subestações Unitárias de Distribuição 220 V (KCC)
 - número de unidades
 - . 50 Hz 2
 - . 60 Hz 2
 - potência nominal 45, 225 kVA
 - relação de transformação dos transformadores 460 - 220 V
- Subestações Unitárias de Centros de Carga de Iluminação (CLF)
 - número de unidades
 - . 50 Hz 8
 - . 60 Hz 8
 - relação de transformação dos transformadores 460 V - 220 V
 - tensão nominal dos quadros 220 V
- Subestações Unitárias para Equipamentos de informática (CLF)
 - número de unidades
 - . 50 Hz 1
 - . 60 Hz 1
 - potência nominal 300 kVA
 - relação de transformação dos transformadores 460 - 220 V

- Grupos Geradores Diesel de Emergência
 - número de unidades
 - . 50 Hz 2
 - . 60 Hz 2
 - potência nominal 5,25 MVA
 - tensão de geração 6,9 kV
 - tipo de resfriamento água
- Quadros de Distribuição dos Geradores de Emergência (CS)
 - número de unidades
 - . 50 Hz 1
 - . 60 Hz 1
 - tensão nominal 13,8 kV
- Transformadores para os Geradores de Emergência
 - número de unidades
 - . 50 Hz 2
 - . 60 Hz 2
 - potência nominal 5 MVA
 - relação de transformação 6,9 - 13,8 kV
- Equipamento de Corrente Contínua
 - número de unidades 38
 - baterias de acumuladores
 - . capacidade 690, 390, 330, 290, 250, 160, 100, 15 Ah
 - . número de elementos, 94, 60, 39, 37, 20
 - . tensão nominal 125, 48, 24 V
 - tensões nominais dos carregadores 460 V c.a. 125, 48, 24 V c.c.
 - corrente nominal dos carregadores 300, 200, 150, 100, 75, 60, 15 A
- Quadros de distribuição
 - tensão nominal 125, 48, 24 V c.c.

4.24. Equipamentos Principais dos Sistemas Mecânicos Auxiliares da Casa de Força e Áreas de Montagem

- Sistema de Ventilação

Equipamentos para sistema de ventilação mecânica para as galerias de montante, que incluem resfriadores evaporativos, ventiladores, filtros, dutos e grelhas, e para as galerias de jusante, que incluem ventiladores, filtros, dutos e grelhas.

 - número de conjuntos 27
- Sistema de Ar Condicionado

Equipamentos incluindo sistema de água gelada com resfriadores de água, condicionadores de ar, filtros, dutos, difusores, resistências, válvulas e instrumentos de controle para condicionar o hall principal, o auditório e as salas de controle, pronto-socorro e de espera

 - número de conjuntos 1

- Sistema de Óleo Lubrificante
Equipamentos incluindo tanques de armazenamento, purificadores de óleo, bombas, tubulações e acessórios
– número de conjuntos..... 2
- Sistema de Óleo Isolante
Equipamentos incluindo tanques de armazenamento, purificadores de óleo, filtro-prensa, estufa para secagem de papel-filtro, bombas de óleo, bomba de vácuo, tubulações e acessórios
– número de conjuntos..... 2
- Sistema de Proteção Contra Incêndio
Equipamentos incluindo sistemas automáticos de "sprinklers" nos setores administrativos, água nebulizada para os transformadores principais e auxiliares, "spray" para salas de armazenamento de óleo isolante, lubrificante e combustível, rede de detecção e alarme, hidrantes de parede e de coluna, extintores, portas corta-fogo, detetores e alarmes, tubulações e acessórios
– número de conjuntos..... 20
- Sistema Conjugado Anti-Inundação e Drenagem da Água de Resfriamento dos Transformadores Principais
Equipamentos incluindo moto-bombas, CCM e quadros de controle e rede de tubulações e acessórios da galeria anti-iluminação para acumulação de água proveniente do resfriamento dos transformadores e proteção da Casa de Força, com respectivos poços de bombeamento e sistema de recalque
– número de conjuntos..... 5
- Sistema de Drenagem
Equipamentos incluindo moto-bombas, CCM e quadros de controle, acessórios e rede de tubulações para captação de água de drenagem e respectivos poços de coleta e sistema de recalque
– número de conjuntos..... 5
- Sistema de Enchimento e Esgotamento
Equipamentos incluindo moto-bombas, CCM e quadros de controle, acessórios e rede de tubulações para captação de água proveniente dos tubos de sucção, caixas espirais e condutos forçados com respectivos poços de acumulação e sistema de recalque
– número de conjuntos..... 4
- Sistema de Ar Comprimido de Serviço
Equipamentos constituídos por duas Centrais de Ar Comprimido localizadas na AMD e AMC e dotadas de quatro compressores com 44,7 kW, 7,7 m³/min e respectivos reservatórios de ar interligados, tubulações e acessórios
– número de conjuntos..... 2
- Sistema de Esgoto Sanitário

Equipamentos para redes de esgoto, aparelhos e instalações sanitárias, estações de bombeamento (tanques coletores e bombas), estações de tratamento, tubulações e acessórios
 – número de conjuntos..... 2

- Sistema de Água de Serviço e de Água Potável Tratada
 Equipamentos, reservatórios, tubulações e acessórios
 – número de conjuntos..... 4

- Sistema de Água de Resfriamento
 Equipamentos para captação de água bruta das caixas espirais, incluindo válvulas redutoras de pressão e filtros, tubulações e acessórios
 – número de conjuntos..... 20

4.25. Equipamentos Principais dos Sistemas Elétricos Auxiliares da Estrutura de Desvio, Vertedouro e Barragem Principal

- Subestação de Distribuição da Estrutura de Desvio (Trecho H)
 – número de unidades (60 Hz)..... 1
 – relação de transformação dos transformadores..... 13,8 kV - 460 V
 – potência nominal dos transformadores500 kVA
 – tensão nominal dos quadros460 V
- Subestações Unitárias da Barragem Principal (Trecho F) (QT)
 – número de unidades
 . 50 Hz 2
 . 60 Hz 2
 – relação de transformação dos transformadores..... 13,8 kV - 460 V
 – potência nominal dos transformadores750 kVA
 – tensão nominal dos quadros460 V
- Subestações Unitárias das Bombas de Drenagem (QQ) da Barragem Principal
 – número de unidades
 . 50 Hz (Trecho F)..... 2
 . 60 Hz (Trecho I) 1
 – relação de transformação dos transformadores..... 13,8 kV - 460 V
 – potência nominal dos transformadores500, 1.500 kVA
 – tensão nominal dos quadros460 V
- Subestação Unitária do Vertedouro (QK)
 – número de unidades (50 Hz)..... 1
 – relação de transformação dos transformadores..... 13,8 kV - 460 V
 – potência nominal dos transformadores500 kVA
 – tensão nominal dos quadros460 V
- Quadros de Distribuição da Barragem Principal (CK)
 – número de unidades

. 50 Hz	1
. 60 Hz	2
– tensão nominal dos quadros	460 / 220 V
• Subestações de Iluminação da Estrutura de Desvio e Barragem Principal (CL)	
– número de unidades	
. 50 Hz	5
. 60 Hz	5
– relação de transformação dos transformadores	460 V - 220 V
– potência nominal dos transformadores	75 kVA
• Subestação de Iluminação do Vertedouro e Barragem Lateral Direita (CL)	
– número de unidades(50 Hz)	4
– relação de transformação dos transformadores	460 V - 220 V
– potência nominal dos transformadores	75 kVA
• Grupos Geradores Diesel de Emergência do Vertedouro	
– número de unidades (50 Hz)	2
– potência nominal	200 kVA
– tensão nominal	460 V
• Características dos Equipamentos de Corrente Contínua, Baterias, Carregadores e Quadros da Barragem Principal	
– número de conjuntos (carregador + bateria + quadro)	
. 50 Hz	4
. 60 Hz	4
– capacidade das baterias de acumuladores	2 x 160 Ah e 6 x 290 Ah
– tensão nominal	125 V
– tensões nominais dos carregadores	460 V c.a. - 125 V c.c.
– corrente nominal dos carregadores	150, 75 A
• Baterias, Carregadores e Quadros do Vertedouro	
– número de conjuntos (carregador + bateria)	4
– frequência dos carregadores	50 Hz
– capacidade das baterias de acumuladores	112, 100 Ah
– tensão nominal	125, 48 V c.c.
– tensões nominais dos carregadores	460 V c.a. – 125, 48 V c.c.
– corrente nominal dos carregadores	35, 30 A

4.26. Equipamentos Principais dos Sistemas Mecânicos Auxiliares das Barragens e Vertedouro

• Sistema de Drenagem	
– número de conjuntos	7
• Sistema de Água Potável Tratada	
– número de conjuntos	4
• Sistema de Esgoto Sanitário	
– número de conjuntos	4

- Sistema de Ventilação
 - número de conjuntos..... 27
- Sistema de Proteção Contra Incêndio
 - número de conjuntos..... 20

4.27. Subestação da Casa de Força

A subestação isolada a gás SF₆ (SIG) de 500 kV, setores de 50 e 60 Hz, tem a função de receber a energia das Unidades Geradoras, através dos transformadores elevadores, possibilitando todas as manobras necessárias para a transmissão desta energia através das linhas de 500 kV para SEMD - 50 Hz ou subestação Foz do Iguaçu - (FURNAS) - 60 Hz.

Cada subestação isolada a gás SF₆ (50 / 60 Hz) é constituída dos seguintes “bays”:

- Um “bay” barra dupla - disjuntor duplo para os transformadores principais dos serviços auxiliares.
- Quatro “bays” barra dupla - disjuntor duplo para saídas de linha.
- Cinco “bays” disjuntores e meio para as Unidades Geradoras (sendo um incompleto)
- Dois “bays” de seccionamento de barras.

As quantidades de equipamentos são:

1) Setor 50 Hz

a) Equipamentos de SF₆

- Cubículos de controle 12
- Disjuntores (c/2 chaves isoladoras cada) 26
- Chaves seccionadoras..... 62
- Pára-raios 27
- Chaves de aterramento 85
- Buchas monofásicas SF₆ - ar..... 15
- Barras principais monofásicas de 4000 A..... 2.220 m
- Barras auxiliares monofásicas de 4000 A..... 1.100 m
- Transformadores de corrente 66
- Transformadores de potencial 12

b) Equipamentos Convencionais

- Pára-raios 15
- Divisores capacitivos de potencial 12
- Filtros de onda 8

2) Setor 60 Hz

As quantidades são iguais às do setor de 50 Hz com as seguintes exceções:

- Barras principais monofásicas de 4000 A 2.700 m
- Barras auxiliares monofásicas de 4000 A 975 m

4.28. Subestação da Margem Direita

A subestação da Margem Direita é uma subestação de enlace entre os sistemas elétricos do Paraguai e do Brasil com a Central Hidrelétrica de ITAIPU. A energia gerada em 50 Hz (7.368 MVA) é transmitida em 500 kV até esta subestação, onde é seccionada e enviada nesta tensão para o Brasil e transformada aos níveis de 220 e 66 kV para ser transmitida até o Paraguai nos níveis de 220 kV e 500 kV. A tensão de 66 kV serve para alimentação dos serviços auxiliares da Usina e SE conversora de FURNAS.

Atualmente está operando um Sistema de Controle Computadorizado, que realiza a Supervisão e o Controle das instalações existentes em 500/220 e 66 kV. A Operação, Supervisão e Controle é realizada através de uma Work Station que está instalada na Sala de Controle da SEMD. Os Dispositivos de Aquisição de Dados e Controle DAUC's são os responsáveis em adquirir as informações necessárias para o sistema e são os seguintes:

- DAUC 01 - Supervisiona e controla o setor de 500 kV existente + T1/T2 e T3.
- DAUC 02 - Supervisiona e controla o setor de 220 kV existente + R1/R2 e R3.
- DAUC 03 - Supervisiona e controla o setor de 66 kV e Serviços Auxiliares.
- DAUC C - (redundante) Supervisiona e controla em forma totalmente digital o "bay" L4.
- DAUC F - (redundante) Supervisiona e controla o T4/R4 e o futuro seccionamento de barras de 220 kV.
- DAUC J - (redundante) Supervisiona e controla em novo "bay" de saída de 66 kV (L3).
- IFS - (redundante) Painel de Interface para Supervisão e Controle dos seguintes "bays" TX/RX, T5/R5, Saída da Linha de 500 kV para a SE Villa Hayes, Seccionamento das Linhas L3/L11 e L4/L12 e Sistemas de proteção das Linhas de 220 kV e 500 kV.

1) Pátio 500 kV

- Quatro "bays" completos de disjuntor e meio para conexão das linhas L1, L2, L3, L4, L9, L10, L11 e L12 de 500 kV (total de 12 disjuntores e equipamentos associados).
- Um "bay" completo de disjuntor e meio para conexão aos autotransformadores T1 e T2 (total de 3 disjuntores e

equipamentos associados).

- Um “bay” completo de disjuntor e meio para conexão aos autotransformadores T3 e T4 (total de 3 disjuntores e equipamentos associados).
- Um “bay” completo de disjuntor e meio para conexão com os autotransformadores TX e T5 (total de 3 disjuntores e equipamentos associados).
- Um “bay”, parcial, para conexão da saída de linha em 500 kV para a Subestação de Villa Hayes (total de 2 disjuntores e equipamentos associados).
- Dois Conjuntos de disjuntores e equipamentos associados para acoplamento dos barramentos de 500 kV;
- Barramentos rígidos principais de 525 kV - 8000 A, tubo de alumínio de 10", compr. Aprox. 7 km.
- Um “bay” completo de disjuntor e meio para conexão das linhas L13 e futuro L14 (total dos disjuntores e equipamentos associados), saída de LT para SE Villa Hayes.

2) Pátio 220 kV

- Seis autotransformadores (T1, T2, T3, T4, TX e T5) 525 - 220-13,8 kV, 3 Ø, 450 MVA.
- Seis reguladores (R1, R2, R3, R4, R5 e RX) 220 / 220 kV 3 Ø 375 MVA;
- Dois transformadores (T6 e T7) 220 - 66 - 13,8 kV, 3 Ø, 25 MVA.
- Cinco vãos completos de disjuntor e meio para conexão das linhas L1, L2, L3 e L4 de 220 kV (total de 9 disjuntores),
- um vão completo para conexão dos Reguladores R5 e RX (Total de 3 disjuntores).
- Um vão completo de disjuntor e meio para conexão dos transformadores T6 e T7 (3 disjuntores).
- Barramentos rígidos principais de 220 kV - 4000 A, tubo de alumínio de 5" IPS, comprimento aproximado de 720 m.

3) Pátio 66 kV

- O pátio de 66 kV é constituído de seis disjuntores e equipamentos associados. O pátio está ligado aos transformadores T6 e T7 e a

linhas L1, L2 e L3 de 66 kV.

- Está prevista a implantação de um novo “bay” para o transformador T8 (66/23 kV) para alimentar o futuro centro de distribuição (CE-01) em 23 kV, que será o centro de carga para a Área Prioritária e sua influência.

4) Diversos

- Casa de Relés com dois pavimentos 20 x 40 m
- Estação de bombeamento 15 x 10 m
- Cubículos de 13,8 kV 2 conjuntos
- Grupo gerador de emergência, 250 kVA..... 1
- Baterias 125 V CC, 450 Ah 2 conjuntos
- Baterias 125 V CC, 690 Ah (Casa de relés)..... 2 conjuntos
- Baterias 125 V CC, 690 Ah (Caseta 2CCB-1)..... 2 conjuntos
- Casetas de rele locais para supervisão e controle dos “bays” L4 e T4, T5 e TX, Saída de linha para SE Villa Hayes e Pátio do Seccionamento.

4.29. Interligações Aéreas em 500 kV

- Casa de Força - Tomada d'Água (8 circuitos) 100 m (p/circuito)
- Tomada d'Água - Subestação MD (4 circuitos) 2,1 km (p/circuito)
- Tomada d'Água - Subestação Foz do Iguaçu
(Margem Esquerda - 4 circuitos) 7,8 km (p/circuito)
- Subestação MD - Subestação Foz do Iguaçu ME
(4 circuitos)..... 8,7 km (p/circuito)
- Quantidade de torres..... 219
- Condutor “RAIL” - 954 kcmil - ACSR (4 por fase)..... 1.038 km
- Cabo Pára-Raios “PARTRIDGE” - 266,8 kcmil - ACSR 145 km
- Cabo Pára-Raios “OPGW” – 10 fios aço-alumínio, 36 fibras ópticas 28 km
- Subestação MD - Subestação Vila Hayes (1 circuito) 370 km

4.30. Interligações Aéreas em 220 kV

- Subestação MD - Usina de Acaray (2 circuitos)5,0 km (p/circuito)
- Quantidade de torres..... 33
- Condutor “RAIL” - 954 kcmil - ACSR (2 por fase)..... 72 km
- Cabos Pára-Raios “PARTRIDGE” - 266,8 kcmil - ACSR 24 km

4.31. Interligação Aérea em 66 kV

- Subestação da MD - Subestação de Foz do Iguaçu (ME) 9,5 km
- Quantidade aproximada de estruturas 70
- Condutor “PARTRIDGE” - 266,8 kcmil - ACSR 30 km
- Cabo Pára-Raios de aço galvanizado Ø 5/16 " HS 10 km
- Subestação da MD – Subestação Acaray (ANDE)..... 0,8 km
- Quantidade aproximada de estruturas 6
- Condutor “PARTRIDGE” - 266,8 kcmil – ACSR 2,5 km
- Cabo Pára-Raios de aço galvanizado Ø 5/16 " HS 1 km

4.32. Interligação Subterrânea em 66 kV

- Subestação MD - Casa de Força 3 km
- Cabo singelo a óleo (1 cabo por fase e 1 de reserva)..... 12 km