

Pequena Central Hidroelétrica

Lívia Cecilia Silva 2369242

Profº Jurandir Itizo Yanagihara

ÍNDICE

Parte I *Apresentação e Considerações Iniciais*

1 Introdução	2
2 PCH EPUSP	11
3 Extensão do Fornecimento e Definições Básicas	17

Parte II *Especificação Técnica da PCH EPUSP*

1 Turbinas	21
2 Regulador de Velocidade	31
3 Válvula Borboleta	34
4 Conduto Forçado	39
5 Gerador	40
6 Comportas, Adufas, Grades e Acessórios	59
7 Equipamentos de Manobra	71
8 Sistemas Auxiliares Mecânicos	76
9 Subestação de 13,8kV da Casa de Força	79
10 Sistema de Supervisão, Controle e Proteção	86
11 Serviços Auxiliares de Corrente Alternada	92
12 Serviços Auxiliares de Corrente Contínua	96
13 Subestação 138kV	98
14 Aterramento	99
15 Comissionamento	100
16 Materiais e Qualidade de Execução	102

Anexo *Generalidades sobre Usinas Hidroelétricas*

Componentes e Funcionamento de uma	124
1 Usina Hidroelétrica	132
2 Hidrogeradores	151
3 Turbinas	161
4 Comportas Hidráulicas	

Bibliografia

169

Parte I

Apresentação e Considerações Iniciais

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta uma especificação técnica para o fornecimento de equipamentos eletromecânicos para uma Pequena Central Hidroelétrica – PCH.

Numa primeira etapa, escolheu-se um local para o aproveitamento e foi realizada uma pesquisa sobre o trâmite burocrático para a concessão junto à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Para o estabelecimento da necessidade, foi realizado um estudo sobre a situação energética do país. A seguir, foram formuladas as características do projeto e a partir destas foi desenvolvida a especificação técnica.

Panorama Energético Nacional

No período entre 1998 e 2007, o cenário de crescimento do consumo de energia elétrica prevê um crescimento anual médio de 5% ao ano. A capacidade instalada do país deverá crescer para 95700MW, criando a necessidade de novos projetos de oferta de geração da ordem de 3640MW por ano. Previsões indicam que participação termelétrica crescerá de 8% para 17% neste período, serão instalados cerca de 50000km de linhas de transmissão em todo o país e cerca de 100000MVA em subestações. Esse reforço exigirá, nos primeiros cinco anos, investimentos da ordem de R\$ 8 bilhões por ano.

A participação do setor privado será fundamental e crescente para superar a deficiência energética que o país enfrenta, sempre sob o enfoque da rentabilidade do capital investido e dos riscos do negócio. Faz-se necessária a identificação e viabilização de projetos de rápida maturação em conjunto com o setor privado por meio de financiamentos e associação consorciada.

Recentemente, pode-se dividir os empreendedores privados em três categorias básicas, a saber.

- Capital privado nacional investido na geração de energia para comercialização integrada ao sistema nacional
- Capital privado nacional investido na autoprodução para consumo interno como reflexo da expansão da indústria eletrointensiva, como por exemplo a de alumínio.
- Capital privado internacional dos chamados IPP's – Independent Power Producers, cuja produção independente se torna cada vez mais expressiva.

A partir da década de 90, a iniciativa privada trouxe para o setor um novo conjunto de regras contratuais entre clientes e a indústria fornecedora de equipamentos eletromecânicos, muito mais rígidos que os clientes até então, basicamente estatais. Os investidores privados provocaram uma revolução de profissionalismo na indústria para atender exigências em relação a prazos, qualidade e energia assegurada, entre outros. Mais recentemente, os IPP's, com normas contratuais internacionais ainda mais rígidas, acirraram a competitividade entre as empresas do ramo.

Apesar da existência de um grande potencial hidroelétrico a aproveitar, capaz de suprir o país por mais duas décadas, justifica-se estrategicamente planejar um programa termoelétrico de transição, para a época em que o potencial hidroelétrico se tornar menos competitivo, pelo custo das usinas ou por sua distância em relação aos mercados.

A exploração desse potencial, tradicionalmente efetuada por empresas de economia mista, cujos acionistas majoritários são a União, os governos estaduais ou municipais, que respondem por mais de 99% da produção nacional de energia elétrica para uso público, vem cada vez mais, contando com a participação da iniciativa privada.

Independentemente, porém, do caráter público ou privado dos agentes encarregados do suprimento de energia elétrica, é de fundamental importância que a operação e a expansão dos dois sistemas elétricos brasileiros – Norte/Nordeste e Sul/Sudeste/Centro-Oeste – com alto grau de interligação entre seus componentes, continuem a ser realizadas de forma coordenada. A interligação permite obter dos sistemas uma produção energética superior à que seria proporcionada pela soma das produções das usinas em operação isolada.

As atividades de planejamento da expansão e da operação dos sistemas elétricos são coordenadas, respectivamente, pelo GCPS – Grupo Coordenador do Planejamento dos sistemas elétricos e pelo GCOI – Grupo Coordenador para Operação Interligada que reúnem as empresas geradoras e distribuidoras de energia elétrica, sob a coordenação da ELETROBRÁS.

A lei nº8987/95, chamada “Lei da Concessões” além de criar condições para maior participação de capital privados, introduziu a competição na construção de novos projetos mediante regulamentação do regime de licitação das concessões, outorgadas anteriormente somente às concessionárias estaduais ou federais.

A lei nº9074/95, estabeleceu as bases legais para que os grandes consumidores de energia possam comprar energia livremente; antes, a aquisição era feita obrigatoriamente da empresa geradora da região.

O decreto nº2003/96 regulamentou a figura do produtor independente, peça-chave no novo sistema, além de autorizar a venda da produção excedente do autoprodutor.

O início de operação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, criada pela lei nº9427/96, como órgão regulatório do setor, inaugurou uma nova etapa do setor elétrico brasileiro.

Finalmente, a lei nº9648/98, dentre outras disposições, definiu o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) e a figura do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, que vêm proporcionar um ambiente favorável em direção à livre negociação da energia elétrica. É importante notar que esses atos normativos, que conformam o novo mercado de energia, também estabeleceram limites à concentração de mercado e destacam os interesses dos usuários e consumidores como uma das preocupações básicas da nova estrutura regulatória e viabilizam a expansão do sistema elétrico por intermédio de capitais privados.

A privatização das distribuidoras, é um fator de estímulo às mudanças e à consolidação da nova realidade econômica e comercial do sistema elétrico.

É preciso também investimentos públicos de grande importância para o suprimento de energia elétrica do País, notadamente aqueles incluídos no Programa Brasil em Ação. A interligação Norte-Sul do sistema Elétrico Brasileiro foi concluída ao final de 1998, proporcionando ganhos de eficiência na utilização dos sistemas instalados de geração, correspondente a um acréscimo de capacidade equivalente a 1000MW. Ainda no programa Brasil em Ação, a geração de energia elétrica na região Nordeste foi ampliada em 3000MW, com a conclusão da usina de Xingó. Construiu-se, também o tramo da usina de Tucuruí, assegurando o suprimento de energia da região oeste do Pará, e ampliou-se o sistema de transmissão Associado à Usina de Xingó, melhorando o suprimento de energia elétrica da região Nordeste.

O reforço na interligação Sul/Sudeste com a implantação do terceiro circuito da Usina de Itaipu entre Foz do Iguaçu e Ivaiporã e a própria Usina de Itaipu ampliando a sua capacidade em 1400MW adicionais com a instalação de duas unidades adicionais, também representam o esforço já realizado pelo setor elétrico.

Importantes parcerias com o setor privado já vem sendo definidas tais como a UHE Eduardo Magalhães (Lajeado) de 850MW, UHE Serra da Mesa de 1293MW e a UHE Itá de 1450MW. Diversas outras usinas estão com processos de parceria em andamento tais como as UHE's: Itiquira (256MW), D. Francisca (125MW), Irapé (360MW), Machadinho (1140MW) e Cana Brava (450MW). Este programa de parcerias visa acelerar a participação do setor privado no programa de expansão de geração de energia elétrica no País.

A usina nuclear de Angra II prossegue com as obras de implantação em ritmo normal devendo se constituir um grande reforço de 1300MW para a região Sudeste do País.

Além disso destacam-se a integração energética do Brasil com a Argentina, com o Uruguai e com a Venezuela. No primeiro caso, a Argentina fornecerá 1000MW de potência firme ao sistema elétrico brasileiro. Além disso, encontra-se em fase de instalação a Usina Termelétrica de Uruguaiana, com capacidade de 600MW, abastecida com gás argentino. Já a interligação Brasil/Uruguai, a primeira entre os dois países, tem capacidade de 70MW e liga Rivera (URG) a Santana do Livramento (RS), com otimização da operação energética e melhoria do atendimento à região Sul. A interligação de 200MW com a Venezuela para atendimento à Boa Vista resolverá o problema de abastecimento daquela região. No período 1999/2008, a previsão de crescimento do consumo total de energia elétrica das concessionárias para todo o País adotado como referência é de 4,7%

ao ano. A capacidade instalada deverá crescer de 61300MW para 104600MW criando uma necessidade de novos projetos de oferta de geração da ordem de 4330MW por ano. A participação termelétrica crescerá de 8,6% para 19% no período. Serão instalados cerca de 50mil km de linhas de transmissão em todo o País e cerca de 96mil MVA em subestações. Este reforço exigirá, nos primeiros cinco anos, investimentos totais da ordem de R\$8,5 bilhões por ano.

Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCH's

O atendimento à crescente demanda de energia elétrica no país tem exigido do Ministério da Minas e Energia – MME uma atuação constante no sentido de garantir condições para que a iniciativa privada venha a implementar novas unidades geradoras, de modo que a expansão da oferta de energia se possa dar de maneira rápida e eficiente.

A idéia de que o potencial hidroelétrico brasileiro está esgotado é falsa. O Brasil possui um grande potencial ainda não aproveitado. Deste potencial se destacam os pequenos aproveitamentos na forma de Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCH's (até 30 MW de potência instalada), empreendimentos atrativos em função do menor impacto ambiental, menor volume de investimentos, menor prazo de maturação e crescente incentivos legais tais como:

- Outorga para o empreendimento sem necessidade de licitação
- Isenção de pagamento de taxa de compensação financeira aos Estados e Municípios
- Possibilidade de comercializar de imediato a energia elétrica produzida com consumidores cuja carga seja maior ou igual a 500kW

-
- Isenção de pagamento por uso das redes de transmissão e distribuição para PCH's que entrarem em operação até o ano de 2003 e redução de no mínimo 50% deste custo para a que entrarem depois dessa data

São classificadas como PCH's plantas cuja potência instalada seja não superior a 30MW.

A ELETROBRÁS¹, em parceria com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, em consonância com os esforços do MME, e de modo a ampliar as condições de viabilização desses empreendimentos, está implantando o "Programa de Desenvolvimento e Comercialização de Energia de Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCH-COM", destinado a incentivar a produção de energia através de projetos de PCH's que possam se conectar ao Sistema Interligado Brasileiro. O PC-COM pretende solucionar uma das principais dificuldades encontradas pelos empreendedores de PCH's no que se refere à obtenção de financiamento.

A obtenção de crédito para os empreendimentos junto aos agentes financeiros está vinculada à existência de uma garantia de venda de energia da usina, através de contratos de longo prazo. Nessa parceria, o BNDES oferece o financiamento para a construção das PCH's e a ELETROBRÁS garante a compra da energia das usinas através de contratos de longo prazo, de modo a garantir o acesso dos empreendedores ao financiamento do BNDES. As energias contratadas das PCH's serão comercializadas pela ELETROBRÁS.

¹ O Sistema Eletrobrás atua como agente do Governo Federal, exercendo funções empresariais de cunho institucional e de coordenação e integração do setor. Participa com quase 60% da geração de energia elétrica no país, incluindo a UHE Itaipu com 12.600MW, e com 64% da transmissão em linhas de tensão superior a 230kV. Atua, também, no relacionamento internacional, na gestão ambiental e em programas de combate ao desperdício, através do Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica – Procel.

O trâmite legal para se obter uma concessão de um aproveitamento hidroelétrico, no caso de uma PCH, corre em paralelo junto à ANEEL e ao órgão ambiental responsável.

Junto à ANEEL

- *Primeira etapa: Entrada de pedido de registro para inventariar um rio.*

Nesta etapa, a ANEEL determina uma data para a conclusão e apresentação dos resultados dos estudos do rio em questão do qual deve constar a partição de quedas possível.

- *Segunda etapa: Escolha de um aproveitamento e registro do estudo do mesmo*

Após a escolha de uma das quedas apresentadas no inventário do rio, o interessado no aproveitamento deve apresentar em data determinada pela ANEEL um projeto básico que será submetido à aprovação da ANEEL. Neste ponto se iniciam os estudos ambientais que serão descritos adiante.

- *Terceira etapa: Aprovação do projeto básico*

- *Quarta Etapa: Outorga de Autorização*

Do ponto de vista da ANEEL, o interessado tem neste momento a permissão para construir a usina. Se a parte ambiental estiver conforme, o projeto e as obras podem ter início.

Junto ao Órgão Ambiental competente

Quando o rio não é um rio de divisa de estados, os órgão ambiental estadual é responsável por conceder a licença ao empreendimento.

Paralelamente a entrada do pedido para realização do projeto básico junto à ANEEL, iniciam-se os estudos referentes aos impactos ambientais. Primeiramente o órgão ambiental emite uma licença prévia, da qual consta uma lista de exigências que devem ser cumpridas para a obtenção da licença de instalação, necessária para o início das obras. Uma vez concedida a licença de instalação, a obra se inicia. Após o término da implementação da usina, é necessário ser emitida uma licença de operação. Esta licença é emitida mediante um plano de controle ambiental que consiste de um documento especificando ações de cunho ambiental que devem ser tomadas durante a operação da usina tais como: reflorestamento dos arredores, relatórios sobre a qualidade da água, monitoramento da movimentação de peixes, etc. Esta licença de operação é renovada periodicamente se os itens determinados no plano de controle ambiental estiverem sendo cumpridos.

A concessão dura em média de 30 a 35 anos e pode ser renovada após este período por outros 30 ou 35 anos. Depois desse período, o direito de exploração do aproveitamento volta para o governo. É importante salientar que os estudos econômicos são realizados dentro do prazo inicial de 30 anos, sem contar com a possível renovação da autorização por parte do governo

2. PCH EPUSP

2.1 Resumo

A PCH EPUSP caracteriza-se pelo aproveitamento de uma grande queda natural, em um rio no Mato Grosso do Sul. A finalidade da implantação dessa usina, com potência instalada prevista de 21,0MW, é a geração de 13,23 MW de energia firme, que poderão ser acrescentados ao Sistema Interligado, visando suprir a Região nordeste de Mato Grosso do Sul. A potência nominal instalada (10,5MW, por máquina) foi definida com base nas características físicas do aproveitamento (e rendimento da turbina de 93% e do gerador de 97%), buscando resultar a mais próxima possível da anteriormente determinada.

Os estudos energéticos e econômicos de dimensionamento, que definiram a capacidade instalada da PCH EPUSP, foram efetuados com base em critérios e metodologias aprovados Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão – CCPE. Foram simulados seis valores de potência da usina: 15MW, 17MW, 19MW, 21MW, 23MW e 25MW.

A metodologia utilizada, com base na razão benefício/custo incremental, consistiu em aumentar a capacidade instalada até que o benefício econômico da usina, proveniente do ganho de energia valorado pelo Custo Marginal de Dimensionamento de Energia, deixasse de superar os incrementais dos custos anuais do investimento provenientes do aumento da potência da usina. Através desses cálculos, concluiu-se que a potência instalada ótima é da ordem de 21 MW.

A PCH EPUSP será interligada ao Sistema Elétrico Brasileiro através de uma linha de transmissão, em 138kV, a ser construída a partir da subestação elevadora da usina.

O orçamento estimado para implantação de um aproveitamento deste porte é da ordem de R\$35.000.000,00.

2.2 Parâmetros Iniciais – Estudos Hidrológicos

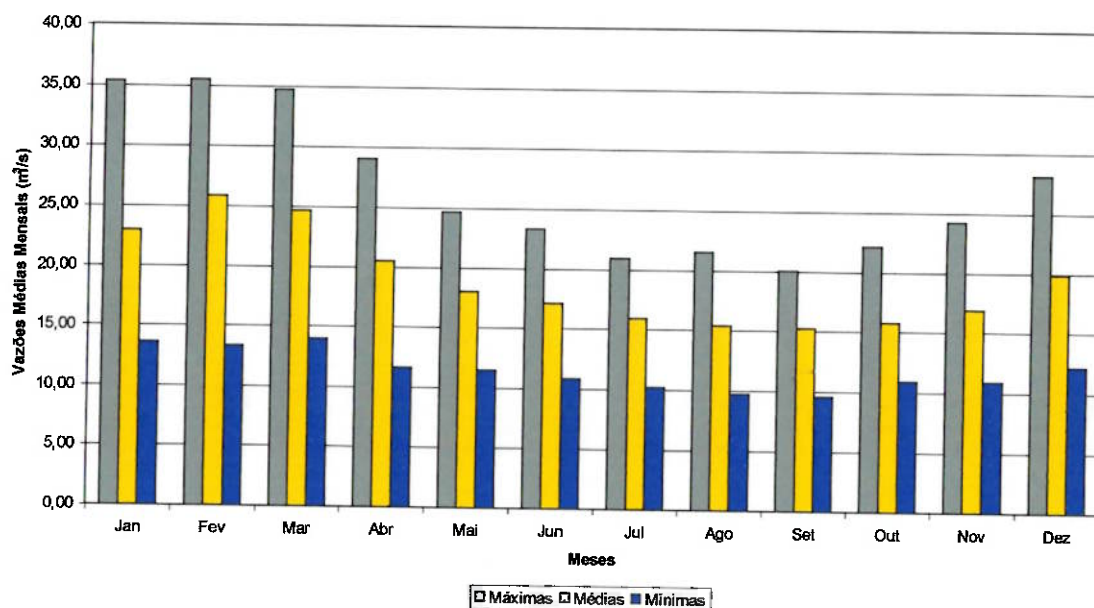
Níveis de água

- Normal	El. – 551,00
- Máximo (enchente milenar)	El. – 553,25
- Mínimo operacional	El. – 550,50

Vazões

- Média mensal do período histórico	19,02m ³ /s
- Mínima mensal	9,58m ³ /s
- Máxima mensal	35,52m ³ /s
- Milenar	340m ³ /s
- Obras de desvio – TR 25 anos	210 m ³ /s
- Normal turbinada	28 m ³ /s

**Sazonalidade de Vazões Médias Mensais
PCH Paraíso**



Quedas

- Máxima	91,35m
- Nominal ou de projeto	89,00m
- Nominal útil	86,30m

3.4 Desenvolvimento Inicial

A especificação dos equipamentos de uma usina hidroelétrica começa pela seleção de uma turbina adequada às condições de vazão e de queda inventariadas pela civil.

Considerando os rendimentos padrões:

Para turbina	0,93
Para gerador	0.97

Temos que o rendimento do conjunto é o produto dos rendimentos igual à 90,21%.

Além dos parâmetros do rio, a rotação turbina depende ainda do gerador, uma vez que número de pólos do gerador determina a rotação de operação da unidade geradora (turbina+gerador).

O número de turbinas a serem instaladas varia de acordo com a potência total e com a filosofia do projetista, sendo essa escolha, portanto, bastante subjetiva. No caso de uma PCH, como a potência instalada é baixa, seria viável a instalação de apenas uma unidade hidrogeradora, no entanto não é prática comum por motivos operacionais. Duas ou mais unidades permite manutenção de uma das unidades sem parada total da usina, além de proporcionar maior maleabilidade de operação. Portanto vamos neste caso dividir a potência instalada de 21MW em duas unidades turbina-gerador. A potência de cada gerador será:

$$PotenciaGerador = \frac{PotenciaNominal}{Rendimento} = \frac{21.000}{2máquinas} \cdot \frac{1}{0,97} = 10.824,7kW$$

A vazão de água turbinada é função da potência nominal, da queda líquida e do rendimento da unidade geradora:

$$VazãoTurbinada = \frac{PotênciaNominal \cdot 75}{736 \cdot QuedaLíquida \cdot RendimentoConjunto} = \frac{21.000 \cdot 75}{736 \cdot 86,30 \cdot 0,9021} = 27,5m^3/s$$

A escolha do tipo de rotor da turbina para estas condições pode ser orientada a partir de um diagrama² de altura de queda x vazão turbinada (H x Q) que relaciona queda líquida e vazão turbinada. Portanto:

Queda Líquida 86,30m

Vazão Turbinada 27,5m³/s

Temos do diagrama que o rotor deve ser do tipo Francis.

Para uma avaliação um pouco mais precisa, é necessário determinar a rotação específica da máquina. A rotação específica da unidade é função da queda líquida, da potência e da rotação:

$$RotaçãoEspecífica = \frac{rotação \cdot \sqrt{Potência}}{QuedaLíquida^{1,25}}$$

A rotação necessária nesta fórmula depende do número de pólos do gerador. A relação entre o número de pólos e a rotação é dada por:

$$Rotação = \frac{Frequência \cdot 120}{NúmeroPólos}$$

onde a frequência de é 60Hz. Assim:

² Vide anexo seção 3 – Turbinas

Rotação (rpm)	Número de Pólos	Rotação Específica Turbina
900	8	355,989304
720	10	284,791443
600	12	237,326203
514,3	14	203,42811
450	16	177,994652

Como quanto maior a rotação, maior serão as perdas, será escolhida, 2 geradores de 16 pólos cada um fixando a rotação do conjunto em 450rpm. Além disso, um número menor de pólos acarreta em uma aumento da rotação específica e altas rotações específicas são características de turbinas. Como o diagrama orientativo já indicou que o rotor deve ser do Francis, devemos optar pela rotação específica mais baixa no quadro acima.

Em relação ao eixo do conjunto, escolheremos uma configuração horizontal. O tempo de implementação do empreendimento deve sempre ser minimizado, dentro dos limites possíveis. A obra civil e a montagem de uma unidade geradora de eixo horizontal é significativamente menor que de numa configuração vertical. Assim, como se trata de uma PCH's e o tamanho das máquinas permite tal configuração, o eixo será vertical de maneira a otimizar o tempo total do empreendimento.

3. EXTENSÃO DO FORNECIMENTO E DEFINIÇÕES BÁSICAS

3.1 Trabalhos Incluídos no Fornecimento

- Projeto Executivo
- Fabricação
- Pré-Montagem
- Pintura
- Embalagem
- Testes dos equipamentos
- Comissionamento
- Ensaio de rendimento no campo

3.2 Escopo de Fornecimento

Hidromecânicos	
Adufa Permanente	1 comporta vagão
	1 comporta ensecadeira
	1 Guincho Elétrico
Adufa Temporária (equipamentos serão transferidos para a tomada d'água canal adutor posteriormente após tamponeamento da passagem)	2 comportas ensecadeiras
	1 Guincho Elétrico
Tomada d'água do Conduto Forçado	1 comporta vagão
	1 grade + Limpa Grades
	1 Guincho Elétrico
Tubo de Sucção	2 comportas ensecadeiras
	1 Guincho Elétrico
Tomada d'água do Canal Adutor	2 comportas ensecadeiras
	2 grades + Limpa Grades
	1 Guincho Elétrico
Turbina	2 unidades
Tipo	Francis Horizontal
Rotação Síncrona	450 rpm
Potência	10.8 MW

Vazão nominal	14 m³/s
Queda Líquida nominal	87 m
Rendimento	93%
Gerador	
Eixo	Horizontal
Potência	0,9
Fator de Potência	12 MVA
Frequência	60 Hz
Rotação Síncrona	450 rpm
Tensão	13.8 kV
Rendimento	97%
Número de fases	Trifásico
Regulador de Velocidades	
	via PLC
Órgão de Proteção	
	2 unidades
Tipo	Válvula Borboleta
Comando de fechamento	Contrapeso
Comando de abertura	Servomotor
Central Hidráulica	Comum ao regulador
Conduto Forçado	
	em chapas de aço soldadas
	bifurcado
Auxiliares Mecânicos	
Sistema de Drenagem	
Sistema de Ar Comprimido de Serviço	
Ar Condicionado da Sala de Comando	
Sistema de Combate a Incêndio	
Subestação de 13,5kV da Casa de Força	
Equipamentos	6 cubículos
	Barramento
	Disjuntores
	Fusíveis
	Transformadores de Corrente
	Transformadores de Potência
Comando, Controle e Proteção	
Sistema Digital de Supervisão e Controle	
	Comandado da sala de comando ou remotamente (Supervisão por CLP's)
Quadros	Quadro de Controle da Unidade Geradora (1 e 2)
	Quadro de Controle da Subestação 138kV
	Quadro de Controle de Serviços Auxiliares
Serviços Auxiliares Elétricos de C. Alternada	
2 Transformadores de Serviços Auxiliares	
Quadro de Distribuição Geral	

Centro de Controle de Bombas	
Gerador de Emergência	
Serviços Auxiliares Elétricos de C. Contínua	
Banco de Baterias e Carregadores	
Subestação 138kV	
Equipamentos	Transformador Elevador
	Disjuntor de 145kV
	Chave Seccionadora
	Transformadores para Instrumentos
	Tranformador de Potencial
	Transformador de Corrente
	Pára-raios
Malha de Aterramento	

Parte II

Especificação Técnica da PCH EPUSP

1. TURBINAS

1.1 Tipo e Descrição

A casa de força da usina deverá se equipada com duas turbinas, tipo Francis, eixo horizontal, rotor simples, caixa espiral de aço, dois mancais (um guia e um de escora), rotação de 450rpm, com potência no eixo de 10.800kW (considerando o rendimento do gerador de 97%), quando operando com uma queda líquida nominal de 87,00m e vazão em torno de 14 m³/s. Cada turbina irá operar acoplada diretamente a um gerador síncrono, 60Hz, trifásico, potência nominal contínua de 12 MVA, fator de potência de 0,9.

O fornecimento incluirá o projeto e a fabricação, todas as tubulações de água, ar, óleo bem como toda a cablagem elétrica até a caixa de terminais, além de testes na fábrica.

Deverão ser fornecidos também todos os dispositivos especiais para içamento, montagem e desmontagem da roda da turbina. Tais dispositivos serão considerados parte do fornecimento.

1.2 Características Técnicas

1.2.1 Rendimento

Com duas unidades geradoras operando com 21.000kW (medido no lado de 138kV do transformador), vazão total de 28,0 m³/s (medido no canal de adução), nível de montante na cota 551m, gerador com tensão e fator de potência nominais, o rendimento da turbina não deverá ser inferior a 93%. O fornecedor deverá indicar qual o processo que irá utilizar para medição da vazão, bem como apresentar certificado de aferição do equipamento.

O fornecedor deverá apresentar memorial descritivo indicando as faixas de operação, níveis de montante, queda bruta, perdas esperadas em cada seção de passagem do fluxo d'água (canal de adução, conduto forçado, turbina, mancal e válvula borboleta), bem como os pontos não recomendados de operação devido a cavitação.

1.2.2 Faixa Operativa

As turbinas deverão operar satisfatoriamente, sem apresentar oscilações, vibração ou sinais de cavitação excessivos, entre os limites de 50 e 100% da potência nominal.

1.2.3 Limites de Velocidade e Pressão

O fornecedor deverá definir o tempo de fechamento do servomotor para garantir que após uma falha elétrica, com as duas unidades operando ligadas ao sistema, nas mais severas condições de queda, com abertura máxima do distribuidor, a sobrevelocidade da unidade não exceda a 50% da velocidade nominal e que a elevação da pressão na entrada da turbina não exceda 30% da pressão correspondente à máxima pressão operacional. Para o caso de eventual falha no sistema de regulação, o dispositivo de proteção de sobrevelocidade deverá ser ajustado em 155% da rotação nominal. O fabricante da Turbina deverá coordenar com o fabricante do gerador qual o momento de inércia (GD^2) para garantir tais limites. Caso seja fornecido um volante adicional, providências deverão ser tomadas quanto à necessidade de mancal adicional. O mancal deverá atender às Especificações Técnicas dos mancais do gerador.

O fornecedor deverá indicar na proposta a máxima rotação de disparo, com a unidade operando nas condições de queda líquida máxima. A turbina deverá suportar os esforços, tensões e elevação de temperatura decorrentes da operação na rotação de disparo por 15 minutos.

1.2.4 Cavitação

O fabricante deve garantir que não haverá erosão excessiva do rotor causada por cavitação durante o período de garantia contra cavitação de 8000 horas de funcionamento efetivo não ultrapassando dois anos após o comissionamento das máquinas.

Cavitação excessiva se caracteriza por uma massa de metal arrancada do rotor superior a

$$P(kg) = K \frac{D^2 n}{8000}$$

Onde:

P = massa do material em kg

K = 0,80

n = número de horas de funcionamento

D = diâmetro externo do rotor em m

desde que o rotor não opere mais de 10% do tempo abaixo da potência mínima ou mais de 50 horas por ano acima da potência máxima.

Na garantia contra cavitação a ser assegurada pelo fornecedor não deve contabilizar erosão ou danos causados por partículas sólidas em suspensão na água, tampouco corrosão causada por substâncias químicas agressivas, por reação galvânica ou eletrolítica.

1.3 Caixa Espiral

A caixa espiral deverá ser construída em chapas de aço, calandradas e devidamente soldadas de acordo com a espessura da chapa e parcialmente fixada a estrutura de concreto. Deverá ser projetada para uma pressão de serviço correspondente à pressão máxima, equivalente à sobrepressão resultante de uma falha elétrica com queda máxima e distribuidor totalmente aberto.

O projeto e construção da turbina deverá levar em conta a facilidade de acesso, montagem e desmontagem das diversas partes e de seus componentes, incluindo portas de visita na caixa espiral e no tubo de sucção, e fácil acesso a roda da turbina. A caixa espiral deve ainda ser provida de uma janela de inspeção, de uma tomada de pressão para instalação de um manômetro e de um flange para ligação com a válvula borboleta

Após a montagem na obra, a caixa espiral deverá ser testada com uma pressão equivalente a 150% da pressão de projeto. Todo o material necessário e a execução dos testes será de responsabilidade do fornecedor.

Deverão ser fornecidos todos os dispositivos, tubulações, válvulas, instrumentação e transdutores para a medição de pressão na caixa espiral, tampa da turbina, tubo de sucção, e de vazão da turbina e do sistema de resfriamento da vedação do eixo. Os instrumentos deverão ser montados em um painel apropriado, próximo à turbina.

Na parte mais baixa da caixa espiral deverá ser previsto uma conexão para a drenagem da mesma. A tomada deverá ser protegida por grelha para evitar a entrada de detritos. A tubulação e válvula para a conexão até a drenagem estão incluídas no fornecimento.

1.4 Pré Distribuidor, Distribuidor e Palhetas Diretrizes

O pré-distribuidor será em chapas de aço soldadas e será soldado à caixa espiral na fábrica. Após a montagem do conjunto será realizado na fábrica um teste hidrostático a uma pressão adequada. O conjunto será transportado em uma peça até a obra, a fim de minimizar os trabalhos de montagem na obra.

O projeto do distribuidor deve evitar o aparecimento de fenômenos que provoquem ressonância, provocada por vibrações que surjam pela passagem da água pelas palhetas.

O mecanismo de regulação da turbina deve ser constituído de alavancas colocadas nos eixos das pás diretrizes e molas com haste guia formando a ligação entre as alavancas e o anel de regulação. Todos os pontos articuláveis devem prever autolubrificação. Assim, o mecanismo fica protegido contra danos provocados por forças excessivas no caso de eventual obstrução das palhetas. Os mancais do anel de regulação deverão ser de material autolubrificante.

O conjunto de palhetas diretrizes deve apresentar bordas cuidadosamente usinadas de modo a assegurar que vazamento pelas palhetas seja o menor possível com o distribuidor totalmente fechado. A porcentagem de vazamento aceitável será de acordo com o especificado pelo sistema de frenagem do gerador.

1.5 Servomotor

O servomotor para o acionamento das palhetas diretrizes deverá ser de duplo ação, a óleo, com cilindro de aço fundido ou de construção soldada de chapas de aço. A haste do servomotor será ligada ao anel de regulação. Deverão ter capacidade para movimentar as palhetas diretrizes nas mais severas condições

de operação. A vedação do servomotor deverá garantir a lubrificação das superfícies em contato e impedir vazamentos. O servomotor deverá ser provido de válvula ou dispositivo adequado para o ajuste do amortecimento do sistema no fechamento das palhetas. O servomotor deve ser ensaiado

1.6 Rotor

O rotor deverá ser fabricado em uma única peça de aço inoxidável, integralmente fundido. O perfil hidráulico deve ser cuidadosamente esmerilhado. Não deverá apresentar buracos, depressões, trincas ou outras falhas que possam gerar cavitação. Todos os serviços de usinagem e de tratamento térmico deverão ser realizados na fábrica.

Ao final da fabricação o rotor deverá ser balanceado estática e dinamicamente. Deverá ser fornecido um rotor reserva intercambiável com os rotores de ambas as unidades.

1.7 Tubo de Sucção

O tubo de sucção, que também deverá ser fabricado com chapas de aço soldadas, terá inicialmente a forma circular com transição para uma seção quadrada, imediatamente antes da comporta tipo ensecadeira. Deverão ser providos de tomadas para a instalação de um manovacuômetro e uma válvula de aeração para cada unidade.

1.8 Eixo

O eixo deve ser projetado de maneira que possa operar com velocidade até a de disparo, sem vibrações prejudiciais ou quaisquer distorções.

O eixo da turbina deverá ser construído em aço carbono forjado, inteiriço, submetido aos tratamentos térmicos adequados, com flanges de acoplamento usinados, e dotado de um furo central para a passagem das tubulações de óleo para o rotor. Estará incluído no fornecimento um jogo de elementos de acoplamento do eixo ao rotor Francis, bem como um jogo de elementos para acoplamento eixo da turbina ao gerador. Ambos os jogos serão compostos por tirantes, porcas e travas, executados em aço. Deverá ser totalmente usinado e retificado nas superfícies de contato com os mancais.

Deverão ser fornecidas as tubulações de óleo internas ao eixo da unidade, entre o cabeçote de óleo e servomotor do rotor.

1.9 Mancais

A linha de eixo da turbina será composta por dois mancais, um guia e outro de escora.

Os mancais serão do tipo cavalete e serão projetados para operação contínua, para qualquer velocidade desde 50 a 145% da velocidade nominal da turbina e podendo operar, no mínimo, 30 minutos a 10 rpm e 15 minutos na velocidade de disparo, sem precauções especiais de operação. Para um funcionamento em temperatura normal de operação, os mancais devem ser capazes de operar em velocidade e carga nominais por 15 minutos sem água de resfriamento.

No caso da necessidade de um volante de inércia, os mancais devem ser dimensionados também para suportar também o peso do mesmo e suas cargas dinâmicas.

1.10 Vedação do Eixo

O sistema de vedação do eixo deverá ser eficaz de modo a minimizar os vazamentos de água e de fácil desmontagem para substituição dos elementos vedantes. Não será aceito nenhum sistema que requeira a desmontagem da roda da turbina para substituição parcial ou total dos elementos vedantes.

O sistema deverá ser fornecido completo, incluindo a tubulação, válvulas, filtros, chaves de fluxo, pressostatos, manômetro de pressão diferencial, e demais acessórios necessários para o perfeito funcionamento. A tomada de pressão para o suprimento de água do sistema de vedação deverá estar a montante da válvula borboleta.

1.11 Instrumentação

Cada turbina deverá ser fornecida com, no mínimo, a instrumentação e dispositivos relacionados a seguir. Todos os instrumentos que, por necessidade construtiva, venham a ser requeridos deverão ser acrescentados pelo fornecedor. Os contatos de chaves fim de curso (limite), de nível, de vazão, de relés de temperatura, pressão, deverão ser utilizados pelo Sistema Digital de Supervisão Controle –SDSC.

1.11.1 Mancais

- Dois detetores de temperatura, um para o metal e outro para o óleo, tipo Pt100, para indicação local, cada um ligado a um indicador montado no Quadro de Terminais da Turbina. Cada indicador deverá ser equipado com um jogo contatos, para alarme e desligamento.
- Dois detetores de temperatura, um para o metal e outro para o óleo, tipo Pt100, para o SDSC.
- Um indicador visual de nível de óleo.

-
- Uma chave de nível com contatos para alarme de nível alto e nível baixo e um contato de desligamento por nível muito baixo.
 - Uma chave de vazão para o circuito de água de resfriamento do mancal, com dois contatos, para o SDSC.
 - Um termômetro de mercúrio, instalado na tubulação de saída da água de resfriamento do óleo do mancal.

Para facilitar os testes de rendimento, a tubulação de água de resfriamento deverá ser equipada com alojamentos adequados, na entrada e saída, para instalação de termômetros.

1.11.2 Vedação do Eixo

- Um indicador de vazão para a água de vedação com contatos para o SDSC.
- Um manômetro para indicação da pressão diferencial.
- Um manômetro na linha de alimentação de água.

1.11.3 Distribuidor

- Um conjunto de chaves de fim de curso para indicação de deslizamento das palhetas.
- Uma régua para indicação de abertura do servomotor, com graduação em milímetros.

1.11.4 Caixa Espiral e Tubo de Sucção

- Um manovacúmetro para o tubo de sucção.

-
- Um manômetro para indicação da pressão na caixa espiral
 - Um transdutor de pressão da caixa espiral para o SDSC.
 - Um sistema de medição de vazão turbinada. O sistema deverá ter indicação local e ser equipado com transdutor para indicação pelo SDSC, capaz de medir a vazão instantânea.

1.12 Quadro de Terminais da Turbina

Toda a cablagem de uso dos equipamentos da turbina deverá ser ligada a um quadro de terminais. Quando requerido, deverão ser instalados também os dispositivos eletrônicos de indicação local, transdutores, relés auxiliares. O Fornecedor será responsável pelo fornecimento de todo o material e serviços necessários para a interligação entre turbina, dispositivos auxiliares e SDSC.

1.13 Placa de Identificação

Cada turbina deverá ser provida de uma placa metálica de identificação colocada em local conveniente, contendo os seguintes dados:

- Fabricante
- Potência especificada em MW
- Alturas manométricas líquidas de água em m
- Vazões especificadas em m³/s
- Velocidade nominal em rpm
- Rotação específica

2. REGULADOR DE VELOCIDADE

2.1 Tipo

Cada turbina deverá ser fornecida com um regulador de velocidade, tipo eletro-hidráulico, de ação proporcional-integral-diferencial (PID), com tecnologia digital. O fornecimento deverá incluir todos os dispositivos necessários para o perfeito funcionamento, incluindo fontes de alimentação, instrumentos indicadores (de rotação, abertura, referências, potência), interface homem-máquina para ajuste de parâmetros, interfaces de comunicação conforme requerido pelo SDSC, botoeiras de comando, circuitos de ajuste de referência de velocidade e limites de abertura, sensor de velocidade, dispositivos de realimentação da abertura, relés de velocidade para as funções de automatismo da unidade e a unidade hidráulica.

O automatismo de comando de abertura e de fechamento da válvula borboleta, deverá ser incorporado ao sistema do regulador de velocidade. O circuito hidráulico de acionamento do servomotor da válvula borboleta será alimentado pela unidade hidráulica do regulador de velocidade. O volume de óleo adicional necessário deverá ser previsto no projeto.

Durante o projeto, os seguintes documentos devem ser submetidos à aprovação da contratante:

- Seqüências de partida e parada
- Lista de aparelhagem
- Esquema de regulação
- Esquema funcional do regulador
- Esquema de interligação do regulador

O fornecedor deverá realizar um estudo da estabilidade da usina e determinar os parâmetros da regulação e curvas de resposta da velocidade das unidades em função da variação da potência da rede.

2.2 Regulador Eletrônico

O regulador eletrônico deverá controlar a turbina para todas as funções requeridas durante a operação normal ou durante condições anormais, tais como rejeição de carga. Deverá atender aos requisitos de sobrevelocidade do gerador e turbina, e de sobrepressão do conduto forçado.

Os seguintes recursos de controle deverão ser previstos:

- um canal de regulação automática
- um canal de regulação manual
- partida a unidade
- ajuste de velocidade/potência
- ajuste do limitador de abertura

2.3 Unidade Hidráulica

A unidade hidráulica à óleo do regulador de velocidade deverá ser equipada com duas moto-bombas, acumulador, reservatório, filtros, válvulas de segurança, manômetros, pressostatos, e toda a instrumentação necessária para o controle de nível e de pressão do sistema. A válvula proporcional, eletro-válvula de partida-parada, válvula de segurança, deverão ser montadas na unidade hidráulica. Uma bomba deverá operar como principal e a outra como reserva, devendo o automatismo permitir a seleção de uma ou outra. A capacidade do sistema deverá permitir a operação segura da unidade em qualquer condição de queda prevista no projeto.

O acumulador de óleo sob pressão deverá ser do tipo com nitrogênio, em tanques cilíndricos, com isolamento entre o óleo e o gás. Deverão ser fornecidos no mínimo dois tanques por unidade hidráulica e um sistema de válvulas deverá permitir a substituição dos cilindros com a unidade em funcionamento.

3. VÁLVULA BORBOLETA

3.1 Tipo

Cada turbina deverá ser equipada com uma válvula borboleta na entrada da caixa espiral, para a manutenção da unidade sem a necessidade de esgotamento do conduto e para proteção, devendo ser fechada em caso de emergência.

Em condições de emergência a válvula borboleta deverá fechar contra uma vazão plena de água de $14 \text{ m}^3/\text{s}$ em cada unidade.

As válvulas borboleta serão de eixo horizontal, adequadas para instalação no conduto fornecido, com abertura por um servomotor acionado pela unidade hidráulica do regulador de velocidade e fechamento por ação de contrapeso. A abertura só poderá ser feita com equilíbrio de pressões e portanto as válvulas borboletas deverão ser providas de "by-pass", com válvula acionada por cilindro hidráulico, para o equilíbrio das pressões entre os lados montante e jusante e um pressostato diferencial para a permissão de abertura quando a pressão estiver equilibrada. A tomada para a válvula "by-pass" deverá ser protegida por grelha para evitar a entrada de detritos.

O mesmo servomotor que aciona a abertura da válvula deverá servir como freio hidráulico no fechamento da válvula por ação do contrapeso, e o tempo de fechamento não deverá ser menor que o tempo de fechamento do distribuidor. O tempo de fechamento da válvula deve ser ajustável, sendo que o tempo mínimo será tal que não provoque sobrepressão maior que 30% no conduto forçado (quando fechadas as válvulas de ambas as unidades). Ainda assim, a válvula deve ser dimensionada para suportar uma sobrepressão de 40%.

A válvula borboleta deve ainda ser projetada e construída de maneira que as perdas de carga e vazamentos sejam mínimos.

O óleo utilizado na válvula deve ser do mesmo tipo utilizado no regulador da turbina.

Durante a fabricação deverão ser feitas pré-montagens e verificações dimensionais e de assentamento das vedações. O cilindro do servomotor deverá ser ensaiado com pressão 50% superior a pressão de operação por duas horas. A válvula também depois de montada será submetida a duas horas com 50% de sobrepressão e a um teste de estanqueidade à pressão normal de trabalho.

3.2 Comando

O automatismo de comando da válvula borboleta deverá prever um comando Local-Manual e um comando Remoto-Automático. O fechamento da válvula ocorrerá por:

- Comando manual do painel
- Ação do dispositivo de sobrevelocidade da turbina
- Ação da proteção

O comando Local-Manual deverá seguir instruções passo a passo, desde o comando de abrir a válvula "by-pass", indicação de pressão equilibrada, comando de abrir a válvula, comando de fechamento e ser provido de indicação de válvula fechada e válvula aberta. O comando de fechamento por proteções da unidade deverá atuar sobre o fechamento da válvula mesmo em "Local-Manual".

O comando Remoto-Automático deverá, a partir de um sinal da lógica do SDSC, efetuar o comando de abertura, executando automaticamente a manobra de abrir a válvula “by-pass”, verificação de equilíbrio das pressões montante e jusante e comando de abertura da válvula borboleta, e efetuar o fechamento da válvula por comando do operador ou por ação de proteção.

O comando Local-Manual poderá ser fornecido em quadro de comando preparado especialmente para a função ou ser incorporado ao sistema do regulador de velocidade, devendo entretanto ser montado próximo a válvula.

3.3 Componentes

3.3.1 Corpo

O corpo será de aço carbono fundido com extremidades flangeadas, dimensionado e projetado para resistir a todas as forças e reações devidas ao fluxo de água e ao sistema de acionamento durante as condições previstas de funcionamento. O corpo terá um anel de assento de aço inoxidável soldado ao corpo, destinado a receber a vedação do obturador. Deverão ser previstos chumabadores e pés de assentamento para fixação da carcaça na fundação.

3.3.2 Obturador

O obturador terá formato lenticular que ofereça, na posição aberta, mínima resistência a passagem da água, fabricado em aço carbono forjado. A periferia da lentilha e a sede do obturador serão de aço inoxidável. A vedação será constituída por um anel de borracha sintética e os semi eixos serão de aço inoxidável apoiados sobre mancais de bronze.

3.3.3 Mancais

Os mancais de deslizamento de bronze devem ser substituíveis sem a remoção de outras partes da válvula. Serão vedados e com furos pra lubrificação com graxa.

3.3.4 Acionamento

O acionamento será feito por servomotor de simples efeito, à óleo, com hastes de aço forjado e amortecimento na extremidade inferior. Deverá possuir diafragmas para limitar o tempo de fechamento em caso da ruptura da tubulação de pressão entre os servomotores e a unidade hidráulica.

O fechamento será por efeito de contrapeso de aço com masa ajustável para garantir o fechamento da válvula nas condições previstas de funcionamento. Deve ser possível um ajuste fino no momento do fechamento por adição ou remoção de placas.

3.3.5 By-Pass

O by-pass será previsto para equilibrar as pressões de cada lado do obturador da válvula, possibilitando assim a abertura da mesma. O by-pass terá duas válvulas, sendo uma com operação manual e a outra automática através da unidade hidráulica do regulador. As posições aberta e fechada da válvula automática serão detectadas através de contatos fim de curso.

3.4 Instrumentação

- Um manômetro para medição da pressão a montante da válvula (um em cada válvula).
- Um transdutor de pressão para indicação no SDSC da pressão a montante da válvula (um para as duas válvulas).

-
- Um conjunto de chaves limite com contatos para indicação da posição fechada e aberta da válvula “by-pass” no Quadro de Comando Local da válvula e no SDSC.
 - Um conjunto de chaves limite com contatos para indicação da posição fechada e aberta da válvula borboleta no Quadro de Comando Local da válvula e no SDSC.
 - Um pressostato diferencial para verificação de equilíbrio das pressões montante e jusante e comando de abertura da válvula borboleta.

4. CONDUTO FORÇADO

Um conduto forçado, deverá atender às duas unidades. ligando a tomada d'água até a bifurcação próxima à casa de força. A partir da bifurcação estão previstos dois ramais até a válvula borboleta na entrada da caixa espiral de cada turbina. O Conduto Forçado deverá ser construído em chapas de aço, soldadas entre si.

Deverá ser dimensionado para suportar os esforços de operação normal e os esforços transitórios de golpe de arfete originários da rejeição de carga para as condições mais severas de operação. O fornecedor deverá prever todos os orifícios e tomadas necessários para os sistemas de medição, água de resfriamento, água de incêndio, água de serviço, "by-pass" das válvulas borboletas, drenagem do conduto. Deverão ser protegidos por grelhas para prevenir a entrada de qualquer tipo de material que possa provocar entupimentos. Os orifícios para medições temporárias deverão ser providos de bujões.

O sistema de drenagem do conduto deverá prever uma tubulação adicional para descarga diretamente no canal de fuga, equipada com válvula. Se for necessária uma drenagem adicional, a descarga se dará para o poço de drenagem, por uma segunda válvula. Ambas as válvulas deverão ser montadas próximas e, tanto o lado do conduto como o lado do canal de fuga deverão ser equipados com manômetros. O conduto deverá ser jateado e pintado internamente e externamente.

5. GERADOR

5.1 Características Gerais

Deverão ser fornecidos dois geradores síncronos, trifásicos, de eixo horizontal, acionados por turbinas hidráulicas tipo Francis, 450rpm, trifásicos, ligação estrela, 12.000kVA, 13.800V $\pm$ 5%, 60Hz, fator de potência 0,9, classe de isolamento F e de utilização B, para operação contínua.

Os geradores serão fornecidos completos com todos os acessórios e sistemas necessários para sua operação tais como sistema de frenagem acoplado ao eixo do gerador, sistema de refrigeração por trocadores de calor ar-agua, iluminação, instrumentação, equipamento de aterramento do neutro do gerador, equipamentos de proteção, transformadores de potencial, transformadores de corrente para medição e proteção, dispositivos de proteção e supervisão e ferramentas especiais para montagem na obra e manutenção.

Deverão ser fornecidos resistores de aquecimento, montados na parte inferior do duto de ventilação, para o aquecimento do gerador durante os períodos em que a unidade permanecer fora de operação. O sistema deverá ser controlado automaticamente por termostato.

5.2 Momento de Inércia – GD^2

O momento de inércia do conjunto girante (turbina, gerador) deverá garantir a estabilidade quando operando em sistema isolado. Deverá garantir que a unidade não exceda os limites de 50% de sobrevelocidade após uma rejeição de carga, com as duas unidades operando ligadas ao sistema, com abertura máxima do distribuidor.

Caso o momento de inércia próprio do conjunto não seja suficiente para atender às necessidades operacionais, deverá ser adicionado um volante para a complementação. O volante deverá ser montado no eixo da unidade.

5.3 Velocidades Críticas

O Fornecedor deverá apresentar uma análise completa das velocidades críticas. Deverá provar que a velocidade crítica da unidade está situada acima da velocidade máxima esperada após uma rejeição de carga máxima e afastada, com margem de segurança, da velocidade de disparo.

5.4 Características Técnicas

O Fornecedor deverá apresentar memória de cálculo, incluindo desenhos construtivos, para o gerador a ser fornecido. O memorial descritivo deverá conter, no mínimo:

- dimensionamento dos mancais
- dimensionamento do sistema de ventilação
- dimensionamento do sistema de frenagem
- dimensionamento do eixo
- cálculo do momento de inércia (GD^2)
- dimensionamento dos dispositivos de içamento do rotor e do estator
- determinação dos esforços transmitidos à fundação
- determinação das características eletromagnéticas (reatâncias, resistências, constantes de tempo)
- determinação das perdas, do rendimento e elevação de temperatura dos enrolamentos, núcleo e mancais

-
- características a vazio e em curto-circuito

5.5 Características Construtivas

5.5.1 Arranjo

O projeto e construção do estator, rotor, dos mancais, do acoplamento com a turbina e, caso incluído no fornecimento, do volante, deverão levar em conta a necessidade de retirada do rotor com o mínimo de desmontagem. O projeto deve incluir um dispositivo apropriado para a operação de montagem e desmontagem do rotor.

5.5.2 Limites de Velocidade

Cada gerador deverá suportar os esforços, tensões e elevação de temperatura decorrentes da operação na rotação de disparo por 15 minutos.

5.5.3 Limites de Elevação da Temperatura

Com o gerador operando com potência e fator de potência nominais, a elevação máxima da temperatura, relativa à temperatura máxima do ar na entrada de 40°C, não deverá ultrapassar:

- | | |
|--|-------|
| • enrolamento do estator (ponto mais quente) | 80 °C |
| • enrolamento do rotor (método da resistência) | 80 °C |
| • núcleo do estator (ponto mais quente) | 65 °C |

5.5.4 Rendimento

O rendimento do gerador, operando com potência e fator de potência nominal, não deverá ser inferior a 96,5% e determinado conforme normas aplicáveis. As perdas do sistema de excitação também deverão ser consideradas.

5.6 Estator

O estator será composto de quatro partes principais: carcaça, núcleo, enrolamento e elementos de fixação.

5.6.1 Carcaça

O projeto e a construção da carcaça serão executados sobretudo para garantir a não deformação da estrutura quando esta estiver sujeita aos esforços provenientes do transporte, montagem, momento máximo de curto circuito e forças tangenciais e verticais aplicadas durante o funcionamento do gerador. Deverá suportar os esforços de içamento sem apresentar qualquer tipo de deformação. Deverá oferecer uma estrutura adequada para suportar e fixar o núcleo do estator, assim como deverá ser dimensionada para absorver as dilatações térmicas, tanto da sua própria estrutura quanto aquelas provenientes do núcleo, de modo a evitar sua flambagem. A estrutura da carcaça transmitirá os esforços mecânicos às fundações. A construção da carcaça será tal que permitirá fácil passagem do ar de refrigeração aos trocadores de calor ar-água, os quais estarão distribuídos adequadamente em sua periferia.

5.6.2 Núcleo

O núcleo do estator deverá ser construído com chapas de aço silício com baixas perdas específicas e alta permeabilidade magnética. As chapas deverão ser lisas, sem deformações, sem rebarbas, com recobrimento de verniz isolante, em ambas as faces.

Estas chapas serão estampadas com uma ferramenta única e por meio de um processo contínuo, obtendo-se segmentos que terão, de um lado, seções com ranhuras para receber as barras estatóricas e, do outro, a forma apropriada para receber a cunha estrutural do estator.

Depois de estampadas, as chapas de aço silicioso serão submetidas a um processo de limpeza para eliminar as rebarbas, envernizadas em ambas as faces com verniz isolante apropriado para minimizar os efeitos das perdas e do aquecimento por correntes parasitas.

Quando da montagem do núcleo, o empilhamento será feito chapa por chapa até formar pacotes. Estes pacotes serão separados por espaçadores com perfil em duplo T, que formarão canais radiais de ventilação, facilitando a passagem do ar refrigerante até os trocadores de calor ar-água.

Durante a montagem das chapas, serão executadas prensagens intermediárias, com a finalidade de assegurar uma boa compactação. Depois de terminada a montagem, as chapas serão prensadas e apertadas através de tirantes por meio de dispositivo hidráulico.

Os elementos de prensagem do núcleo serão compostos de placas e dedos de pressão e tirantes de aperto. As placas de pressão serão projetadas de maneira a manter o núcleo em estado compacto durante o funcionamento da máquina. Estas peças serão fabricadas em segmentos para compensar as diferenças de dilatações térmicas do conjunto. Os dedos de pressão servirão para distribuir os esforços das placas e manter o núcleo compacto. Os tirantes de aperto serão projetados para providenciar o aperto do núcleo através das placas e dedos de pressão. Estes tirantes de aperto passando aproximadamente pelo centro de

gravidade da chapa, garantirão uma maior pressão de aperto assim como uma distribuição mais homogênea em toda a sua secção.

5.6.3 Enrolamento

O enrolamento do estator deverá ser para ligação em estrela. O isolamento deverá ser de classe F ². Todas as partes condutoras de corrente dos enrolamentos estáticos deverão ser cobre eletrolítico. A brasagem do enrolamento deverá ser executada com solda prata de boa qualidade.

5.7 Rotor

O rotor deverá ser dimensionado para suportar as solicitações e esforços provenientes da operação em condições anormais como rotação de disparo, mantendo sua rigidez estrutural, sem deformação nas conexões entre polos e nas espiras polares, e sem danos ao estator ou aos mancais.

O rotor será formado pelos polos, anel magnético, aranha (cubo e lateral), eixo, anel girante e anéis coletores.

5.7.1 Polos

Os polos do rotor serão compostos pelas seguintes partes principais: núcleo, bobina e enrolamento amortecedor.

Mecanicamente, todo o conjunto polar deverá ser projetado e executado de modo a suportar qualquer esforço proveniente do funcionamento do gerador, incluindo rotação de disparo.

² Ver anexo Seção 2 – Hidrogeradores (Elevação de Temperatura)

Núcleo dos Polos

Os núcleos dos polos do rotor deverão ser construídos com chapas laminadas de modo a reduzir as perdas devido a fenômenos magnéticos. Após o corte da chapa, cada chapa será submetida a um processo de limpeza e eliminação de rebarbas, permitindo assim uma perfeita montagem. Os núcleos polares serão montados na fábrica por um processo homogêneo de empilhamento de chapas, sendo estas prensadas e fixadas por meio de tirantes de aço que atravessam todo o núcleo em sentido axial.

Nas duas extremidades do núcleo serão montadas elementos de prensagem, onde os tirantes, que atravessam todo o núcleo, serão fixados após uma prensagem final, mantendo-se assim o núcleo devidamente compactado.

Bobinas Polares

Cada bobina polar será construída de várias espiras de cobre eletrolítico. A bobina, com isolamento classe F aplicado, é montada no dispositivo de prensagem, que visa garantir o adequado alinhamento entre espiras.

A bobina compactada, após eliminação dos eventuais excessos de isolamento e escorrimentos de verniz, controles dimensionais e testes elétricos de comprovação da qualidade do isolamento entre espiras, é então montada no núcleo do polo, sendo que nas superfícies de contacto entre a bobina e o núcleo são introduzidos anéis e calços isolantes, de classe de isolação F.

Fixação dos Polos

O polo completo deverá ser fixado ao anel magnético através de encaixes tipo rabo de andorinha ou similar e cunhas, garantindo uma fixação rígida e estável, de modo a suportar todas as forças atuantes devido a operação do gerador em

qualquer condição e permitindo que cada polo possa ser retirado para manutenção sem necessidade de remoção do rotor.

O sistema de fixação dos polos ao anel magnético permitirá que o entreferro em cada polo seja regulado, introduzindo-se ou retirando-se calços apropriados.

5.7.2 Anel Magnético

O núcleo magnético laminado do rotor, (anel magnético) será construído em chapas de aço laminado, que após montadas formarão um conjunto rígido e compacto, com ranhuras para receber os pés dos pólos em seu perímetro.

As chapas que formarão o anel magnético serão submetidas a um processo de limpeza de forma a eliminar quaisquer irregularidade das suas superfícies, assegurando um empilhamento dentro das tolerâncias de projeto, de forma que no final do processo as ranhuras já se encontrem dentro de suas dimensões permitidas.

O empilhamento destas chapas será feito seguindo um processo homogêneo, dispondo as mesmas em forma de um anel, de modo a conferir ao conjunto um perfeito balanceamento mecânico. O seu empilhamento se fará transpondo grupos de 4 até 5 chapas, com o propósito de formar uma distribuição homogênea dos dutos de ventilação sobre a circunferência do anel magnético. Estas chapas serão submetidas a prensagens intermediárias para garantir um perfeito empilhamento.

Serão previstos tirantes com roscas nas suas extremidades que serão fixados com porcas assegurando um conjunto rígido e compacto capaz de suportar as forças centrífugas e tangenciais a que estarão sujeitas. Será previsto um mínimo

de folga entre o diâmetro dos tirantes e os furos na coroa, apenas o suficiente para permitir a inserção dos tirantes e o seu aperto.

Na parte inferior do anel magnético será fixado o anel de freio, do tipo segmentado, onde serão aplicados os cilindros de freio. O anel será montado em segmentos, permitindo a rápida desmontagem em caso de manutenção. Para aumentar o atrito com as lonas de freio, as superfícies dos segmentos receberão uma usinagem adequada.

5.7.3 Aranha

O cubo da aranha do rotor deverá ser construído em chapas de aço soldado, sendo composto pelos seguintes elementos principais:

- anel inferior
- anel superior
- cilindro central
- nervuras que ligam os aneis e o cubo central.

O cubo do rotor deverá ser devidamente usinado para acoplar no anel superior o eixo auxiliar do anel coletor e no anel inferior o eixo inferior. A lateral da aranha será soldada ao cubo formando a aranha.

Para melhoria do sistema de ventilação, o disco superior da aranha será aberto em sua região central. O diâmetro da abertura depende da pressurização necessária do sistema de ventilação.

5.7.4 Eixo

O eixo do gerador deverá ser fabricado em aço forjado, com flange para acoplamento com o eixo da turbina. Deverão ser tomados todos os cuidados para um perfeito acoplamento entre gerador e turbina para o completo atendimento a estas Especificações Técnicas.

5.7.5 Anel Coletor

Os anéis coletores deverão ser fabricados em aço, isolados do eixo com material classe F, providos de espaçadores para evitar arco ou curto-circuito acidental entre os anéis. Os porta-escovas deverão ser do tipo pressão constante, não permitir circulação de corrente pelas molas, de fácil acesso para substituição das escovas. O compartimento dos anéis coletores não deverá permitir que o material resultante do desgaste das escovas atinja o ar de resfriamento do gerador.

5.9 Mancais

Os mancais deverão ser de concepção simples, bipartidos, tipo cavalete, montados na mesma base do gerador e independentes da carcaça do gerador, de elevada vida útil e de fácil montagem e desmontagem. Deverão ser providos de tampas adequadas para impedir que o vapor de óleo seja aspirado pela ventilação do gerador.

A lubrificação dos mancais poderá ser tipo autolubrificado ou do tipo forçado. Caso o fornecedor opte pelo tipo forçado, deverá fornecer um conjunto moto-bomba principal para operação com motor elétrico e um conjunto moto-bomba de emergência para operação em corrente contínua, bem como todo o material necessário para o perfeito funcionamento e a transferência automática.

O fornecedor deverá informar qual o tipo de resfriamento do óleo utilizado. Para o resfriamento natural, deverá ser considerado como temperatura ambiente 40°C. A temperatura do óleo não deverá ultrapassar a 55°C e a do metal, no ponto mais quente, não deverá ultrapassar a 70°C, com a unidade operando a plena carga. Para resfriamento utilizando trocador de calor água-óleo, deverá ser utilizada água do conduto forçado, sem válvulas redutoras de pressão, em trocadores de calor, de preferência, alojados nos cavaletes. Para o caso de circulação forçada, os trocadores deverão ser tipo placas, fabricados em aço inox, e alojados fora dos cavaletes dos mancais.

Deverá ser fornecido o volume total de óleo necessário para o enchimento dos mancais das duas unidades, mais o equivalente ao volume de óleo de uma unidade.

O fornecedor deverá fornecer o mancal do lado não acoplado do eixo do gerador isolado do contato direto com a base, para a proteção do metal contra a circulação de correntes induzidas no eixo do gerador. Deverá ser equipado com relé detetor de correntes parasitas. O relé deverá ser montado no Quadro de Terminais do Gerador.

5.10 Sistema de Frenagem

O sistema de frenagem dos geradores deverá ser operado com ar comprimido e consiste de cilindros em disposição equidistante, instalados na parte inferior³ do rotor. A pista de freio será fixada na parte inferior do anel magnético, onde serão aplicados os cilindros de freio.

³ Geradores de eixo horizontal são fabricados e montados na posição vertical e posteriormente colocados na sua posição definitiva. Assim, quando faz-se referência à parte inferior ou superior do gerador horizontal, considera-se a posição de fabricação, ou seja, vertical. Na posição horizontal, a parte inferior é a parte acoplada ao eixo da turbina.

O sistema proposto deverá ser projetado para operar quando a velocidade atingir 30% da rotação nominal no caso de parada normal, e com 50 % da rotação nominal no caso de parada de emergência, sem danificar a pista de frenagem do rotor.

A pressão de ar deverá estar na faixa de 0,65 a 0,80 MPa, e deverá ser suprida por compressores exclusivos para o sistema de frenagem sendo um compressor para cada gerador, com possibilidade de interligação dos reservatórios de forma a permitir a manutenção dos mesmos sem perda do sistema de frenagem do gerador.

O processo de frenagem consistirá no levantamento dos pistões até as lonas localizadas em cima das sapatas encostarem no anel de freio. Para garantir o retorno das sapatas à sua posição, os cilindros deverão ser equipados com molas de retração.

O dimensionamento do sistema de frenagem considera um vazamento pelo distribuidor da turbina capaz de produzir um torque residual não superior a 1% do torque nominal.

Construção dos Cilindros de Freio

O corpo dos cilindros de freio deverá ser executado em tubo de aço, recebendo um tratamento especial de usinagem na superfície de deslizamento do pistão.

Na parte lateral inferior do cilindro de freio deverá ser previsto um furo que interligará sua parte interna com a flange da tubulação externa. A base de assentamento do cilindro na face de contato, deverá ser possuir furos para sua fixação por meio de parafusos, os quais serão dimensionados de modo a resistir aos esforços provenientes do acionamento do freio.

O pistão deverá ser executado em aço adequadamente selecionado, recebendo um tratamento especial de usinagem, o que permitirá um deslizamento suave com as partes fixas do corpo do cilindro, por ocasião das operações de frenagem.

Na parte superior do pistão será prevista uma rosca para regulagem e fixação da sapata de freio. Para assegurar a fixação, o pistão terá sua parte superior em forma esférica, sendo a sapata fixado por meio de pino.

A lona de freio fixada à sapata do cilindro por meio de cola ou encaixe.

5.11 Sistema de Refrigeração

A refrigeração do gerador deverá ser feita pela circulação do ar em circuito fechado obtida pelo próprio efeito de rotação do rotor e por refrigeradores ar-água instalados na periferia da carcaça do gerador.

O ar frio será forçado pela aranha a circular através dos dutos de ventilação existentes no anel magnético, que por sua vez, forçará o ar a circular através do próprio anel magnético até os polos, enrolamento e núcleo estatórico. O ar de refrigeração atravessará os dutos radiais existentes no núcleo estatórico resfriando-o através de contato direto.

Após o resfriamento do núcleo estatórico, o ar quente atravessará radialmente os refrigeradores ar-água, sendo resfriado por contato direto com as aletas e voltando novamente, pela parte superior e inferior do gerador, a circular em seu interior.

O ar de refrigeração deverá ser dirigido às partes vitais do gerador com auxílio de guias de ar.

As tubulações, válvulas, coletores e todo material necessário para completar o sistema de refrigeração deverão fazer parte do fornecimento.

A capacidade dos refrigeradores deverá ser calculada de maneira a manter a temperatura na saída do ar não superior a 40 °C , com o gerador operando em potência nominal.

O sistema deve ser projetado prevendo a operação com um trocador fora de serviço. No caso do gerador operar com carga nominal, e com um refrigerador fora de serviço, os trocadores deverão ser dimensionados para fornecer o ar refrigerante a uma temperatura 5 °C maior que o valor para condição nominal.

Os trocadores de calor tipo ar-água serão do tipo compacto e serão instalados na carcaça.

Os tubos serão construídos em cobre, com chapas de alumínio ou cobre formando aletas, comuns a todos os tubos em toda sua extensão, de modo a aumentar a área de dissipação de calor. Estes tubos serão fixados a dois espelhos, formando um feixe tubular, que por sua vez será montado à estrutura suporte. Os espelhos serão fabricados com Latão Naval.

A tampa dos refrigeradores deverá ser projetada de maneira a permitir a drenagem dos mesmos, sem desmontar as tubulações ou o próprio refrigerador.

Deverão ser previstas a instalação de duas válvulas para isolar cada trocador de calor, sendo uma na entrada e outra na saída de água de refrigeração. A desmontagem e remoção dos refrigeradores deverá ser facilmente executada.

Todas as conexões entre equipamentos ou segmentos das tubulações deverão ser feitas através de flanges com vedação tipo anel "O" ring, não sendo admitido conexões com rosca.

Todas as tubulações deverão ser confeccionadas de forma a permitir a sua desmontagem e transporte pelas vias de acesso, total ou em segmentos. A tubulação deverá ser cortada e parcialmente ajustada na fábrica, afim de permitir a montagem perfeita na obra. A conexão entre os refrigeradores e a tubulação de água será feita por flanges.

5.12 Auxiliares Elétricos

Deverão ainda ser fornecidos os auxiliares elétricos necessários à operação e controle do gerador, a saber:

- Transformadores de Potencial, que deverão ser providos de dois enrolamentos secundários, e atender aos circuitos de medição, proteção, reguladores de tensão e de velocidade, e sincronismo da unidade.
- Transformadores de Corrente para os circuitos de medição e para os circuitos de proteção

5.14 Instrumentação

Cada gerador deverá ser fornecido com, no mínimo, a instrumentação e dispositivos relacionados a seguir. Todos os instrumentos que, por necessidade construtiva, venham a ser requeridos deverão ser acrescentados pelo fornecedor.

Os contatos de chaves fim de curso (limite), de nível, de vazão, de relés de temperatura, pressão, deverão ser utilizados pelo Sistema Digital de Supervisão Controle –SDSC.

5.14.1 Mancais

Cada Mancal deverá ser fornecido com no mínimo os seguintes instrumentos ou dispositivos de supervisão:

- Dois detetores de temperatura, um para o metal e outro para o óleo, tipo Pt100, para indicação local, cada um ligado a um indicador montado no Quadro de Terminais do Gerador. Cada indicador deverá ser equipado com um jogo contatos, para alarme e desligamento.
- Dois detetores de temperatura, um para o metal e outro para o óleo, tipo Pt100, para o SDSC.
- Um indicador visual de nível de óleo.
- Uma chave de nível com contatos para alarme de nível alto e nível baixo e um contato de desligamento por nível muito baixo.
- Uma chave de vazão para o circuito de água de resfriamento do mancal, com dois contatos, para o SDSC.
- Um termômetro de mercúrio, instalado na tubulação de saída da água de resfriamento do óleo do mancal.

Para facilitar os testes de rendimento, a tubulação de água de resfriamento deverá ser equipada com alojamentos adequados, na entrada e saída, para instalação de termômetros.

5.14.2 Enrolamento do Estator

Quatro detetores de temperatura tipo RTD por fase, totalizando doze unidades, localizados nas ranhuras uniformemente distribuídos ao longo da periferia do gerador. Um deverá ser usado para proteção e os demais para supervisão do SDSC.

5.14.3 Sistema de Refrigeração

A instrumentação mínima do sistema de refrigeração deve ser:

- 1 RTD na saída de ar de cada trocador ar-água
- 1 RTD na entrada de ar de cada trocador ar-água
- 1 RTD na entrada de água da tubulação de refrigeração
- 1 RTD na saída de água da tubulação de refrigeração

5.14.4 Enrolamento do Rotor

A temperatura do enrolamento rotor deverá ser medida pelo método da resistência.

5.14.5 Sistema de Frenagem

- Um manômetro na linha de pressão, na entrada da válvula solenóide.
- Um pressostato na linha de pressão, na entrada da válvula solenóide.
- Uma chave de fim de curso para indicação de freio solto e uma para indicação de freio aplicado.

5.16 Quadro de Terminais do Gerador

Toda a cablagem de uso dos equipamentos do gerador deverá ser ligada a um quadro de terminais. Quando requerido, deverão ser instalados também os dispositivos eletrônicos de indicação local, transdutores, relés auxiliares. O fornecedor será responsável pelo fornecimento de todo o material e serviços necessários para a interligação entre o gerador, dispositivos auxiliares e Sistema Digital de Supervisão e Controle.

5.17 Sistema de Excitação

Cada gerador deverá ser fornecido com um sistema de excitação completo. O sistema de excitação deverá ser totalmente estático e incluir:

- transformador de excitação
- regulador de tensão automático
- interface de comunicação com o SDSC
- controle manual da tensão
- equipamento de excitação inicial
- proteções contra sobre-tensão no campo
- circuito de supervisão dos Transformadores de Potencial
- fontes de alimentação

5.17.1 Instrumentação

O painel do regulador de tensão deverá ser fornecido com no mínimo os seguintes instrumentos e dispositivos:

- um indicador de tensão de campo
- um indicador de corrente de campo
- um indicador da tensão do gerador
- um indicador de balanço entre os ajustes automático e manual
- seletor de comando Local-remoto
- seletor de comando Manual-Automático
- botoeiras para ajuste das referências Manual e Automático
- botoeiras para a função Liga-Desliga do campo do gerador
- todos os dispositivos necessários para interface com o Sistema Digital de Supervisão e Comando.

5.18 Inspeção e Ensaios

O gerador deverá ser montado e ensaiado nas instalações do Fabricante e sob sua responsabilidade. O fabricante deverá fornecer o programa de ensaios. Todos os resultados dos ensaios deverão ser entregues juntamente com o "Data Book".

6. COMPORTAS, ADUFAS, GRADES E ACESSÓRIOS

Os equipamentos principais estão distribuídos pelas seguintes estruturas:

- Adufas de Fundo
- Tomada d'água do Canal Adutor
- Tomada d'água do conduto forçado
- Conduto Forçado
- Casa de Força.

As adufas de fundo tem como função inicial o fechamento do desvio após a conclusão da barragem principal e como função permanente de desarenador.

Para completar as obras do desvio do rio, além do canal de desvio e ensecadeiras foram projetados três adufas de fundo. A adufa de fundo nº 1 será uma estrutura permanente, com comportas que deverão ser operadas com pequena frequência por toda a vida da usina. As adufas de fundo nºs 2 e 3, que serão temporárias, permanecerão somente até o enchimento do reservatório e conclusão das obras do circuito hidráulico, quando então suas comportas serão transladadas para a estrutura da tomada d'água do canal adutor, após o tamponamento das adufas.

O fornecimento deverá incluir o sistema hidráulico para manobra da comporta de serviço, incluindo reservatório de óleo, motobombas acionadas por motor elétrico, todos os dispositivos de comando, sinalização, proteção, indicação local e remota de comporta aberta e comporta fechada. O comando da comporta deverá ser provido de seletor para comando Local-Remoto. No modo Local a comporta será comandada por ação do operador no quadro de comando instalado na Edícula de

Comando da Barragem. No modo Remoto, o comando poderá ser feito por um operador à distância.

Especificações técnicas gerais

Todos os painéis de comando deverão ter:

- Iluminação interna incandescente protegida contra quebra
- Sinalizadores com lâmpada fria (led)
- Aquecimento com termostato ³
- Pintura eletrostática a pó em cor padronizada para todos os demais painéis da usina.

Todos os equipamentos deverão ser fabricados de acordo com as normas existentes e aplicáveis em cada um deles. Deverá ser prevista a unificação do óleo utilizado em toda a instalação.

As conexões hidráulicas deverão ser flangeadas com vedação O´ring NBR. Não serão aceitas conexões roscadas.

Limites do Escopo de Fornecimento

O escopo de fornecimento do fabricante inclui ainda:

- Eletrodos necessários à montagem na obra
- Peças de primeira e segunda concretagens

³ devido a alta umidade relativa das regiões fluviais, devem ser previstos sistemas de aquecimento permanente para evitar a condensação de umidade sobre os equipamentos

-
- Painéis de comando e de interligações
 - Transporte até a obra
 - Supervisão de montagem

6.1 Comportas de Adufa Permanente

O desarenador (adufa permanente) será formado por uma comporta ensecadeira deslizante, para auxiliar na manutenção da comporta de serviço, e uma comporta de serviço tipo vagão.

Cada uma das comportas deverá ser fabricada em painel único. O painel da comporta ensecadeira deverá ser provido de uma válvula "by-pass" para o equilíbrio de pressão na retirada da comporta após seu uso.

A comporta ensecadeira e vagão devem incluir em seus fornecimentos:

- Tabuleiros
- Peças fixas de primeira e segunda concretagem
- Suspensão e acessórios
- Todos os materiais e dispositivos necessários à montagem e funcionamento das mesmas.

As duas comportas serão constituídas por painéis únicos, de aço carbono com pintura protetora anti-corrosiva, soldadas na fábrica ou na obra, dependendo do tipo de transporte.

As descidas das comportas serão realizadas por ação de seus próprios pesos e os içamentos por meio de um pistão hidráulico no caso da comporta vagão, e através de um guincho elétrico munido de viga pescadora devidamente dimensionada para tal fim no caso da comporta ensecadeira.

Os sistemas de vedação serão localizados a jusante da estrutura das comportas, sendo as vedações superiores e laterais do tipo nota musical e a vedação inferior do tipo plana.

Parafusos, porcas e réguas de apoio (soldadas nas peças fixas) para contato da vedação em aço inox.

O fornecimento da comporta vagão de adufa permanente deve seguir ainda as seguintes especificações:

- As rodas devem ser de aço carbono fundido ou forjado com rolamentos auto compensadores e eixo em aço inox. As rodas da comporta vagão, que transmitirão as cargas, devido ao empuxo hidráulico para as guias, deverão ser submetidas a carregamentos iguais.
- As sapatas guias laterais serão fixadas às cabeceiras por meio de parafusos de aço inox e com calços para regulagem.
- Sistema de comando manual (mecânico), local (elétrico) e remoto (via PLC).
- Um transdutor de posição para medição da abertura via PLC e indicação local.
- A tubulação de óleo ou graxa submersa na água deve ser de aço inox, independentemente do diâmetro.

-
- As rodas da comporta vagão que transmitirão as cargas, devido ao empuxo hidráulico para as guias, deverão ser submetidas a carregamentos iguais.

6.2 Comportas de Adufas Temporárias

Estas comportas, em número de duas, não serão operadas e não terão finalidade de cortar o fluxo da corrente hidráulica, conforme exposto anteriormente.

Permanecerão posicionadas nas adufas até a conclusão do circuito hidráulico do enchimento do reservatório e do enchimento dos vazios das adufas com concreto, quando então serão transferidas, inclusive com seus equipamentos de içamento e manobra, para a estrutura da tomada d'água do canal adutor. Os içamentos finais, para transferência de local, serão realizados por um guincho móvel com as pressões equilibradas. Os movimentos de subidas e descidas, quando estiverem posicionadas na tomada d'água do canal adutor, somente poderão ser realizados com equilíbrio de pressão, isto é, quando o canal adutor estiver em seu nível máximo operacional.

Os sistemas de vedações estarão localizados a jusante do tabuleiro, sendo as vedações superiores e laterais do tipo nota musical e as ensecadeiras inferiores do tipo plana.

Fazem parte do fornecimento das duas comportas ensecadeiras os seguintes itens:

- Tabuleiros
- Peças fixas de primeira e segunda concretagem
- Suspensão e acessórios.

6.3 Comporta Vagão da Tomada d'água do Conduto Forçado

A comporta tipo vagão instalada a jusante da grade, será constituída por um único painel.

O sistema de vedação será localizado a jusante da estrutura das comportas, sendo as vedações superiores e laterais do tipo nota musical e a vedação inferior tipo plana.

Esta comporta que terá finalidade de proteger o conduto forçado, será acionada por um sistema de pistão hidráulico e sua descida deverá ocorrer por ação de seu próprio peso. O painel, quando não utilizado, deverá se estocado na parte superior da ranhura, apoiado em dispositivos metálicos. A montagem e a retirada do painel será efetuada através de um guincho elétrico montado sobre uma estrutura de pilares e vigas em concreto armado.

Fazem parte do fornecimento da comporta vagão da tomada d'água do conduto forçado os seguintes itens:

- Tabuleiro
- Peças fixas de primeira e segunda concretagem
- Suspensão e acessórios.

O fornecimento da comporta vagão da tomada d'água do conduto forçado deve seguir ainda as seguintes especificações:

-
- As rodas devem ser de aço carbono fundido ou forjado com rolamentos auto compensadores e eixo em aço inox. As rodas da comporta vagão, que transmitirão as cargas, devido ao empuxo hidráulico para as guias, deverão ser submetidas a carregamentos iguais.
 - As sapatas guias laterais serão fixadas às cabeceiras por meio de parafusos de aço inox e com calços para regulagem.
 - Sistema de comando manual (mecânico), local (elétrico) e remoto (via PLC).
 - Um transdutor de posição para medição da abertura via PLC e indicação local.
 - A tubulação de óleo ou graxa submersa na água deve ser de aço inox, independentemente do diâmetro.
 - As rodas da comporta vagão que transmitirão as cargas, devido ao empuxo hidráulico para as guias, deverão ser submetidas a carregamentos iguais.

6.4 Comportas do Tubo de Sucção

Para fechamento das aberturas dos tubos de sucção das duas turbinas deverão ser fornecidas duas comportas planas tipo ensecadeira constituídas por painéis únicos, munidas de válvula “by-pass” para equilíbrio de pressão. Todos os elementos, tanto das comportas como das peças fixas para montagem, operação e manobra das comportas deverão ser incluídos no fornecimento.

As vedações laterais e superiores deverão ser do tipo nota musical e a inferior do tipo plano. As vedações deverão garantir perfeita estanqueidade entre a comporta e as partes fixas para qualquer nível d'água do canal de fuga.

As peças fixas serão de construção soldada e deverão guiar os painéis das comportas, providas de alargamento da extremidade superior para facilitar o encaixe, e transmitir os esforços ao concreto.

As comportas serão operadas por um guincho elétrico com viga pescadora, sustentado por uma estrutura de concreto armado tipo forca. Os painéis serão armazenados em ranhuras por meio de dispositivos metálicos. As vedações laterais e superiores são do tipo nota musical e a inferior do tipo plano.

Fazem parte do fornecimento das comportas ensecadeiras do tubo de sucção os seguintes itens:

- Tabuleiros
- Peças fixas de primeira e segunda concretagem
- Suspensão e acessórios

Parafusos, porcas e réguas de apoio (soldadas nas peças fixas) para contato da vedação deverão ser em aço inox.

6.4 Fabricação, Inspeção, Pré-Montagem, Testes e Pintura

6.4.1 Fabricação

O fabricante tem a responsabilidade de empregar os mais modernos métodos e processos de fabricação e garantir a alta qualidade dos produtos. Todas as soldas serão executadas por processos homologados e soldadores qualificados, de acordo com o código ASME Pressure Vessel Code.

Todas as fases da fabricação deverão ser acompanhadas pelo controle de qualidade do fornecedor. O fornecedor deve ainda proporcionar todas as facilidades de acesso para os inspetores do cliente.

6.4.2 Inspeção dos Materiais

As matérias primas utilizadas na fabricação dos equipamentos terão certificados de análise química e características mecânicas.

Para as peças fundidas e forjadas de grande responsabilidade serão efetuados ensaios de tração/dobramento em amostras. Chapas com espessura igual ou superior a 19mm serão inspecionadas com ultra-som. Peças fundidas e/ou forjadas de grande responsabilidade serão igualmente ensaiadas por ultra-som.

O fornecedor apresentará para aprovação o Programa de Inspeção e Testes a ser seguido durante a recepção dos materiais, bem como as normas de inspeção.

6.4.3 Inspeção e Controle das Soldas

- Soldas de filete de alta solicitação: 30% de líquido penetrante
- Soldas estruturais de topo e angulares de penetração total com grande solicitação: 100% de ultra-som
- Soldas bimetálicas: 100% de líquido penetrante

6.4.4 Pré-Montagem e Montagem na Fábrica

Peças Fixas

-
- Pré-montagem na horizontal dos elementos laterais, frontal e soleira. As guias laterais serão pré-montadas duas a duas.

Comportas e Grades

- Pré-montagem horizontal dos tabuleiros de cada tipo de comporta (vagão e ensecadeira) e dos painéis de grande e sapatas guias
- Pré-montagem vertical de cada viga pescadora e do painel correspondente, para verificação do alinhamento vertical e abertura/fechamento dos ganchos.

Mecanismos Oleodinâmicos

- Montagem das unidades hidráulicas
- Teste hidrostático sob pressão 150% da pressão nominal, durante 30 minutos, da unidade hidráulica e dos servomotores
- Ensaio de funcionamento em vazio da unidade hidráulica

Testes e Ensaios

- Todos os painéis de comando e centrais hidráulicas deverão ser submetidos a ensaios de rotina e testes funcionais

6.5 Grades

6.5.1 Grades da Tomada d'água do Canal Adutor

Deverão ser fornecidas duas grades, cada uma composta por um painel fixo, montadas a montante das comportas, para a proteção do canal adutor.

Deverão ser do tipo fixa, constituídas de painel único, formadas por barras de aço chatas e verticais apoiadas em vigas horizontais de estrutura soldada, espaçadas de no máximo 150mm.

A colocação e retirada dos painéis será efetuada por um guincho elétrico, apoiado sobre uma estrutura de concreto armado.

Deverá ser fornecido um sistema de medição das perdas de carga nas grades, provido de transdutor manométrico diferencial. Os sensores deverão ser montados em poços adequados à montante e à jusante das grades. Deverão ser de classe de exatidão melhor ou igual a 0,2%. O sistema deverá enviar sinal de alarme para o Sistema Digital de Supervisão e Controle.

As peças fixas serão de construção soldada e deverão guiar os painéis das grades, providas de alargamento da extremidade superior para facilitar o encaixe, e transmitir os esforços ao concreto.

Limpa Grades

As grades deverão ser providas de um dispositivo para limpeza e remoção dos detritos retidos na proteção da entrada do canal adutor.

O limpa grades deverá ser de acionamento elétrico e limpar as duas grades. A talha elétrica e o rastelo se deslocarão lateralmente por sobre uma viga metálica duplo "T" presa a uma estrutura em concreto armado tipo pórtico. A estrutura servirá também de apoio ao guincho para movimentação das comportas. O rastelo deverá ser do tipo limpeza na descida e alcançar toda a extensão das grades.

Deverá ser fornecido com um carrinho metálico para o armazenamento do material retirado, posicionado lateralmente à estrutura.

6.5.2 Grade da Tomada d'Água do Conduto Forçado

A comporta da tomada d'água do conduto forçado deverá ser provida de grade para proteger as turbinas. A grade deverá ser instalada na entrada da tomada d'água, deverá ser do tipo fixa, constituída de painel único, formada por barras de aço chatas e verticais apoiadas em vigas horizontais de estrutura soldada, espaçadas de no máximo 90 mm.

As peças fixas serão de construção soldada e deverão guiar o painel da grade, providas de alargamento da extremidade superior para facilitar o encaixe, e transmitir os esforços ao concreto.

Deverá ser fornecido um sistema de medição das perdas de carga na grade, provido de transdutor manométrico diferencial. Os sensores deverão ser montados em poços adequados à montante e à jusante das grades. Deverão ser de classe de exatidão melhor ou igual a 0,2%. O sistema deverá enviar sinal de alarme para o Sistema Digital de Supervisão e Controle.

Limpa Grades

Além do limpa grades previsto na entrada do Canal Adutor, um segundo limpa grades deverá ser fornecido para a grade da comporta do conduto forçado.

Este equipamento deverá ser de construção simples, constituído de um rastelo, cabos flexíveis e uma talha elétrica para deslocamento lateral e içamento. Deverá ser suportado por uma estrutura aporticada de concreto, composta por vigas e pilares. A estrutura servirá também de apoio ao guincho para movimentação da comporta ensecadeira.

7. EQUIPAMENTOS DE MANOBRA

7.1 Ponte Rolante da Casa de Força

A casa de força deverá ser equipada com uma ponte rolante para o transporte, montagem e manutenção dos equipamentos.

Deverá deslocar-se sobre trilhos em toda a extensão da casa de força e ser equipada com um carro sobre o qual estarão montados um guincho principal e um guincho auxiliar. O deslocamento do carro e o curso dos cabos deverá permitir o acesso aos equipamentos principais da casa de força, tais como: válvulas borboleta, turbinas e geradores.

O guincho de elevação principal deverá ser equipado com gancho duplo. A capacidade do guincho principal foi estimada em 600 kN, peso estimado de um gerador completo. Este valor deverá ser avaliado pelo Fornecedor, devendo suportar uma carga equivalente à peça mais pesada prevista de ser movimentada. O guincho de elevação auxiliar deverá ser equipado com gancho simples. Deverá ser fornecida completa incluindo trilhos de rolamento, batentes de proteção em todas as extremidades, caixa de ligação elétrica, cabos de conexão.

O comando de acionamento dos motores deverá ser efetuado do piso, através de botoeiras do tipo pendente, para serviço ao tempo, aterrada e provida de cabo de aço para proteção dos condutores contra tensão mecânica. Deverá ser equipada com uma lâmpada indicadora de presença de tensão, uma chave liga-desliga para controle da alimentação geral, uma lâmpada de sinalização de defeito, botões de comando de translação da ponte (direita/esquerda), de translação do carro (frente/ré), de elevação (subida/descida) do gancho principal e de elevação (subida/descida) do gancho auxiliar.

A alimentação elétrica da ponte deverá ser de material de uso adequado, protegido contra o toque, com barramento de cobre com quatro condutores (três de fase e um de aterramento da ponte). A alimentação elétrica do carro deverá usar cabo contínuo com quatro condutores (três de fase e um de aterramento do carro).

Uma passarela adequada deverá permitir o fácil acesso ao longo de todo o comprimento das vigas horizontais. Escadas e plataformas deverão facilitar o acesso aos equipamentos e painéis de comando da ponte rolante para os serviços de inspeção e de manutenção durante a operação. As chapas utilizadas em passadiços, escadas ou plataformas deverão ser de material anti-derrapante e providos de corrimão.

7.2 Guincho Elétrico da Adufa Permanente

Deverá ser fornecido um guincho elétrico para a montagem da comporta vagão e da comporta ensecadeira (Adufa nº 1). O guincho deverá também atender aos serviços de montagem e desmontagem durante a manutenção da comporta ensecadeira, da comporta vagão e dos auxiliares hidráulicos, e de movimentação da comporta ensecadeira, durante a operação da usina. O fornecedor deverá definir a capacidade do guincho.

Os movimentos de translação e de elevação deverão ser executados por motores elétricos. Os cabos de alimentação deverão ser flexíveis e suspensos em troles.

O comando de acionamento dos motores deverá ser efetuado do piso, através de botoeiras do tipo pendente, para serviço ao tempo, aterrada e provida de cabo de aço para proteção dos condutores contra tensão mecânica. Deverá ser equipada com uma lâmpada indicadora de presença de tensão, uma chave liga-desliga para controle da alimentação geral, uma lâmpada de sinalização de defeito,

botões de comando de elevação (subida/descida) e translação (direita/esquerda). Deverá se deslocar por meio de viga metálica duplo "T" de aço, presa a uma estrutura de concreto armado.

Os componentes elétricos de comando e de acionamento do guincho deverão ser de fácil acesso para manutenção e providos de plataforma protegida por guarda-corpo e com acesso por escada.

Deverá ser provido de um abrigo metálico apropriado para o estacionamento quando fora de uso.

7.3 Guincho Elétrico das Adufas Temporárias

O guincho elétrico das adufas temporárias (Adufas 2 e 3) destina-se à montagem e desmontagem das duas comportas tipo ensecadeira.

Após o tamponamento das adufas, deverá ser transferido para a estrutura da tomada d'água do canal adutor.

Deverá atender aos requisitos construtivos especificados para o guincho elétrico da adufa permanente.

7.4 Guincho Elétrico da Tomada d'Água do Canal Adutor

O guincho elétrico da tomada d'água do canal adutor deverá ser transferido das adufas de número 2 e 3 (Adufas Temporárias) após completada a operação de tamponamento.

7.5 Guincho Elétrico da Tomada d'Água do Conduto Forçado

Deverá ser fornecido um guincho elétrico para a montagem da comporta vagão. O guincho deverá também atender aos serviços de montagem e desmontagem durante a manutenção da comporta vagão e dos auxiliares hidráulicos, durante a operação da usina. O fornecedor deverá definir a capacidade do guincho.

Os movimentos de translação e de elevação deverão ser executados por motores elétricos. Os cabos de alimentação deverão ser flexíveis e suspensos em troles.

O comando de acionamento dos motores deverá ser efetuado do piso, através de botoeiras do tipo pendente, para serviço ao tempo, aterrada e provida de cabo de aço para proteção dos condutores contra tensão mecânica. Deverá ser equipada com uma lâmpada indicadora de presença de tensão, uma chave liga-desliga para controle da alimentação geral, uma lâmpada de sinalização de defeito, botões de comando de elevação (subida/descida) e translação (direita/esquerda). Deverá se deslocar por meio de viga metálica duplo "T" de aço, presa a uma estrutura de concreto armado.

Os componentes elétricos de comando e de acionamento do guincho deverão ser de fácil acesso para manutenção e providos de plataforma protegida por guarda-corpo e com acesso por escada. Deverá ser provido de um abrigo metálico apropriado para o estacionamento quando fora de uso.

7.6 Guincho Elétrico do Tubo de Sucção

Deverá ser fornecido um guincho elétrico para a montagem das co comportas ensecadeira do tubo de sucção. O guincho deverá também atender aos serviços de retirada e de descida das comportas durante a operação da usina. O fornecedor deverá definir a capacidade do guincho.

Os movimentos de translação e de elevação deverão ser executados por motores elétricos. Os cabos de alimentação deverão ser flexíveis e suspensos em troles.

O comando de acionamento dos motores deverá ser efetuado do piso, através de botoeiras do tipo pendente, para serviço ao tempo, aterrada e provida de cabo de aço para proteção dos condutores contra tensão mecânica. Deverá ser equipada com uma lâmpada indicadora de presença de tensão, uma chave liga-desliga para controle da alimentação geral, uma lâmpada de sinalização de defeito, botões de comando de elevação (subida/descida) e translação (direita/esquerda). Deverá se deslocar por meio de viga metálica duplo "T" de aço, sustentada por uma estrutura de concreto armado em forma de forca.

Os componentes elétricos de comando e de acionamento do guincho deverão ser de fácil acesso para manutenção e providos de plataforma protegida por guarda-corpo e com acesso por escada.

Deverá ser provido de um abrigo metálico apropriado para o estacionamento quando fora de uso.

8. SISTEMAS AUXILIARES MECÂNICOS

8.1 Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem da casa de força terá por finalidade coletar e conduzir para o canal de fuga as águas infiltradas no seu interior, as águas provenientes de vazamentos indesejáveis dos diversos órgãos dos equipamentos, as águas de lavagem, água de resfriamento, água de esgotamento da caixa espiral, tubo de sucção e conduto forçado.

O sistema de drenagem será constituído por uma rede coletora de água – ralos, tubos e canaletas meia cana – que conduzirão por gravidade todas as águas coletadas, a um poço de drenagem, posicionado abaixo do piso do solo de máquinas. A água coletada no poço de drenagem deverá ser recalcada para o canal de fuga, por bombas verticais. Deverão ser fornecidos três conjuntos de moto-bombas do tipo vertical, acionadas por motor elétrico. Cada bomba deverá ser equipada com uma válvula de retenção para impedir circulação de água quando parada e de uma válvula gaveta para possibilitar o isolamento durante a manutenção.

O sistema deverá ser fornecido completo, incluindo tubulações, válvulas de retenção, válvulas gaveta, sistema de lubrificação, chaves de nível para o automatismo de entrada e saída das bombas, chave de nível para alarme de nível alto, quadro de comando local. O fornecedor deverá prever todas as facilidades para a desmontagem das bombas.

O quadro de comando local deverá ser equipado com uma chave seletora de comando Manual-Automático. Em operação Manual as bombas poderão ser ligadas e desligadas a partir do quadro local, por meio de botoeiras, sem ordem de sequência, devendo ter proteção para desligamento por nível baixo de água no poço de drenagem. No modo de operação Automático, as bombas entrarão em

operação seguindo uma sequência de partida pré-definida por uma chave seletora, de modo escalonado, e desligarão pela chave de nível baixo. Os demarradores das bombas de drenagem deverão estar ligados no Centro de Motores de Cargas Essenciais. Deverão ser previstos sinais de bomba ligada, alarme de nível alto, alarme de falha no demarrador, para o Sistema Digital de Supervisão e Controle.

8.2 Sistema de Ar Comprimido de Serviço

O sistema de ar comprimido de serviço deverá ser fornecido com dois compressores, purificadores, reservatório de ar, rede de tubulação, tomadas de serviço, válvulas, manômetros, pressostatos para supervisão. Deverão ser de uso industrial, tipo alternativo, acionado por motor elétrico.

Um dos compressores deverá operar como preferencial e o outro como reserva. Os compressores deverão ter operação automática e sua sequência de partida escalonada. Caso após partir o compressor selecionado como principal a pressão continue caindo, o compressor reserva deverá entrar em operação automaticamente.

O reservatório de ar comprimido deverá ter capacidade de no mínimo 1,5m³, equipado com sistema de purga automático, manômetro e válvula de segurança.

Os demarradores dos compressores deverão estar ligados no Centro de Motores de Serviços Gerais. Deverão ser previstos sinais de compressor ligado, alarme de pressão muito alta e de pressão muito baixa, alarme de falha no demarrador, para o Sistema Digital de Supervisão e Controle.

8.3 Ar Condicionado da Sala de Comando

Deverá ser fornecido um sistema de ar condicionado para atender à sala de comando da usina. Os condicionadores de ar deverão ser do tipo compacto com condensação de ar. O fornecedor deverá apresentar memorial de cálculo mostrando o tipo e a quantidade de equipamentos a ser utilizado.

8.4 Sistema de Combate a Incêndio

Deverá ser fornecido um sistema para combate a incêndio em equipamentos e ambientes da usina e subestação 138 kV. O sistema da usina deverá ser constituído de uma rede de hidrantes e mangueiras, e extintores de incêndio portáteis. Na subestação deverão ser previstos extintores de incêndio portáteis.

A rede de hidrantes deverá ser dimensionada para operar ao mesmo tempo duas mangueiras. Os hidrantes deverão ser fornecidos com caixa apropriada para montagem fixa em parede, registro exposto. A rede de água de incêndio será alimentada por uma tomada de pressão do conduto forçado, e deverá ser equipada com válvulas, manômetros e pressostatos para sinalização de baixa pressão no Sistema Digital de Supervisão e Controle. Os extintores portáteis deverão ser do tipo CO₂ e de água nebulizada. Os hidrantes e extintores deverão ser localizados em posições convenientes para garantir proteção adequada.

9. SUBESTAÇÃO DE 13,8kV DA CASA DE FORÇA

9.1 Descrição Geral

O conjunto de manobra consistirá em um conjunto de seis cubículos para instalação abrigada, contendo barramentos, disjuntores, fusíveis, transformadores de potencial e corrente, equipamento de comando, controle e relés de proteção.

A entrada em 13,8 kV dos geradores, bem como a conexão ao transformador 13,8/138 kV no conjunto, será através de cabos. As saídas em 13,8 kV para alimentação dos transformadores de serviços auxiliares também serão por cabos de energia.

Eletricamente o cubículo deverá para ser montado atender ao diagrama unifilar.

O fabricante deverá enviar em duas vias para aprovação da contratante, os principais desenhos construtivos e diagramas elétricos dos cubículos e seus componentes, catálogos e manuais, composto no mínimo de:

- Desenho do conjunto mostrando as vistas e cortes com as dimensões externas, locação dos componentes, barramentos, portas, tampas, proteções e outros detalhes
- Diagrama unifilar e trifilar do conjunto
- Diagramas funcionais de proteção e controle
- Diagramas de fiação ou interligação
- Lista de materiais e componentes, indicando as suas principais características

-
- Desenhos dimensionais, das placas de características e esquemas dos componentes
 - Catálogos e manuais de instruções dos componentes
 - Lista de peças sobressalentes recomendadas

A contratante analisará os documentos enviados e devolverá, uma via com aprovação para fabricação ou com ressalvas e modificações a serem efetuadas pelo fabricante. Após a aprovação de todos os documentos, o fabricante deverá fornecer duas vias dos mesmos em papel opaco e uma via em disquete.

Os painéis deverão ser fabricados para operar nas seguintes condições ambientais:

- Temperatura máxima: 50 °C
- Temperatura mínima: 0 °C
- Temperatura média diária: 30 °C
- Umidade relativa do ar: até 100%
- Instalação: abrigada
- Regime de trabalho: Contínuo (24 h/dia; 365 dias/ano)
- Clima: Tropical úmido altamente favorável a formação de fungos e corrosão.
- Máxima radiação solar: 520 w/m²

As placas de identificação com as características do cubículo deverão possuir no mínimo as seguintes informações:

- Nome do fabricante, ano de fabricação
- Tipo do conjunto blindado (modelo), massa, uso interno, grau de proteção
- Tensão nominal, frequência nominal, correntes nominal e de curta duração, e nível de isolamento

As placas poderão ser de aço inoxidável ou de alumínio anodizado, localizadas de modo a permitir fácil visualização. As placas de identificação frontais e posteriores dos circuitos deverão ser executadas em acrílico com letras pretas em fundo branco de tamanho adequado para permitir fácil leitura.

Os compartimentos dos cubículos deverão ser construídos em chapas de aço, convenientemente reforçados para impedir deformações e empenamentos. A estrutura deverá ser dotada de perfis de chapa adequados para assentamento em base de concreto (laje). Deverão ser fornecidos os necessários parafusos chumbadores.

O conjunto blindado deverá ser provido de olhais e recursos mecânicos tais que possibilitem deslocamentos ou içamentos, sem causar deformações permanentes ou transitórias que venham a acarretar anomalias, tais como: não fechamento das portas, empenamento dos painéis, etc.

Os compartimentos deverão possuir tampas adequadamente dimensionadas, para alívio de pressões originária da expansão dos gases decorrentes de

eventuais explosões internas, devidamente protegidas contra entrada de poeira e insetos.

Os cubículos serão dotados de portas frontais e tampas traseiras removíveis. A fixação das portas deverá ser com dobradiças e parafusos de forma que a sua remoção só seja possível mediante a utilização de ferramentas.

Na sua parte frontal superior o cubículo terá um compartimento de controle para abrigar os componentes de comando, sinalização e proteção do circuito. Esse compartimento será completamente vedado dos compartimentos de alta tensão e terá porta com trinco, nas quais serão montados os relés, sinalizações e chaves.

Na parte traseira e na porta frontal, exceto na do compartimento de controle, deverão existir venezianas para ventilação, protegidas contra a penetração de insetos. A parte inferior dos cubículos deverá ser fechada e os furos de entrada dos cabos deverão ser vedados para impedir a entrada de insetos e animais.

Os cubículos devem ter proteção e constituir-se basicamente de compartimentos, totalmente fechados por chapas metálicas ou, eventualmente, por material isolante a fim de evitar o alastramento de defeitos entre os diversos compartimentos.

Os compartimentos destinados a alojar equipamentos extraíveis deverão ser dotados de obturadores a fim de evitar toques acidentais a partes sob tensão, quando os equipamentos estiverem retirados. Além do mais deverão ser dotados de bloqueios mecânicos que impeçam extração ou inserção de disjuntores com os contatos fechados.

Todos os materiais isolantes do conjunto blindado serão não higroscópicos ou, em caso de impossibilidade, devidamente tratados e protegidos contra a umidade. As suas superfícies não deverão permitir acúmulo de poeira e outras impurezas que possam se constituir em caminhos para descargas elétricas.

Deverão ser previstas, no projeto, as expansões e contrações devido a mudanças de temperatura nos barramentos, compartimentos, etc. Todas as porcas em partes móveis, sujeitas a expansões e contrações devido a variações de temperatura, serão fixadas com arruelas de pressão ou outro dispositivo de travamento para prevenir a perda das porcas.

Todos os equipamentos e acessórios deverão ser instalados de forma que seja facilitada sua remoção na ocasião da manutenção.

As chapas e perfilados deverão ser totalmente limpos eliminando-se quaisquer tipos de impurezas, tais como sujeira, gordura e oxidação, por meio de jato de areia ou outro método igualmente eficaz. Nas superfícies externas ferrosas, deverá ser empregado o seguinte esquema de pintura:

- Preparo com decapagem química seguida de fosfatização e passivação
- Tinta de fundo: de alta espessura, dois componentes a base de resina epoxi, curada com poliamida pigmentada com óxido de ferro
- Tinta de acabamento com resina epoxi, curada com poliamida

A pintura deverá ser completada na fábrica, de modo que somente eventuais retoques sejam executados no campo.

Todas as superfícies usinadas que não recebem acabamento de pintura, deverão receber para transporte, uma proteção anti-oxidante facilmente removível por qualquer solvente comercial adequado.

Todas as resinas serão tais que a polimerização nos trabalhos de retoques no campo, não requeira o uso de equipamentos especiais. Deverá ser fornecida tinta suficiente para retoques e aplicação de uma demão completa de acabamento no campo.

O equipamento fornecido deverá ser adequado para serviço sob condições tropicais de alta temperatura, alta umidade, e ambiente propício a formação de mofo e fungos. Deverá ser prevista ventilação e resistência de aquecimento.

O fabricante poderá propor outro tipo de tratamento das chapas desde que de qualidade igual ou superior ao especificado, e que seja previamente aprovado pela contratante.

Nas conexões das partes condutoras da corrente principal, deverão ser usados parafusos, porcas e arruelas de material não ferroso, comprovadamente adequados, resistentes à corrosão e à cristalização. As uniões metálicas deverão ser compatíveis tendo em vista a possibilidade de ocorrer corrosão galvânica.

A fixação dos barramentos aos seus suportes isolantes deverá ser feita também por parafusos, porcas e arruelas de material não ferroso.

Os contatos ou conexões no circuito principal de alta tensão deverão ser revestidos de prata. O circuito principal deve conter o menor número possível de emendas.

Toda a fiação deverá ser disposta fisicamente de acordo com os diagramas de fiação e claramente identificada em todos os pontos de ligação por etiquetas ou anilhas, de forma indelével e facilmente visível.

Cada cubículo deverá possuir um sistema de aquecimento controlado por termostato, com resistores, cobertos por chapas de ferro inteiramente perfuradas, localizados de modo a evitar a condensação de umidade nos equipamentos.

10. SISTEMA DE SUPERVISÃO, CONTROLE E PROTEÇÃO

10.1 Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC)

O SDSD deverá ser fornecido com todos os recursos necessários para a operação da usina desassistida. Deverá ser do tipo digital, controlar todos os sistemas e equipamentos da usina e subestação a partir da sala de comando da usina, e para operação remota pelo Centro de Operações da contratante.

O sistema deverá executar as funções de supervisão para alarme de condições anormais de operação, geração de alarmes, geração de lista de eventos. O interface homem-máquina deverá ser amigável, com telas de controle de fácil entendimento para operação e supervisão.

A supervisão das unidades, da subestação e dos serviços auxiliares deverá ser feita pela aquisição de dados do processo pelos diversos CLPs dedicados a cada um dos processos. As grandezas principais inerentes ao funcionamento do gerador, do transformador, da linha de transmissão, do quadro de distribuição geral dos serviços auxiliares, também deverão ser mostradas por indicadores instalados nos respectivos quadros de controle.

O sistema deverá ser fornecido com:

- um quadro de controle para cada unidade geradora
- um quadro de controle para a subestação 138kV
- um quadro de controle para os serviços auxiliares
- dois consoles de operação
- no-break
- um sistema de comunicação dados

-
- rede de comunicação
 - licença de uso de todos os drivers e softwares utilizados

10.1.1 Quadro de Controle da Unidade Geradora – QCL-U1 e QCL-U2

O quadro de controle da unidade deverá ser instalado na sala de comando da usina, conter o Controlador Lógico Programável (CLP) que executará as funções de supervisão e controle da unidade, o seqüenciamento para a partida e parada automática do grupo; os comandos manuais dos auxiliares da unidade incluindo comporta da tomada d'água, freios do gerador, válvula borboleta, regulador de velocidade e de tensão, bombas de óleo dos mancais, abertura e fechamento do disjuntor do grupo; parada de emergência; sincronização manual e automática; controle de potência ativa e reativa; instrumentos indicadores de rotação da unidade, abertura do servomotor, corrente de excitação, tensão do gerador, corrente do gerador, potência ativa, potência reativa.

A seqüência de partida automática da unidade deverá executar todas as verificações de condições de partida como nível do reservatório, comporta aberta, pressão no conduto forçado, nível de óleo dos mancais, nível e pressão de óleo do regulador de velocidade, pressão de ar de freios, circulação de água na vedação do eixo, não existência de proteção atuada. A partir de um comando dado, localmente (do console de operação) ou remotamente (do Centro de Operação), atendidas todas as condições de partida, soltar o freio, abrir a válvula borboleta, comandar a partida do regulador de velocidade, ativar o sistema de excitação, ativar o sincronizador automático, e após a unidade interligada comandar a tomada de carga conforme programação.

Da mesma forma, a partir de um comando dado, localmente (do console de operação) ou remotamente (do Centro de Operação), ou por programação pré-definida quando o nível do reservatório atingir o limite mínimo de operação, o

sistema deverá efetuar a parada normal da unidade. A parada normal consiste na redução da carga com rampa previamente ajustada, abertura do disjuntor quando a unidade estiver em vazio, desligamento da excitação, comandar a parada do regulador de velocidade, fechamento da válvula borboleta e aplicação dos freios quando a rotação atingir o valor definido no projeto.

Um controle conjunto de potência ativa deverá distribuir a geração entre as unidades, otimizando a faixa de operação das turbinas dentro dos pontos de melhor rendimento para as condições de nível e efetuar o desligamento e parada de uma unidade quando as condições de operação atingirem os limites críticos. Deverá também, a partir das informações dos níveis de montante e jusante, da abertura do distribuidor, da geração instantânea, fazer um diagnóstico do desempenho da unidade, alertando para qualquer anormalidade, seja por perdas elevadas nas grades das comportas ou por problemas na turbina.

O sistema deverá efetuar automaticamente o desligamento e a parada, se necessário, da unidade sempre que ocorrer a atuação de proteções. Dois tipos de desligamento por proteção deverão ser previstos:

- *parada parcial* – por atuação de proteções eminentemente relativas a falhas que não necessitem a parada da turbina, comandando a abertura do disjuntor do grupo e desligamento da excitação do gerador, reduzindo o tempo de retorno da unidade ao sistema;
- *parada total* – por falhas que impedem a permanência a unidade rodando em vazio ou levariam a danos no equipamento.

O sistema deverá permitir a sincronização do grupo manualmente.. Um relé de verificação de sincronismo deverá proteger a unidade contra o fechamento do disjuntor enquanto as condições de frequência e tensão não forem atendidas.

O quadro de controle a unidade, os reguladores de velocidade e de tensão poderão ser integrados em uma única unidade.

10.1.2 Quadro de Controle da Subestação 138kV – QCL-SE

O quadro de controle da subestação 138kV deverá ser instalado na sala de comando da usina, conter o Controlador Lógico Programável (CLP) que executará as funções de supervisão e controle dos equipamentos de manobra da subestação 138kV e de supervisão da subestação de 13,8kV da casa de força. Deverá ser provido de chaves de comando para manobra das chaves seccionadoras de 138kV, do disjuntor do lado de 13,8kV do transformador elevador, do disjuntor da linha de 138kV, e todos os intertravamentos necessários para a operação segura dos mesmos. A supervisão dos dispositivos de proteção e de supervisão do transformador elevador deverá ser executada por este CLP.

10.1.3 Quadro de Controle dos Serviços Auxiliares - QCL-SA

O quadro de controle dos serviços auxiliares deverá ser instalado na sala de comando da usina, conter o Controlador Lógico Programável (CLP) que executará as funções de supervisão e controle dos serviços auxiliares de corrente alternada e de corrente contínua da usina, da subestação, da tomada d'água e barragem.

Ficará a cargo deste CLP o processamento de todos os intertravamentos necessários ao processo, das lógicas de automatismo para transferência automática dos disjuntores de baixa tensão do quadro de distribuição geral dos serviços auxiliares, a partida automática do grupo diesel de emergência, supervisão e proteção dos transformadores de serviços auxiliares, e a aquisição de dados para supervisão de todos os sistemas auxiliares da casa de força, tomada d'água e barragem.

O fornecedor deverá indicar na proposta qual a alternativa que irá utilizar, para a transmissão de dados e comando da válvula de controle da vazão sanitária, entre a barragem e a casa de força, e entre a tomada d'água e a casa de força para transmissão de dados e comando da comporta.

10.1.4 Consoles de Operação

Os consoles de operação deverão ser montados na sala de comando da usina, providos de duas unidades de supervisão e comando, com operação redundante. Cada unidade de supervisão e comando deverá ser equipada com:

- um microcomputador desktop, com processador pentium 500 MHz (mínimo) ou compatível, memória RAM de 64MB (mínimo), monitor de 17" colorido, teclado padrão, interface de comunicação, unidade de disco rígido de 4GB (mínimo), unidade de disco flexível 1,44MB, mouse.
- Sistema operacional Windows NT ou Unix
- Software de supervisão comercial
- Driver de comunicação com o sistema de controle
- Software para análise de sinais de registros
- rede de comunicação digital
- impressora, própria para uso de formulário contínuo
- uma impressora tipo jato de tinta para atender às duas consoles
- mesa apropriada para a instalação dos equipamentos
- cadeira para uso do operador
- instalação elétrica completa incluindo fontes e nobreaks

10.1.5 Sistema de Comunicação de Dados

O fornecimento do SDSC deverá incluir todo o material necessário para a transmissão de dados entre a usina e o Centro de Operação da contratante, incluindo: modems, material para interligação com o sistema de comunicação da usina, e prestar a assistência necessária para a integração dos dois sistemas.

10.2 Proteção

As unidades geradoras, transformador elevador, transformadores dos serviços auxiliares, subestação da casa de força, transformadores auxiliares deverão ser providos de relés de proteção, adequados para evitar ou minimizar danos provocados por falhas internas, reduzir o tempo de reparo, avaliar o comportamento dos equipamentos atuando preventivamente evitando desligamentos desnecessários.

As funções de supervisão (alarme, monitoração, análise de tendências) e de proteção (desligamento, parada), serão executadas por sinais gerados por sensores tais como RTDs, de pressão, de nível, de fluxo, e por equipamentos elétricos como TPs e TCs e por relés de proteção.

Os relés de proteção deverão ser de tecnologia digital, capazes de prover completa proteção à unidade geradora, possuir alarme de falha interna, insensíveis a interferências, transitórios e falhas nos circuitos de CA e de CC. As variações de tensão e de frequência. Deverão incorporar recursos para oscilografia, taxa de amostragem de 12 amostras por ciclo, e ser fornecidos os programa de manipulação dos dados e todos os softwares necessários para se obter os dados de oscilografia e de parametrização do relé por meio de microcomputador portátil. Todos os manuais de utilização, ajuste e parametrização referentes ao relé deverão ser incluídos no fornecimento.

11. SERVIÇOS AUXILIARES DE CORRENTE ALTERNADA

Os serviços auxiliares em corrente alternada deverão ser supridos em 380/220V. O sistema deverá incluir basicamente:

- dois transformadores de serviços auxiliares – TSA-1 e TSA-2, alimentados pela SECF em 13,8kV, protegidos por disjuntores
- um quadro de distribuição geral – QDG
- centros de controle de motores e quadros de distribuição

11.1 Arranjo

Não está prevista nenhuma fonte externa à casa de força para alimentação dos serviços auxiliares da usina e tomada d'água do conduto forçado. Os serviços auxiliares da barragem deverão ser alimentados por uma rede de 13,8kV da concessionária.

O projeto do sistema deverá considerar a característica de ser uma usina com operação desassistida e prever recursos para supervisão e operação à distância.

Em condições normais, um dos transformadores auxiliares alimentará o QDG. O QDG deverá ser provido com um automatismo para transferência de fontes no caso de falha de um dos transformadores e de partida do grupo diesel de emergência na falha de ambas as fontes. O automatismo deverá tirar de operação as cargas não essenciais quando o grupo diesel de emergência for entrar em serviço e restaurar o sistema quando a alimentação normal for restabelecida.

11.2 Potência

O fornecedor deverá definir a potência dos serviços auxiliares e dimensionar

convenientemente os transformadores auxiliares, grupo diesel de emergência, cabos de força, disjuntores e barramentos.

Os transformadores de serviços auxiliares deverão ser dimensionados para atendimento a potência total das cargas, levando em conta que não irão trabalhar em paralelo. Os transformadores deverão ser fornecidos com proteção de temperatura e supervisão de nível do óleo.

Caso o fornecedor opte por instalar os transformadores auxiliares no interior da casa de força, os mesmos deverão ser fornecidos em cubículos apropriados, incluir proteção de temperatura.

11.3 Classificação das Cargas

As cargas da usina deverão ser classificadas como cargas essenciais e cargas não essenciais.

11.3.1 Cargas Essenciais

São consideradas como cargas essenciais aquelas indispensáveis para a operação da usina e que não deverão sofrer interrupção prolongada durante a operação, tais como:

- equipamentos acionados durante a partida, operação normal e na parada da unidade
- bombas de drenagem da casa de força
- auxiliares do disjuntores e seccionadoras da subestação 138kV
- carregadores de baterias
- iluminação de segurança

11.3.2 Cargas não essenciais

São consideradas como cargas não essenciais aquelas cuja interrupção não impeça a operação segura das unidades e da usina, tais como:

- iluminação e tomadas em geral
- pórticos e ponte rolante
- sistema de ar comprimido
- aquecimento dos painéis e dos geradores
- equipamentos de ar condicionado

11.4 Gerador de Emergência

Deverá ser fornecido um grupo gerador para operação de emergência, acionado por motor diesel, dimensionado para atender às cargas essenciais.

O gerador de emergência deverá ter partida automática. Deverá ser provido de bateria, carregador de bateria acionado pelo motor, um carregador de bateria alimentado pelo serviço auxiliar de corrente alternada, para manter o grupo em condição de partida. A água de resfriamento deverá ter um sistema de pré-aquecimento.

As proteções do grupo deverão ser supervisionadas pelo Sistema Digital de Supervisão e Controle.

O gerador será conectado ao quadro de distribuição geral - QDG.

11.5 Iluminação e Tomadas

O fornecimento deverá incluir todo o sistema de iluminação e tomadas da barragem, tomada d'água do canal adutor e do conduto forçado, subestação de 138kV, áreas externas da casa de força, e as instalações no interior da casa de força.

A distribuição no interior e exterior da casa de força deverá ser centralizada em um Quadro de Iluminação.

O fornecedor deverá ser compatibilizar o sistema de iluminação com o sistema de vigilância para permitir o acionamento remoto. As lâmpadas das áreas externas à casa de força deverão ser controladas por foto-células. Um sistema automático deverá acionar lâmpadas de iluminação de emergência.

12. SERVIÇOS AUXILIARES DE CORRENTE CONTÍNUA

O suprimento dos serviços auxiliares de corrente contínua deverá incluir basicamente:

- um banco de baterias, para alimentação dos sistemas de supervisão, comando, proteção, iluminação de emergência e sistemas de comunicação.
- um carregador de baterias para o banco
- um painel de distribuição de cargas para o sistema

Os conjuntos de baterias e carregadores deverão ser dimensionados para atender a totalidade das cargas.

12.1 Baterias e Carregadores

As baterias deverão ser de do tipo chumbo-ácida. Os pólos deverão ser claramente identificados. O tempo de descarga do banco de baterias deverá ser de 6 horas até atingir a tensão final de descarga. A tensão de descarga deverá ser de 100V.

O carregador deverá suprir a corrente de consumo normal, e carregar o banco de baterias em 10 horas. Deverão ser providos de dispositivos de proteção contra surtos de tensão tanto no lado de corrente alternada quanto no lado de corrente contínua. Deverá ser fornecido com sensores de falha alimentação, fuga para terra no lado positivo, fuga para terra no lado negativo, sobretensão e subtensão. Os estados de operação e os sinais de falha deverão ser sinalizados no painel do regulador e enviados ao Sistema Digital de Supervisão e Controle. Deverão ser providos de instrumentos indicadores para as seguintes funções: tensão na saída

do carregador, corrente na saída do carregador, tensão na bateria, corrente na bateria.

12.2 Painel de Distribuição de Cargas – DCC1

O painel de distribuição de cargas de 125Vcc deverá ser adequado para uso interno, sistema isolado da terra. Deverá ser provido de instrumentos indicadores e dispositivos de supervisão para as seguintes funções: tensão na entrada, corrente de entrada, tensão na barra, transdutores para o Sistema Digital de Supervisão e Controle, relé de subtensão.

13. SUBESTAÇÃO 138 kV

Os principais equipamentos da subestação 138KV são:

- *Transformador Elevador:* Transformador trifásico, imerso em óleo isolante, sistema de resfriamento óleo natural/ar forçado 60Hz, enrolamento no lado de tensão inferior em triângulo interligado ao gerador, enrolamento no lado de tensão superior em estrela com neutro acessível.
- *Disjuntor de 145kV:* Os disjuntores deverão ser tripolares, projetados e construídos de forma que quando operados dentro de suas características nominais, a temperatura se situe dentro dos limites aceitáveis de temperatura.
- *Chave Seccionadora:* As chaves seccionadoras deverão ser tripolares, com comando motorizado, para instalação ao tempo.
- *Transformadores para Instrumentos:* Os transformadores para instrumentos deverão ser monofásicos, em óleo isolante e para instalação ao tempo. Deverão ser do tipo auto-sustentável e adequados para montagem apoiados pela base sobre a estrutura metálica.
- *Transformador de Potencial*
- *Transformador de Corrente*
- *Pára-raios:* deverão ser moldados em invólucro de porcelana e deverá ser provido de flanges de montagem de metal nas superfícies das extremidades da porcelana a fim de vedar completamente o pára-raios e permitir a conexão do invólucro vedado em sua base ou tampa. Deverá ser adequado para montagem em estrutura metálica.

14. ATERRAMENTO

Todos os equipamentos, e partes metálicas de estruturas da usina e subestação 138kV, deverão conectados a uma malha de aterramento. A corrente a ser considerada no dimensionamento da malha de aterramento deverá ser a maior corrente de curto circuito estimada. O tempo de duração do defeito considerado deverá ser de 1 segundo.

15. COMISSIONAMENTO

15.1 Inspeções e Testes

Após concluída a montagem, os equipamentos objeto desse fornecimento deverão ser inspecionados e testados pelo fabricante conforme normas aplicáveis, os requisitos específicos destas Especificações Técnicas, manuais do fornecedor e última revisão dos desenhos de fabricação e montagem. A contratante deverá acompanhar as inspeções e testes e sua aprovação será dada após comprovado o atendimento às especificações. O fornecedor deverá entregar à contratante três cópias do Relatório dos Ensaios de Comissionamento. O relatório deverá incluir todas as informações e dados relativos às medições e observações realizadas durante a montagem e durante os ensaios para o acompanhamento do histórico de cada equipamento.

Ficará a cargo do fornecedor os custos decorrentes da repetição de ensaios quando o equipamento não atender às características garantidas, e da correção de defeitos nos componentes que apresentarem falhas ou deficiências.

15.2 Manual de Comissionamento

O fornecedor deverá apresentar para análise e aprovação da contratante um manual de comissionamento, incluindo a relação de ensaios que deverão ser executados nos diversos equipamentos do fornecimento. Deverão ser relacionados os ensaios com máquina parada, com a unidade girando em vazio e com carga, bem como os ensaios dos sistemas hidráulicos, de regulação, de proteção, transformadores, cubículos, e serviços auxiliares em geral.

15.3 Execução e Instrumentação de Ensaio

Ficará a cargo do fornecedor a disponibilização de toda instrumentação necessária para os ensaios de comissionamento. O fornecedor deverá

disponibilizar todos os engenheiros e técnicos necessários para a execução dos ensaios.

16. MATERIAIS E QUALIDADE DE EXECUÇÃO

16.1 Escopo

Esta seção define os requisitos básicos gerais aplicáveis aos materiais e componentes, às tensões mecânicas de trabalho e à qualidade de execução associadas ao projeto, fabricação, inspeção, ensaios de fábrica e na obra, montagem na fábrica e na obra, comissionamento, colocação em operação, ensaios de desempenho e cumprimento das garantias, dos equipamentos para a Usina Hidrelétrica EPUSP, conforme relacionados nestas Especificações Técnicas e Desenhos. As exigências suplementares ou restritivas de natureza especial, quando houverem, estarão incluídas na descrição do equipamento a que se referem.

16.2 Materiais

Os materiais, suprimentos e componentes manufaturados ou não pelo próprio fornecedor, deverão ser novos, livres de imperfeições, de primeira qualidade e estar de acordo com as últimas revisões das normas aplicáveis. Sempre que o fornecedor, desejar utilizar materiais outros materiais, deverá informar a natureza exata do desvio ou exceção, e submeter à aprovação da contratante as especificações completas dos materiais ou outras normas equivalentes que propõe utilizar. Amostras de materiais deverão ser submetidas para aprovação da contratante quando exigido.

Desenhos e listas de materiais submetidos a aprovação, deverão indicar o tipo e a qualidade do material. Sempre que ocorrer o uso de equipamentos, materiais e dispositivos para serviços similares ou idênticos, deverão ser do mesmo tipo, marca e intercambiáveis.

16.3 Normas

Materiais elétricos, eletrônicos e mecânicos, quando não citada outra norma ou recomendação, o fornecimento deverá atender os requisitos das normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, para o projeto, valores nominais, características, materiais, qualidade de fabricação, montagem, fiação e testes. Nos casos em que as normas da ABNT não cobrirem integralmente o fornecimento, poderá ser utilizada uma das normas a seguir, devendo o fornecedor submeter à aprovação da contratante:

- ANSI - American National Standards Institute
- ASME- American Society of Mechanical Engineers
- BS - British Standards
- IEC- International Electrotechnical Commission
- JIS - Japanese Industrial Standards
- DIN- Deutsche Industrie Normen
- VDE - Verband Deutscher Elektrotechniker
- IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers
- IPCEA - Insulated Power Cable Engineers Association
- ISO- International Organization for Standardization
- NEMA- National Electrical Manufacturers Association
- NFPA - National Fire Protection Association
- SSPC - Steel Structures Painting Council
- AWWA - American Water Works Association
- ASTM - American Society for Testing and Materials
- API- American Petroleum Institute

16.4 Ensaios de Materiais

O fornecedor deverá apresentar um plano de controle de qualidade dos materiais, componentes e processos de fabricação.

Deverá ser fornecido um "Data Book" incluindo as cópias dos certificados e dos relatórios de ensaios. Os resultados destes ensaios deverão ser apresentados de forma a permitir a verificação da conformidade com as especificações aplicáveis ao material ensaiado. Os ensaios ou provas definidos na fase de projeto, deverão ser feitos na presença de um inspetor devidamente autorizado representando a contratante, exceto quando por ela dispensado. A dispensa de inspeção ou aceitação dos materiais, partes e conjuntos, por parte da contratante, não isentará o fornecedor de fornecer o equipamento satisfazendo os requisitos destas Especificações Técnicas. O fornecedor deverá informar com antecedência o programa de ensaios e provas, em cada fase do fornecimento, viabilizando a programação das inspeções acima referidas.

Os custos de todos os ensaios e provas deverão ser incluídos nos preços do fornecimento, exceto o pagamento e despesas do inspetor da contratante.

16.5 Tensões de Projeto

16.5.1 Generalidades

O fornecedor deverá submeter a análise da contratante os memoriais de cálculo relativos às tensões máximas, deformações e deslocamentos verificados no projeto. No dimensionamento de peças sujeitas a esforços alternados, choques ou esforços de origem magnética, deverão ser adotados fatores de segurança adequados.

16.5.2 Projeto Estrutural

Os componentes do circuito hidráulico deverão ser dimensionados para as condições mais severas de operação, considerando-se como condição normal a pressão total máxima equivalente à pressão estática máxima acrescida da sobrepressão máxima esperada e, a pressão mínima correspondente à pressão estática mínima decrescida da subpressão que ocorre num transiente hidráulico.

Os esforços decorrentes de regimes de trabalho oscilatórios deverão também ser considerados no cálculo como esforços cíclicos de intensidade proporcional à máxima aceleração da massa quando em movimento oscilatório.

16.5.3 Tensões Admissíveis

Condições Normais de Operação, Montagem e Manutenção

Todos os equipamentos e componentes agregados deverão ser projetados e fornecidos para as condições de trabalho sob os máximos esforços decorrentes da operação normal, montagem ou manutenção e considerando os desbalanceamentos mecânicos, hidráulicos e eletromagnéticos.

Condições Anormais Previstas

Nas peças ou partes do equipamento sujeitas aos esforços decorrentes da operação em condições anormais, tem-se que a tensão máxima não deverá exceder a 2/3 (dois terços) do limite de escoamento do material. Entende-se por operação em condições anormais como sendo aquela onde se verifica isoladamente uma das seguintes condições:

- operação sob a velocidade de disparo com a turbina sob a queda máxima, palhetas do distribuidor totalmente abertas
- Curto-circuito na metade dos pólos, com a unidade a plena carga

Vibrações e Nível de Ruído

Cuidados especiais deverão ser tomados de forma a assegurar que a turbina e todos os componentes do fornecimento, inclusive o trecho da transição entre a mesma e o conduto forçado, após sua montagem e acoplamento com o gerador, operará em todas as faixas de carga, inclusive em situações transientes de velocidade e pressões sem amplitudes de vibração e nível de ruído além daquelas aceitáveis para uma operação contínua e normal. Mesmo em sobrevelocidade, incluindo a velocidade de disparo, as amplitudes de vibração horizontal e vertical, não deverão ser excessivas nem de natureza perigosa.

O fornecedor deverá indicar as amplitudes máximas de vibração admissíveis para operação contínua da unidade à potência máxima e velocidade nominal. O nível de ruído emitido pelo grupo gerador não poderá ultrapassar os limites exigidos pela Lei 6.514 de 22/12/1.977 regulamentada pela portaria 3.214 de 08/06/1.978 relativas à segurança e Medicina do trabalho, Norma Regulamentadora NR-15.

16.6 Qualidade de Execução

16.6.1 Generalidades

A qualidade de execução deste fornecimento será norteadada pelos critérios de controle aplicáveis da norma ISO 9000. As medidas e dimensões indicadas nos Desenhos submetidos à aprovação deverão ser expressas no sistema métrico (Sistema Internacional de Unidades – SI).

16.6.2 Soldagem Elétrica

Geral

Todas as soldas deverão ser executadas pelo método de arco elétrico e, sempre que praticável usando máquinas automáticas. A descrição completa dos processos de soldagem na fábrica e na obra, deverá ser submetida à aprovação

através de Especificações de Procedimento de Soldagem (EPS), devidamente acompanhadas pelos respectivos Registros de Qualificação de Procedimento (RQP) e pelos planos de soldagem. Os planos de soldagem deverão conter a identificação da(s) solda(s) abrangida(s) pelo(s) EPS(s), bem como as informações adicionais aplicáveis tais como ensaios não destrutivos, seqüências de soldagens, tratamentos térmicos e localização do cordão no respectivo componente. Essa documentação deverá abranger as soldas estrutural e funcionalmente importantes de fábrica ou de obra.

Preparação para Soldagem

Partes a serem unidas por soldagem deverão ser cortadas no tamanho exato, com cantos chanfrados, cortados a chama ou usinados de modo adequado ao tipo de solda requerida e de modo a permitir boa fusão da solda com o metal de base.

As superfícies cortadas deverão estar livres de todo defeito visível. As chapas a serem soldadas deverão estar livres de ferrugem, graxa e outras matérias estranhas ao longo das superfícies preparadas para soldagem.

Qualidade das Soldas

O projeto das juntas soldadas e os procedimentos para as soldagens na fábrica e na obra, deverão ser realizados em conformidade com os requisitos estabelecidos nos códigos aplicáveis e/ou nestas Especificações Técnicas.

Serão requeridos exames não destrutivos, tais como radiográficos, ultra-sônicos e por líquido penetrante das soldas, onde determinado no projeto e/ou no Manual de Controle de Qualidade. Nos casos em que existirem dúvidas quanto à qualidade da solda poderão ser exigidos ensaios adicionais, mesmo quando não

originalmente previstos no projeto e/ou Manual de Controle de Qualidade. Nessas eventualidades todas as despesas relativas à execução desses ensaios, bem como os subsequentes reparos e/ou substituições, ficarão integralmente sob encargo do fornecedor.

16.6.3 Peças de Aço Fundido

Generalidades

As peças de aço fundido deverão estar isentas de defeitos prejudiciais e satisfatoriamente limpas, para o uso a que se destinam. As superfícies das peças de aço fundido que não sejam usinadas e que fiquem à mostra, na instalação final, deverão estar isentas de irregularidades de fundição tais como saliências, rugosidades, concavidades, falhas, sinais ou marcas de desbaste, de modo a não exigirem operações de alisamento da superfície, no local da obra, antes da pintura. Será determinada a localização e extensão dos defeitos existentes os quais deverão ser completamente removidos, até expor material são. A estrutura das peças de aço fundido deverá ser homogênea e isenta de excessivas inclusões não metálicas. A excessiva segregação de impurezas ou metal de liga em pontos críticos das peças fundidas será motivo para a sua rejeição. Todas as peças fundidas que sofram operações de soldagem deverão ser aliviadas de tensões.

Inspeção

O fornecedor deverá notificar a contratante com antecedência suficiente, para que possa ter, se assim o desejar, um inspetor presente na fundição, por ocasião da limpeza das peças fundidas e da remoção dos defeitos, até expor metal são e antes de se levar a efeito qualquer reparo por soldagem e após as peças terem sido tratadas termicamente. Por ocasião dessa inspeção, serão removidos das peças fundidas, os apêndices dos quais serão preparados os corpos de prova para ensaios destrutivos (tração, dobramento e impacto). Deverão ser fornecidas cópias autenticadas dos relatórios de ensaios. O fornecedor deverá efetuar

inspeção por métodos não destrutivos das peças fundidas importantes e sujeitas a esforços, antes da usinagem final. Poderá ser exigida inspeção radiográfica, ou por partícula magnética ou outro ensaio não destrutivo, sempre que se desejar efetuar tais ensaios para julgar da aceitabilidade e peças fundidas que apresentem defeitos que as coloquem na iminência de rejeição, ou para determinar se as reparações por soldagem foram feitas adequadamente. Quaisquer ensaios, nessas condições, correrão por conta do fornecedor.

Reparações por Soldagem

São considerados defeitos grandes, aqueles em que a profundidade da cavidade, após convenientemente preparada para soldagem, exceder 20% (vinte por cento) da espessura da parede ou 25 mm (prevalecendo o que for menor). A soldagem de defeitos somente deverá ser executada por soldadores qualificados. Peças fundidas com defeitos grandes e reparados com solda, em qualquer estágio de fabricação posterior ao primeiro tratamento térmico (recozimento) deverão ser aliviadas de tensão.

16.6.4 Acabamento

O acabamento das superfícies deverá ser indicado nos desenhos de detalhe. Todas as peças deverão estar isentas de rebarbas, cantos vivos e imperfeições, decorrentes de corte, usinagem e soldagem. Todas as peças visíveis, depois de montadas, deverão merecer atenção especial a fim de que o equipamento apresente uma aparência agradável.

16.7 Tubulação

16.7.1 Geral

O fornecedor deverá fornecer toda tubulação para ar, óleo e água, de interface entre as diversas partes e componentes do fornecimento, com respectivas

válvulas, como mencionado nestas Especificações Técnicas.

A espessura da parede, classe e material dos tubos e conexões, flanges, válvulas, deverá ser determinada pela máxima pressão de operação do sistema. Os fatores de segurança e pressão de teste deverão ser como estipulados pelo código da ASME. A velocidade dos fluidos nos tubos não deverá exceder 3 m/s. Válvulas gaveta em linhas de pressão com diâmetro nominal de 8" ou mais, deverão ser providas de sistema de "by-pass" incorporados às válvulas para equalização de pressão.

Para tubulações, válvulas e conexões de até 2"½ (duas e meia) polegadas de diâmetro serão aceitas conexões roscadas. Para tubulações de diâmetro superior 2"½ (duas e meia) polegadas deverão ser previstas conexões flangeadas a menos que se especifique o contrário

Tubos e conexões de aço carbono, onde não indicado em contrário, deverão receber acabamento galvanizado.

Todos os parafusos, prisioneiros, porcas, arruelas, gaxetas, vedações, etc., necessários e requeridos para a montagem no campo, dos sistemas de tubulação para os equipamentos objeto destas especificações deverão ser providos pelo fornecedor, com um excedente de 10%.

16.7.2 Válvulas

As válvulas deverão ser de aço fundido ou aço forjado e deverão ter sedes em bronze, latão, aço inoxidável e onde seja requerida vedação de ar deverão ter sedes em teflon.

Todas as válvulas de gaveta deverão ser do tipo gaveta sólida, com haste ascendente com rosca interna ou haste ascendente com rosca externa.

Válvulas de retenção deverão ser do tipo portinhola ou de portinhola dupla bipartida.

16.8 Materiais e Equipamentos Elétricos e Eletrônicos

16.8.1 Requisitos Gerais

O fornecedor deverá fornecer todos os painéis, cubículos, caixas de ligação, medidores, relés, chaves, transdutores, fiação, eletrodutos e outros materiais e equipamentos necessários para o mais completo atendimento a estas Especificações Técnicas.

16.8.2 Aterramento de Equipamentos em Geral

Todas as partes metálicas de equipamentos ou sistemas não sujeitos a potencial deverão ser arranjados de forma a proporcionar um caminho elétrico eficaz para a terra. Os equipamentos, bases e suportes deverão ser fornecidos com conectores de terra adequados.

16.8.4 Painéis

O processo e o sistema de montagem dos painéis e cubículos deve permitir ampliações do sistema e acesso para manutenção de forma irrestrita a todos os seus componentes.

Circuitos de automatismo (comando e/ou controle), proteção, sinalização, medição, transdução, etc., deverão ocupar seções distintas.

As superfícies expostas das chapas não deverão apresentar buracos, costuras, marcas de soldas ou outras imperfeições.

Todos os componentes deverão ser fixados sobre chassis e nunca diretamente sobre as paredes dos painéis. Todos os fechos, parafusos e porcas de material ferroso, deverão ter um acabamento anticorrosivo e os parafusos providos de arruelas de pressão ou outro dispositivo de bloqueio.

Os quadros deverão ser providos de uma ou mais portas, conforme necessário. As dobradiças de todas as portas deverão ser embutidas e montadas de forma tal que permita pelo menos 105° de abertura a partir da posição fechada. Deverão ser providos limitadores de abertura das portas onde necessário, para prevenir danos às dobradiças e equipamentos adjacentes. Cada porta deverá ser provida de uma fechadura para acionamento de uma trava vertical superior e outra inferior da porta. Painéis de um mesmo conjunto terão chaves com segredo único. Cada fechadura deverá ser fornecida com duas chaves. As portas deverão ser removíveis e possuir uma junta de neoprene para vedação. Nos casos de gavetas extraíveis, tanto na posição “extraída” como “inserida”, deverá ser permitido o fechamento da porta.

Cada seção do quadro deverá ser provida de aberturas para ventilação, que deverão ser do tipo veneziana com telas e filtro removíveis. Os painéis deverão formar conjuntos modulares sobre chassis em perfil “U”, e providos de olhais removíveis para içamento e transporte.

O fornecedor deverá submeter à aprovação da contratante todos os instrumentos e demais dispositivos do fornecimento, mediante catálogos, ou documentação equivalente, que descreva detalhadamente todas as características técnicas dos mesmos, incluindo os desenhos detalhados da base e do tipo de fixação ao piso acabado dos painéis.

Arranjo dos Equipamentos

Os equipamentos de controle, comando, medição, potência, etc., deverão ser distribuídos dentro de cada seção, obedecendo-se a sua finalidade (controle ou potência). Essa distribuição deverá permitir o fácil acesso a todos os componentes, e eventuais trocas dos mesmos deverão ser feitas sem interferências de componentes adjacentes.

Proteção dos Circuitos

Todo circuito com alimentação externa deverá ser protegido por disjuntores dimensionados conforme a carga e o nível de curto-circuito especificado. Os circuitos de comando e proteção deverão também ser protegidos por disjuntores.

Fornecimentos Adicionais

- *Iluminação:* Para os painéis, deverá ser prevista internamente a cada seção do painel, uma ou mais lâmpadas incandescentes com potência de 60 W, comandada por um micro-interruptor acionado ao abrir a porta.
- *Aquecimento:* Para evitar a condensação no interior, os painéis, cubículos, quadros de distribuição, deverão ser providos de resistores de aquecimento adequados.
- *Tomadas:* Deverá ser fornecida uma tomada monofásica em cada painel com pino terra.

-
- *Fiação Interna:* A fiação do quadro deverá permitir o livre acesso aos equipamentos sem a desmontagem de qualquer parte do painel ou a retirada de qualquer equipamento. A fiação interna deverá ser executada em tubos flexíveis não propagantes de fogo. Os condutores utilizados na fiação interna deverão ser extra flexíveis, de cobre eletrolítico, material não propagante de fogo. Os condutores de aterramento deverão ser isolados. Os cabos para ligação a transdutores deverão ser blindados, torcidos e cada cabo deverá atender a somente um transdutor.

Identificação

Todas identificações interna ou externamente aos quadros deverão ser inscritas em plaquetas de acrílico, de espessura mínima de 3 mm, ou em placas de aço inox. No caso de equipamentos extraíveis, exceto fusíveis, deverão ser providas duas plaquetas, uma localizada no quadro e outra no próprio equipamento.

Ensaaios

O Fornecedor deverá incluir no "Data Book" uma via do relatório de ensaios realizados em cada painel ou conjunto de painéis. Estes relatórios deverão conter o nome do Fornecedor, o número da Ordem de Compra e da Ordem de Fabricação, local e data dos ensaios, número de série do equipamento, características e quantidades dos equipamentos submetidos a ensaios e resultados destes.

Sobressalentes

Deverá ser fornecido um sobressalente de cada tipo ou modelo de componente elétrico/eletrônico utilizado.

Todas as peças sobressalentes sujeitas a dano ou deterioração por umidade, deverão ser embaladas em caixas à prova de umidade ou adequadamente protegidas e embrulhadas em material à prova de umidade. Todas as peças sobressalentes deverão ser adequadamente identificadas com etiquetas resistentes à intempérie.

16.8.5 Dispositivos de Supervisão

16.8.5.1 Manômetros

Os manômetros deverão ser adequados para a pressão de serviço para a qual se destinarem, escala adequada para 150% da pressão normal de operação, com o elemento sensível em tubo "Bourdon" de bronze ou aço inox, com exatidão de 1,5% ou melhor. Válvulas de alívio e registros de esgotamento deverão ser fornecidos em conjunto com o manômetro. Os manômetros deverão ser providos de amortecedor de pulsação.

16.8.5.1 Dispositivos de Supervisão de Temperatura

As indicações locais de temperatura serão feitas através de detetores à termo-resistência (RTD's), indicadores digitais.

Os detetores deverão ter o elemento sensor em platina com resistência de 100 Ω a 0°C tipo "A". O elemento sensor deverá ser conectado a cabo blindado de 3 (três) condutores, torcidos, com capa externa resistente a óleo, umidade e calor. Os condutores dos detetores deverão ser extra-flexíveis para facilitar desmontagens repetidas sem quebrar. Onde necessário, os sensores deverão ser protegidos por bulbos de aço inox e isolados para impedir correntes de fuga.

16.8.5.3 Chaves de Nível

As chaves de nível poderão ser do tipo sonda capacitiva ou bóia, providas de um ou mais pares de contatos eletricamente independentes. Quando necessário supervisionar nível alto e baixo, deverá ser fornecida uma chave para cada nível. No caso de chave tipo bóia, a mesma deverá ser de material não poroso, quimicamente inerte em relação ao líquido em que opera, ajustável em toda a escala e seu curso deverá ser protegido por um tubo. A variação de nível requerida para rearme da chave não deverá ser maior que 5% da variação normal do nível.

16.8.5.4 Chave de Fim-de-Curso (Chaves Limite)

As chaves deverão ser a prova de tempo, completamente vedadas, operadas mecanicamente, com molas de retorno. Os contatos elétricos deverão ser de ação rápida.

16.9 Pintura, Acabamento e Revestimento de Proteção

16.9.1 Generalidades

Depois da fabricação e inspeção, porém antes do embarque, as superfícies dos equipamentos e peças do fornecimento, deverão receber os tratamentos e/ou recomendações a seguir.

Superfícies Embutidas

As superfícies a serem embutidas no concreto, as superfícies de aço resistente à corrosão e as não-ferrosas não receberão qualquer proteção.

Superfícies Usinadas

As superfícies usinadas deverão estar completamente isentas de materiais estranhos e revestidas com proteção anti corrosiva. As superfícies acabadas das grandes peças e outras superfícies deverão ser protegidas com madeira ou outra proteção apropriada. Pinos e parafusos não montados deverão ser lubrificados e embalados com papel impermeável ou protegidos por outros meios aprovados.

Superfícies sem Pintura

As superfícies que não serão pintadas deverão ser recobertas ou de outro modo protegidas durante a operação de limpeza e pintura das superfícies contíguas.

Superfícies Zincadas

As superfícies zincadas não precisam ser pintadas, salvo se especificamente necessário por questões de aparência ou segurança.

Parafusos, Porcas e Arruelas

Parafusos, porcas e arruelas, quando não especificado em contrário, deverão ser zincados por processo eletrolítico ou outro processo similar.

Materiais Inoxidáveis, Não-ferrosos, Usinados

Aços inoxidáveis, materiais não-ferrosos e metais usinados para contato por deslizamento ou rolamento não necessitarão de pintura.

Componentes de Painéis, Cubículos e Quadros

Todos os componentes mecânicos de cubículos e painéis, compostos de metais

ferrosos, tais como invólucros, estruturas, portas e painéis fixos, blindagens, chassis, tampas, tetos, assoalhos, bases e outros, deverão receber tratamento conforme especificado. As partes de dobradiças e/ou móveis, onde a tinta possa ser removida ou arranhada, deverão ser feitas de aço inoxidável, alumínio ou latão. Os pinos, parafusos, porcas e arruelas dos dispositivos de içamento dos cubículos e painéis também deverão ser feitos de aço inoxidável.

16.9.2 Tratamento de Superfícies

Para o tratamento das superfícies a serem pintadas deverão ser seguidas as recomendações das normas aplicáveis da ABNT e, genericamente, todas as peças antes de receberem o tratamento, deverão passar por uma rigorosa inspeção visual, controlando-se acabamento de solda e lixamento, rebarbas de recorte, e as áreas afetadas por graxas, óleos e outras substâncias gordurosas deverão ser removidos por lavagem apropriada.

16.9.3 Pintura - Aplicação das Tintas

Com exceção das superfícies que estarão embutidas no concreto e do que for especificado em contrário, todas as superfícies expostas não usinadas, externas e internas, incluindo todos os equipamentos e acessórios, deverão receber a pintura de acordo com as recomendações dos fabricantes das tintas usadas, com os requisitos aplicáveis das normas da ABNT.

Genericamente deverão ser observados os tópicos, tais como: temperatura do substrato e condições ambientais, sendo que a umidade relativa do ar não deve ser superior a 85% e a temperatura do substrato deve estar 3°C acima do ponto de orvalho. Também deverão ser observados: limpeza das superfícies, métodos e equipamento de aplicação das tintas, intervalo entre demãos, tempo de cura e de manuseio, diluição e mistura das tintas, parâmetros de espessura mínima e máxima. Não serão aceitos processos de aplicação por pincel, trincha ou rolo.

Também não serão aceitos defeitos de aplicação, tais como: porosidades, descascamentos, escorrimientos, sulcos, respingos ou rugas. As medições de espessura serão feitas em toda a extensão das superfícies pintadas.

16.9.4 Responsabilidade dos Serviços/Fornecimento de Tintas

As superfícies em geral deverão receber a proteção ou pintura completa nas instalações do fornecedor. Deverá ser fornecido todo o material e produtos necessários para os retoques e a pintura de acabamento final na obra.

Para a pintura das tubulações deverá ser considerado na quantidade das tintas, a pintura realizada na pré-montagem e a pintura de acabamento final, com o mesmo tipo de tinta, realizada após a montagem definitiva das tubulações.

16.9.5 Retoques e Pintura de Acabamento Final na Obra

Após a montagem dos equipamentos na obra, as superfícies pintadas que foram danificadas devido a transporte ou montagem, serão retocadas, sendo que todas as superfícies dos equipamentos receberão uma demão suplementar com tinta de acabamento (além daquela já aplicada na fábrica) como pintura de acabamento final. Antes da execução da pintura de acabamento final, as superfícies deverão ser limpas conforme recomendação do fabricante das tintas.

As tintas e solventes para estes serviços deverão ser do mesmo fabricante daquelas já aplicadas na fábrica pelo fornecedor. As cores das tintas também serão as mesmas daquelas aplicadas na fábrica.

As superfícies dos rotores, bombas, transdutores eletrohidráulicos e motores elétricos das turbinas e chapas estatóricas, anel magnético, pólos, bombas e

cilindros de freio do gerador poderão ser pintados de acordo com o padrão dos fabricantes. As demais peças devem seguir um esquema de pintura fornecido pela contratante oportunamente.

16.9.8 Superfícies de Emendas que serão Soldadas na Obra

Todas as bordas das chapas preparadas para soldagem na obra, deverão receber uma camada de composto anticorrosivo. Este composto, que deverá ser aplicado de acordo com as instruções do fabricante, não deverá requerer remoção antes da soldagem na obra.

16.10 Ferramentas e Dispositivos Especiais

Está incluído no fornecimento todas as ferramentas e dispositivos especiais que serão utilizados para cada equipamento, os quais serão de propriedade da contratante após o término da montagem. Da mesma forma, ferramentas normais utilizadas deverão ser fornecidas. As ferramentas que não apresentarem bom estado deverão ser substituídas por peças novas pós a montagem. Cada equipamento deverá possuir seu próprio jogo de ferramentas fixadas, identificadas acondicionadas em caixa de aço.

16.11 Montagem de Campo

A montagem dos equipamentos no campo, total ou parcial, poderá ser acompanhada por um supervisor da contratante, incluindo a verificação da observação de tolerâncias, cotas, alinhamento, qualidade da mão de obra. O fornecedor deverá fornecer detalhes completos de montagem para facilitar o acompanhamento.

16.11.1 Supervisor de Campo

O fornecedor deverá enviar ao local da obra um Supervisor de Campo, responsável pela supervisão da instalação de todo o equipamento incluído no fornecimento e pela colocação do equipamento em operação.

O fornecedor, atuando através do seu Supervisor de Campo, deverá assumir completa responsabilidade pela direção, supervisão e verificação de todo o trabalho executado na montagem, quanto à correção, cuidados técnicos e uso de métodos adequados.

16.11.2 Responsabilidade do Supervisor

As responsabilidades do supervisor de campo referente à montagem de campo acima mencionada e à colocação em funcionamento do equipamento devem incluir, sem entretanto a elas se limitarem, às seguintes funções:

- orientar e verificar a colocação de todos os embutidos de 1º e 2º estágio
- orientar e verificar o posicionamento e alinhamento de cada equipamento, a sua completa montagem e instalação, incluindo todas as peças, componentes, acessórios, tubulações, eletrodutos e conexões elétricas a ela associados

O supervisor de campo do fornecedor acompanhará os serviços de balanceamento dinâmico do grupo gerador e a execução de todos os ajustes necessários para o funcionamento sem carga e com carga de cada unidade, testes de sobrevelocidade e de rejeição de carga, obedecendo limites especificados de vibração ou temperaturas anormais nos mancais e enrolamentos.

16.12 Peças Sobressalentes

O Fornecedor deverá apresentar uma relação de componentes incluindo quantidade e preços unitários os quais, com base em sua experiência, deverão ser adquiridos e mantidos como sobressalentes. O valor global deste item não será incluído no preço global proposto na julgamento das propostas.

Anexos

Generalidades sobre Usinas Hidroelétricas

1. COMPONENTES E FUNCIONAMENTO DE UMA USINA HIDROELÉTRICA

1.1 Definição

Uma usina hidroelétrica pode ser definida como um conjunto de obras e equipamentos cuja finalidade é a geração de energia elétrica, através de aproveitamento do potencial hidráulico existente num rio.

O potencial hidráulico é proporcionado pela vazão hidráulica e pela concentração dos desníveis existentes ao longo do curso de um rio. Isto pode ser dar de uma forma natural, quando o desnível está concentrado numa cachoeira, através de uma barragem, quando pequenos desníveis são concentrados na altura da barragem, ou através de desvio do rio de seu leito natural, concentrando-se os pequenos desníveis nesse desvios. As usinas podem ser de acumulação quando possuem um reservatório ou de fio d'água quando não há acumulação significativa de água.

1.2 Componentes Principais

Existe uma grande diversidade de configurações de hidroelétricas possíveis pois cada local permite um tipo de aproveitamento diferente. No entanto, existem alguns componentes comuns na maioria dos projetos. Podem ser divididos em:

- Tomada d'água
- Órgãos de Adução
- Descarga de Fundo
- Casa de força (ou de máquinas)
- Tubo de sucção
- Vertedouros

-
- Bacia de dissipação
 - Barragem e reservatório (em usinas de acumulação)
 - Subestação

A barragem tem objetivo, no caso de usinas de acumulação, de aumentar o nível de um rio produzindo artificialmente uma altura de queda maior, regularizar a vazão e no caso de usinas fio d'água de direcionar a água a um túnel ou canal de adução. Existem três tipos principais de barragens: de enrocamento (pedras e concreto), de terra e de concreto. O emprego de um ou de outro tipo tem como base estudos geológicos e análises econômicas.

Vertedouros são responsáveis por descarregar o excesso de água de um reservatório. Seu dimensionamento deve ser tal que em hipótese alguma o nível d'água, inclusive no caso da máxima cheia prevista, atinja a crista da barragem. Para vazões pequenas o vertedouro não passa de uma soleira por onde escoar o excesso de água. Para vazões maiores são projetadas comportas segmento para permitir dirigibilidade das vazões escoadas.

A descarga de fundo ou desarenador é um túnel que atravessa a barragem e tem como funções esvaziar o reservatório, eliminar sólidos depositados no fundo do reservatório, descarregar água durante a parada da turbina, auxiliar o vertedouro na descarga de água de enchentes além de ser responsável pelo desvio do rio durante a construção da barragem.

A tomada d'água capta a água para alimentar as turbinas. Possui grades nas entradas para evitar a entrada de detritos de grande porte, evitando danos na turbina. Além disso é munida de comportas de tomada d'água para fechar a tomada d'água e permitir a manutenção das turbinas. As comportas de tomada

d'água são em geral comportas planas do tipo vagão. As comportas Stop Logs ou Ensecadeiras completam os equipamentos da tomada d'água. Sua função é bloquear o fluxo de água e permitir a manutenção da comporta principal (comporta vagão).

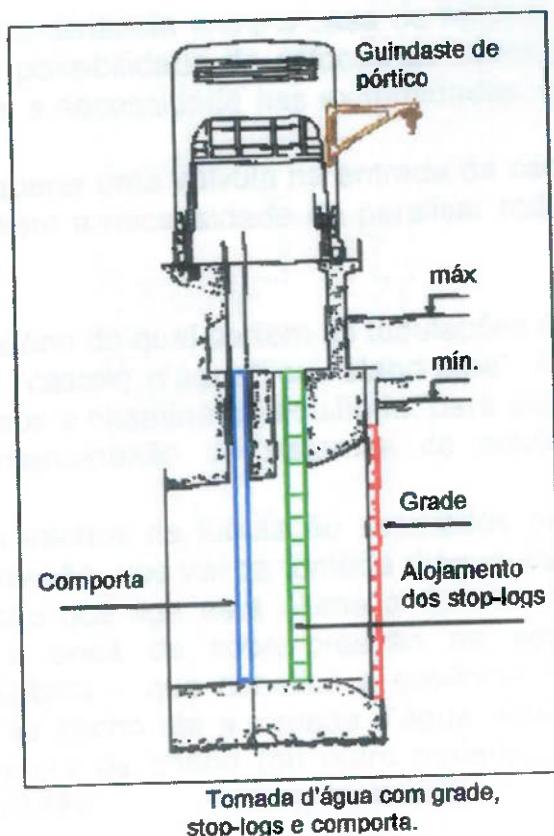


Fig 1.1 – Tomada d'água

Os órgãos de adução possuem a finalidade de interligar a tomada d'água as turbinas. Os canais de adução são canais com perfil trapezoidal utilizados em usinas de pequeno porte (fio d'água) e levam a água até o conduto forçado. O conduto forçado é composto por tubulações que levam a água diretamente às turbinas.

Nas usinas de baixas quedas geralmente a casa de força faz parte da barragem de modo que a entrada da turbina fica ligada diretamente à tomada d'água, não

sendo necessário um conduto forçado. Quando a distância entre a casa de força e a barragem for grande, deve-se analisar a possibilidade de colocar um conduto forçado único e que seria subdividido de acordo com as necessidades próximo às turbinas. Esta solução tem a desvantagem de requerer uma válvula borboleta na entrada de cada turbina possibilitando a manutenção de uma unidade sem parada das demais.

A unidade geradora básica é composta pelo conjunto gerador-turbina que fica abrigado, juntamente com seus auxiliares, com o sistema de proteção e controle de operação, na casa de força. Tal sistema protege o gerador de falhas elétricas e controla toda a operação de geração.

A bacia de dissipação tem como função principal dissipar a energia cinética que não foi transmitida à turbina, transformando-a novamente em energia de pressão para que a água que retorne à pressão do nível do rio à jusante e possa ser devolvida ao rio.

Transformadores, sistema de excitação e subestação completam a estrutura elétrica básica. Pontes rolantes e equipamento de levantamento permitem movimentação das comportas bem como a manutenção dos equipamentos de grande porte.

Em resumo, temos:

- Geradores
- Turbinas
- Tomada d'água e canal de adução
- Tubo de sucção

-
- Vertedouro
 - Comportas
 - Barragem e reservatório
 - Equipamentos de levantamento
 - Sistema de proteção e controle
 - Sistema de excitação
 - Transformadores
 - Subestação

1.3 Funcionamento

A água captada no reservatório (no caso de uma usina de acumulação) ou no canal adutor (no caso de uma usina fio d'água) é conduzida até a casa de força através dos canais, túneis e/ou condutos metálicos da tomada d'água. Após passar pela turbina hidráulica, na casa de força, a água é restituída ao leito natural do rio, através do tubo sucção.

Dessa forma, a potência hidráulica é transformada em potência mecânica quando a água passa pela turbina, fazendo com que esta gire, e, no gerador, que também gira acoplado mecanicamente ao eixo da turbina, a potência mecânica é transformada em potência elétrica.

A energia assim gerada é levada através de cabos ou barras condutoras, dos terminais do gerador até o transformador elevador, onde tem sua tensão (voltagem) elevada para até um nível adequado à transmissão através das linhas até os centros de consumo. Daí, através de transformadores abaixadores, a

energia tem sua tensão levada a níveis adequados para utilização pelos consumidores.

1.4 Vantagens

Usinas hidroelétricas não produzem quaisquer poluentes associados com combustíveis fósseis, mas interferem na natureza pela construção de grandes represas, formação de lagos e interferência geral sobre os fluxos dos rios. O impacto de um esquema hidroelétrico pode ser usualmente estimado por um indicador que é a potência produzida por hectare de reservatório. Quanto maior for este número, menores são os possíveis impactos sobre o ambiente. Em empreendimentos de pequeno porte como as PCH's o reservatório pode ser muito pequeno ou inexistente (usinas à fio d'água) minimizando o problema. Além disso, a realocação populacional é um problema social expressivo em muitos casos.

A maior vantagem das usinas hidrelétrica é a transformação limpa do recurso energético natural. Não há resíduos poluentes e há baixo custo da geração de energia, já que o principal insumo energético, a água do rio, está inserida à usina.

Além da geração de energia elétrica, o aproveitamento hidrelétrico proporciona outros usos tais como irrigação, navegação e amortecimentos de cheias.



Fig 1.1 - Mapa das Usinas com Potência Superior à 30MW

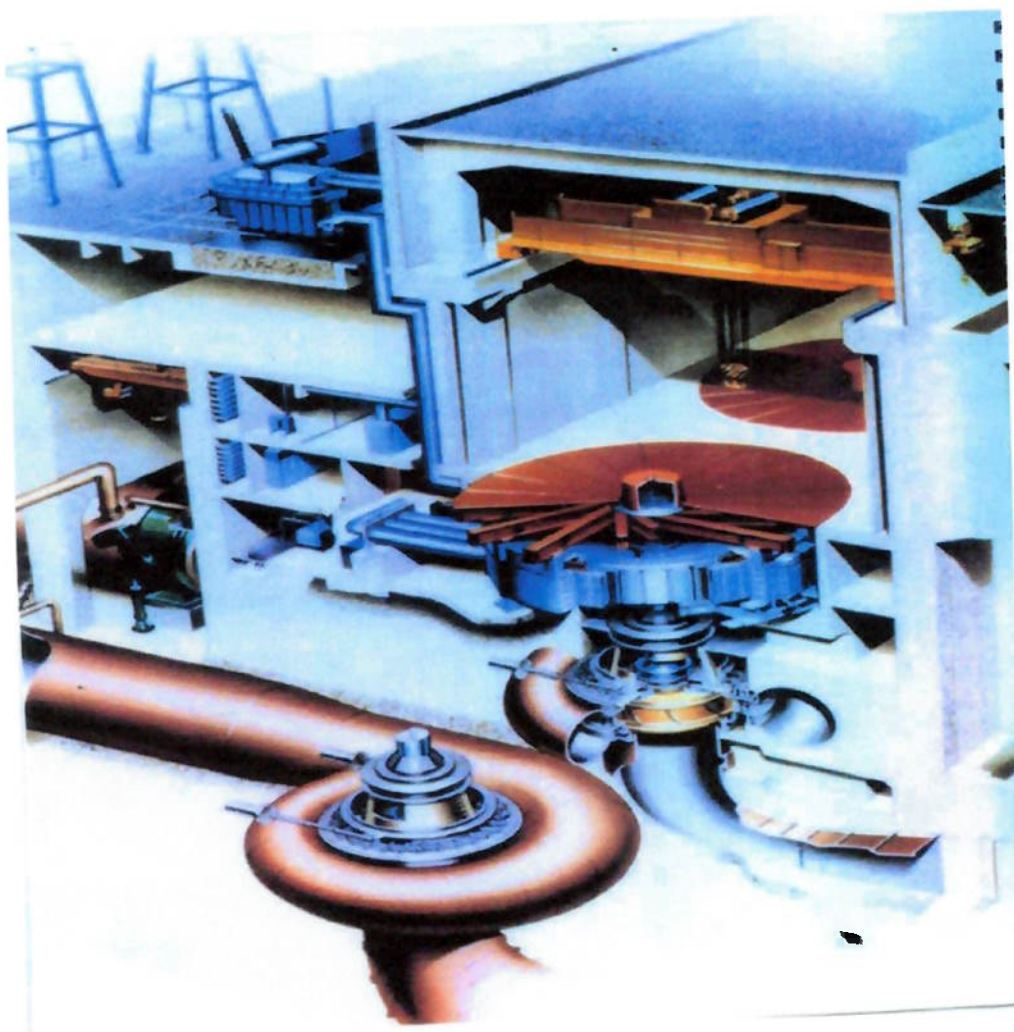


Fig 1.2 - Corte de uma usina hidroelétrica

2. HIDROGERADORES

2.1 Aspectos construtivos

Os hidrogeradores são compostos por partes fixas e partes rotativas movidas pelo eixo que emerge da turbina. As partes fixas compõem o estator e as partes girantes formam o rotor.

O núcleo do estator é feito de chapas finas de aço onde são inseridas o enrolamento de cobre (bobinas) responsável pela tensão trifásica. Existem, além desses elementos, partes responsáveis pela sustentação do conjunto (cruzeta superior e inferior, mancal de escora e mancal guia) e pelo acoplamento com o eixo da turbina, além de elementos de conexão entre as partes como dedos de pressão, cunhas, etc.



Fig 2.1 – Estator

O rotor possui, por sua vez, uma estrutura onde é montado o anel magnético, formado por chapas de aço silício. Pelo seu centro passa o eixo que está ligado ao eixo da turbina. No anel magnético são encaixados, radialmente, os pólos.

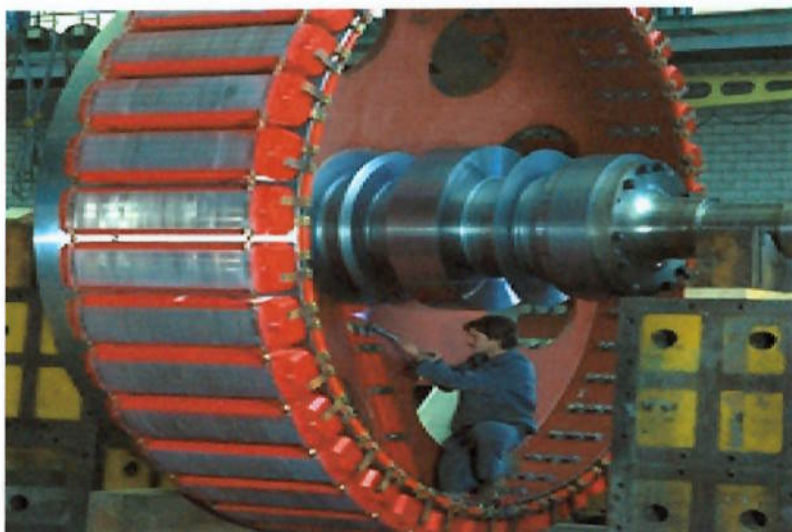


Fig 2.2 – Rotor

O rendimento do gerador é em média de 97,5 % e as perdas são convertidas em calor, sendo necessário um bom sistema de ventilação forçada para evitar o sobreaquecimento.

2.2 Funcionamento

A energia mecânica é convertida em energia elétrica devido ao campo magnético produzido pela rotação do rotor. Os pólos do rotor geram um campo magnético variável quando estão em movimento e alimentados por corrente contínua. O campo magnético dos pólos induz tensão no enrolamento de cobre (bobinas) do estator.

2.3 Elevação de temperatura

Devido a alta rotação, ocorrem, como em todos os sistemas reais, perdas. As principais perdas são devido ao atrito com os mancais, atrito com o ar circulante,

perdas magnéticas em função do campo gerado pela tensão/corrente, potência dissipada no cobre do enrolamento do estator e rotor, entre outras.

Esse conjunto de perdas são convertidos em calor que eleva substancialmente a temperatura do equipamento. No entanto, a integridade do gerador só está garantida entre certos limites de temperatura, o que leva a necessidade da utilização de um sistema de resfriamento.

Os limites de temperatura de operação são determinados pela classe de isolação do cobre do enrolamento. Os tipos de isolação são divididos em classes e cada classe admite uma certa temperatura máxima de operação. Por exemplo:

classe	tipo de isolação	temp máx (°C)
A	papel, algodão	80
B	papel, algodão impregnados com isolante	120
F	mica e polietileno	155

A isolação do enrolamento do gerador é de classe F. Portanto, suporta até 155°C sem danos ao equipamento.

Como margem de segurança, no entanto, para o dimensionamento do sistema de refrigeração, considera-se o limite superior de temperatura como sendo 120°C (limite de operação da classe B), podendo-se assim projetar o sistema de refrigeração seguro.

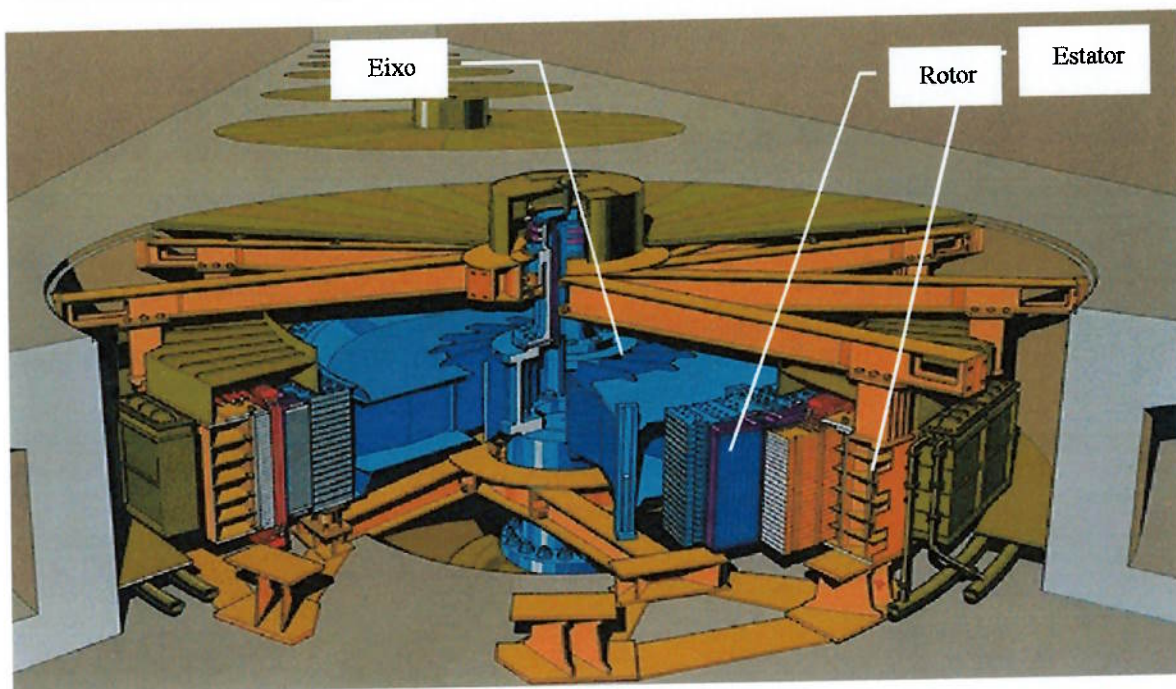


Fig 2.3 – Corte do Hidrogerador

2.4 Sistema de Refrigeração em Hidrogeradores

Conforme descrito no item 3.3 - Elevação de Temperatura, o gerador sofre aquecimento durante sua operação devido a diversos fatores e tal aquecimento deve ser controlado dentro limites determinados a fim de não danificar o equipamento.

A refrigeração do gerador pode ser feita, em casos menos críticos, por circulação natural de ar obtida pelo próprio efeito de rotação do motor, ou por refrigeradores ar-água instalados na periferia da carcaça do gerador.

O ar frio é forçado pela aranha a circular através dos dutos de ventilação existentes no anel magnético, que por sua vez, força o ar a circular através do próprio anel magnético até os pólos, enrolamento e núcleo estatórico. O ar de refrigeração atravessa os dutos radiais existentes no núcleo estatórico, resfriando-o através de contato direto.

Após o resfriamento do núcleo estático, o ar quente atravessa radialmente refrigeradores ar-água, sendo resfriado por contato direto com as aletas e voltando novamente, pela parte superior e inferior do gerador, a circular em seu interior.

O ar de refrigeração deve ser dirigido às partes vitais do gerador com auxílio de guias de ar superior e inferior. Para completar o sistema de refrigeração são necessários tubulações, válvulas e coletores.

A capacidade dos trocadores deve ser calculada de maneira a manter a temperatura na saída do ar, na maioria dos projetos, não superior a 40 °C , com o gerador operando em potência nominal e com a água entrando à temperatura conforme especificado pelo cliente ou projetista, a fim de manter o gerador operando à temperaturas não superiores à 120°C (ver item 3.3 Elevação de Temperatura). O trocador deve ser dimensionado para refrigerar o equipamento com uma variação na temperatura do ar durante o processo de aproximadamente 80°C. É importante ainda ressaltar que a temperatura de saída do ar do trocador não deve, por outro lado, ser muito inferior a 40°C para evitar a condensação do vapor do ar sobre o gerador.

Trocadores de calor tipo ar-água são instalados na carcaça. Os tubos podem ser construídos em cobre, com chapas de alumínio ou cobre formando aletas, de modo a aumentar a área de dissipação de calor. Estes tubos são fixados a dois espelhos, formando um feixe tubular, que por sua vez será montado à estrutura suporte. Os espelhos podem ser fabricados com Latão Naval. Pode ser prevista a instalação de duas válvulas para isolar cada trocador de calor, sendo uma na entrada e outra na saída de água de refrigeração.

A fixação dos refrigeradores à carcaça do gerador deve ser feita através de grampos de forma a garantir a perfeita fixação do mesmo e facilitar a desmontagem.

A desmontagem e remoção dos refrigeradores devem ser facilmente executadas, bastando desparafusar os flanges, soltar os grampos e retirá-los por aberturas previstas na plataforma superior.

O número de trocadores em um gerador depende do tamanho do gerador e do aquecimento a que estará sujeito quando em operação. Por motivos de segurança, tais trocadores são projetados para trabalhar entre limites definidos de tolerâncias na temperatura de saída do ar, para o caso de, por exemplo, falha de um dos trocadores.

2.4.1 Trocadores Ar- Água para Refrigeração de Máquinas Elétricas

Nos trocadores de calor para máquinas elétricas, como hidrogeradores, as diferenças acentuadas entre as características físicas dos fluidos trocando calor gera coeficientes de transferência bastante divergentes, sendo requeridas grandes áreas de troca de calor para compensar o pequeno coeficiente do ar em relação ao da água, razão pela qual são utilizados tubos aletados. A utilização de tubos aletados tipo compactos é a escolha mais econômica e de maior performance, permitindo a construção de trocadores de menor tamanho com aumento da área total de troca de calor. É importante ressaltar, no entanto, que existem outras opções trocadores para esta aplicação. A escolha de outros tipos de trocadores depende do projeto e das limitações do trocador compacto.

2.4.2 Trocadores de Calor Compactos (Compact-Coolers)

Os trocadores compactos permitem obtenção de uma maior área de troca com

um espaço ocupado muito menor que o ocupado por trocadores aletados convencionais, possibilitando utilização de maiores velocidades nos tubos com um menor número de passagens internas para a água, o que reduz a tendência a incrustação interna e, ao mesmo tempo, facilita a manutenção, pois um menor número de tubos requer menos mão de obra para limpeza interna dos mesmos.



Fig 2.4 - Compact-coolers completos

Aspectos Construtivos

Trocadores de calor compactos são compostos basicamente por tubos circulares, aletas estampadas e cabeçotes.

O estampo é responsável, principalmente, por cortar o orifício por onde o tubo de água passa. Eventualmente, quando a qualidade do ar a ser resfriado permite, os estampos também criam sulcos e rebaixos chamados de turbuladores e por recortar os espaçadores, que mantêm as aletas a uma distância fixa umas das outras. Os turbuladores aumentam sensivelmente a eficiência da transferência de calor, direcionando o escoamento sem aumentar excessivamente a perda de carga, resultando na diminuição da superfície de troca.

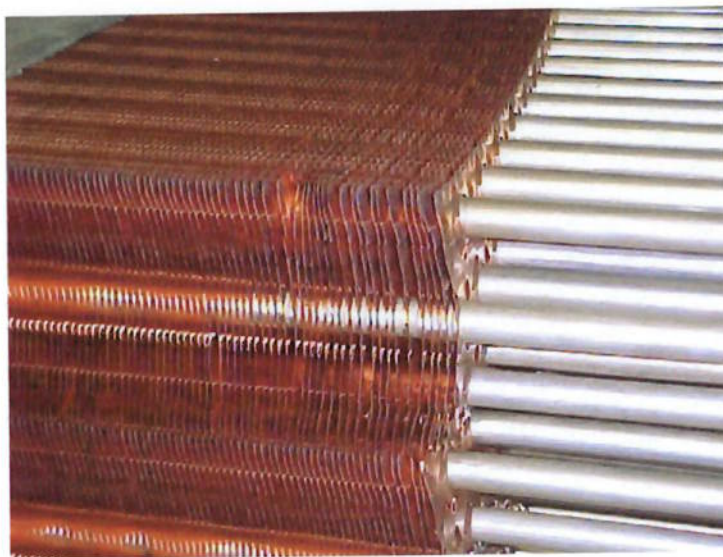


Fig 2.5 – Tubos e aletas de trocador tipo compact-cooler



Fig 2.6 - Aletas com Turbuladores

Os orifícios onde são encaixados os tubos de água são confeccionados com folga e o ajuste e fixação é feito mediante a expansão à frio dos tubos internamente às aletas, com a passagem de esfera calibrada por dentro dos mesmos. Este processo elimina a necessidade de utilização de solda para a ligação entre os tubos e as aletas o que evita problemas de corrosão causados por modificação da dureza superficial interna dos tubos durante os processos de soldagem tubo-aleta por imersão em estanho.

Tubulações

O material das tubulações, bem como seu acabamento e processos de fabricação são geralmente delimitados pelo cliente dependendo do diâmetro em questão. As conexões (flange com ou sem vedação, rosca, etc) e as válvulas devem ser selecionadas e/ou projetadas de maneira a suprir as necessidades do sistema de refrigeração em relação a temperatura, propriedades mecânicas, perda de carga, etc. Todas as tubulações deverão ser confeccionadas de forma a permitir a sua desmontagem e transporte pelas vias de acesso, total ou em segmentos.

Quando o cliente deseja comprar trocadores e tubulação de fornecedores diferentes, deve atentar aos critérios de projeto considerados por ambos os fornecedores. Para otimizar o projeto, a vazão de água deve ser analisada já que o trocadores mais baratos e tubulações mais baratas são dimensionados para vazões diferentes. Vazões grandes diminuem o tamanho e conseqüentemente o custo do trocador, mas acarreta em tubulações muito grandes e caras.



Fig 2.7 - Montagem da Tubulação do Sist. de Refrigeração de um Hidrogerador

2.5 Sistema de Frenagem e Levantamento

Quando faz-se necessário parar o rotor do hidrogerador, seja para manutenção ou por emergência, aciona-se o sistema de frenagem. Tal sistema é composto por cilindros que operam pneumaticamente. Os mesmos cilindros são utilizados como macacos hidráulicos quando o sistema realiza o levantamento do rotor em uma máquina de eixo vertical. Em máquinas de eixo horizontal, não há sistema de levantamento.



Fig 2.8 - Sapatas de Freio (Ilha dos Pombos)



Fig 2.9 – Estator e Sapata de Quatro Pistões sobre a Cruzeta (Ilha dos Pombos)

Cada gerador deve ser provido de um sistema de frenagem operado a ar comprimido nas condições adequadas. As sapatas se localizam sobre a cruzeta inferior. O número de sapatas varia de acordo com o tamanho e a rotação da máquina.

Como parte do circuito e os pistões são utilizados tanto na frenagem como no levantamento, o sistema está sempre preparado para a frenagem e é comutado quando há necessidade de levantamento, já que a frenagem pode ser uma operação emergencial.

As atividades podem ser controladas localmente por quadros de válvulas próximos a cada unidade hidrogeradora. No entanto somente a frenagem pode ser controlada remotamente. Em caso de emergência o rotor pode ser parado a partir da sala de comando remoto. Já o procedimento de levantamento envolve manutenção e planejamento, existindo portanto pessoal mobilizado na planta. Portanto não há necessidade de comando remoto da operação.



Fig 2.10 – Quadro Óleo Pneumático de Controle Local

2.5.1 Condições e Procedimento de Parada

A operação de um hidrogerador pode ser interrompida em situações emergenciais e não emergenciais. Quando controlado pelo sistema automático, uma emergência é caracterizada principalmente pela sobre elevação de temperatura, caracterizando falha no sistema de refrigeração de ar, de lubrificação forçada ou outro tipo de problema pois as perdas envolvidas provocam o aumento excepcional da temperatura da máquina. A temperatura de operação, como anteriormente discutido, não deve passar de 120°C. Uma parada não emergencial pode ser feita em casos de manutenção tanto do gerador como da turbina ou simplesmente por uma questão de administração de vazão do reservatório. Em usinas com várias máquinas, o nível do reservatório em períodos de seca pode não ser suficiente para alimentar todas as máquinas. Assim, a operação de uma ou mais máquinas pode ser interrompida por um determinado período para administrar essa disponibilidade de água.

No início do processo de parada, os cilindros de freio não são acionados. Primeiramente, as comportas e o pré-distribuidor da turbina são fechados para que a rotação do sistema caia. No entanto somente este procedimento não é

capaz de parar o conjunto devido ao vazamento de água pelo distribuidor que gera torque residual. O sistema de frenagem é projetado para ser acionado quando a velocidade atingir 30% da rotação nominal no caso de parada normal e 50% da rotação nominal no caso de parada de emergência, sem danificar a pista de frenagem do rotor.

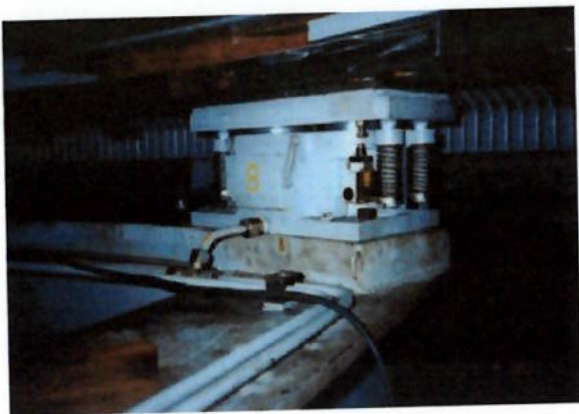
2.5.2 Dimensionamento

O sistema de frenagem é ser projetado para operação com ar comprimido a pressão entre 6,5bar e 8bar suprido por compressores exclusivos para o sistema (um para cada gerador) ou por reservatório de ar (um para cada gerador) dimensionados para, no mínimo, três atos de frenagem sem necessidade de reabastecimento.

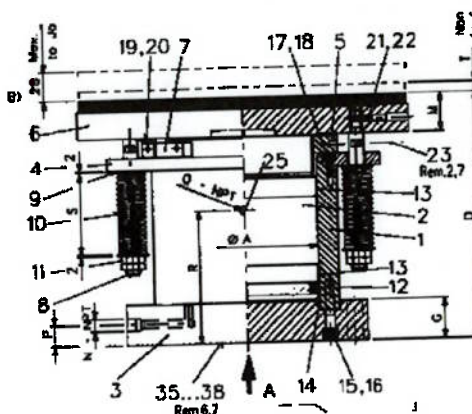
O processo de frenagem consiste no levantamento dos pistões até as lonas localizadas em cima das sapatas encostarem no anel de freio. Para garantir o retorno das sapatas à sua posição, os cilindros são equipados com molas de retração.

O dimensionamento do sistema considera um vazamento pelo distribuidor da turbina capaz de produzir um torque residual não superior a 1% do torque nominal.

O desempenho do sistema operando dentro de condições específicas (torque residual de 1% do nominal, hidrogerador desmagnetizado, mancal de escora submetido a óleo sob alta pressão) deve atender basicamente três condições de projeto:



(a)



(b)

Fig 2.11 – (a) Sapata de um macaco (Piraju); (b) Mola de retração

- Não deve haver sobreaquecimento excessivo da pista de freio do rotor ou desgaste indevido das lonas mediante aplicação normal do freio a 30% da velocidade nominal.
- O sistema deve ser capaz de levar a unidade ao repouso dentro de 6,5 minutos após a aplicação do freio.
- A aplicação manual do freio de emergência entre 30% e 50% da velocidade nominal não deve causar danos ao gerador ou ao sistema de freio

A aplicação e liberação dos freio é controlada por uma válvula solenóide de três vias montada com todos os equipamentos associados necessários em um quadro óleo-pneumático.

2.5.3 Aspectos Construtivos

O cilindro de freio é de simples ação e seu corpo é executado em tubo de aço recebendo um tratamento especial de usinagem na superfície de deslizamento do

pistão. Na parte lateral inferior do cilindro de freio existe um furo que interliga sua parte interna com a flange da tubulação externa.

A base de assentamento do cilindro na face de contato possui furos para a fixação por parafusos dimensionados para resistir aos esforços provenientes do acionamento do freio.

O pistão é executado em aço adequadamente selecionado para cada aplicação e recebe tratamento especial de usinagem que permite deslizamento suave com as partes fixas do corpo do cilindro quando acionado. Na parte superior do pistão existe uma rosca para regulagem e fixação da sapata de freio. Para assegurar a fixação o pistão tem sua parte superior esférica, sendo a sapata fixada por meio de pino. A lona de freio, por sua vez, é fixada à sapata por cola ou encaixe. Esta deve ter coeficiente de atrito adequado e devem ser removíveis para substituição após, no mínimo, 100 atos de frenagem à 30% de rotação nominal.

Provisões adequadas são incluídas no projeto e construção do gerador para efetiva proteção física das cabeças inferiores das barras do enrolamento do estator e enrolamentos dos pólos do rotor contra danos mecânicos que possam ser causados por alguma partícula que se desprenda da superfície de atrito das sapatas de freio durante a aplicação do freio a uma velocidade excessivamente alta.

A tubulação, composta de tubos sem costura, é comum a todas as sapatas de um mesmo hidrogerador, havendo assim um único terminal de acoplamento com o dispositivo móvel de bombeamento localizado no painel óleo-pneumático

2.5.4 Circuito Pneumático

A figura 6.1 a seguir representa o circuito de frenagem e levantamento. Na legenda adotada, as partes destacadas por formas circulares fazem parte do circuito pneumático (frenagem). O circuito hidráulico de levantamento não será aqui detalhado.

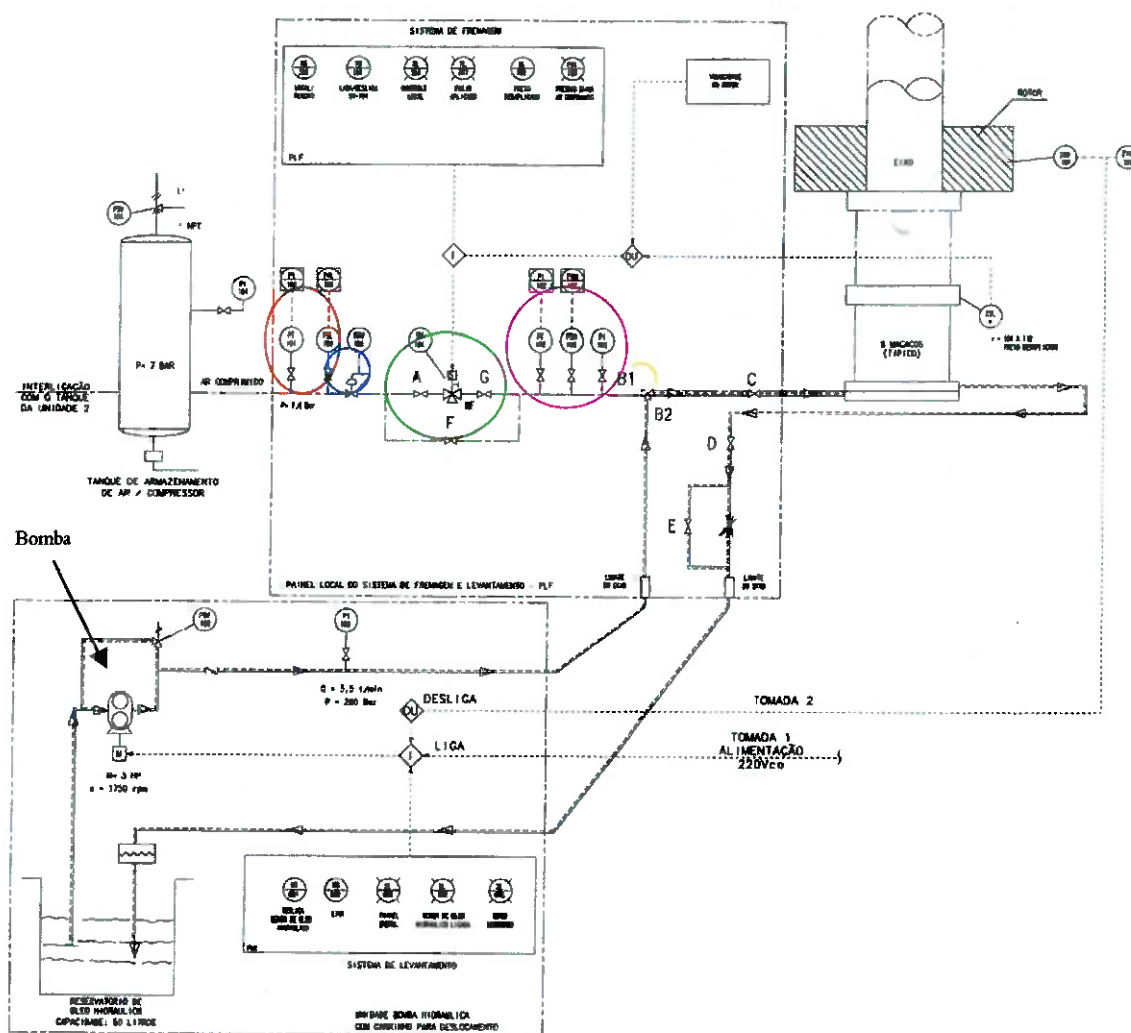


Fig 2.12 – Fluxograma do Sistema de Frenagem e Levantamento (Pirajú)

O circuito está sempre preparado para frenagem a menos que seja comutado, o que só pode ser feito manualmente no quadro de comando local. O circuito pneumático é alimentado por um acumulador de ar comprimido a 7 bar. O ar, depois de sair do acumulador percorre as seguintes etapas (os círculos coloridos correspondem às legendas abaixo):

- 1 Monitoramento da pressão por manômetros (local e remotamente)
- 2 Controle da pressão por válvula limitadora de pressão em conjunto com filtro
- 3 Nesse ponto, existem dois caminhos possíveis: A válvula borboleta A está aberta em ambos. A válvula borboleta G é fechada quando o comando é local para proteger a válvula solenóide e a F está aberta. A válvula F está fechada no comando remoto e o ar passa pela válvula solenóide.
 - Controle Remoto: F fechada; A, G e solenóide abertas
 - Controle Local: G e solenóide fechadas; F e A abertas
- 4 Novo controle de pressão
- 5 O ar passa por uma válvula 3-2 vias que faz a comutação entre o sistema pneumático e hidráulico.

As válvulas D e E estão fechadas durante a frenagem. O ar, pressurizado, chega ao cilindro e move o êmbolo.

No retorno da sapata de freio, são abertas as válvulas D e E despressurizando o ar do circuito. Nesse ponto, a válvula A é fechada para segurança do acumulador.

Na comutação de um circuito para o outro é necessário remover o fluido de trabalho anterior. A remoção do óleo é feita por ar forçado e a remoção de ar é

feita pela passagem contínua de óleo pelo circuito aberto, até que todo o ar tenha sido expelido no reservatório de óleo. Para garantir que toda a tubulação envolvida está inundada com o fluido correto, existe um visor transparente na tubulação.

Na operação automática, a informação sobre a rotação do rotor vem do regulador de velocidade da turbina. Para saber se, após o fechamento da adução de água, o conjunto já chegou a 30% ou 50% da velocidade nominal (parada normal ou emergência respectivamente) sinal de controle é obtido da tensão de saída do gerador depois de passar por um transformador de potencial que possui uma relação de transformação adequada para esse fim. A frequência varia em função da rotação da máquina, permitindo que esse parâmetro seja usado para o controle da rotação.

2.6 Outras Considerações

O campo magnético no hidrogerador é produzido pela corrente que flui pela bobina do estator. A excitação inicial para a bobina do estator é fornecida pelo sistema de excitação. Depois o sistema se auto-sustenta.

Quanto mais veloz o gerador, menos a quantidade de pólos necessária, porém, menos será sua inércia, que juntamente com a inércia da turbina deve proporcionar estabilidade ao sistema. O conjunto deve fornecer momento de inércia suficiente para cobrir as oscilações de tensão quando funcionando em rede interligada. Assim, pode ser necessária a instalação de um volante de inércia no eixo de maneira que o sistema volante gerador forneça o GD^2 necessário.



Fig 2.13 - Descida de um rotor da Usina de Itaipú

3. TURBINAS

Uma turbina hidráulica é uma máquina motriz destinada a converter a energia mecânica (cinética e/ou potencial) de um corpo d'água em energia mecânica rotacional a fim de produzir trabalho.

Possuem essencialmente dois órgãos principais: um fixo, chamado estator, no qual existem os dispositivos que permitem ao fluido adquirir energia cinética às custas de perda de pressão e um rotativo, chamado rotor, destinado a transformar em movimento rotativo a energia cinética do fluido.

Turbinas são classificadas em turbinas de reação e de ação, de acordo com a maneira como água gera o movimento do rotor.

- Ação – o torque é gerado pela energia cinética do fluxo de água que passa pelo rotor.
- Reação – operam com rotor inteiramente inundado e o torque é gerado como reação à pressão da água sobre as palhetas do rotor.

Serão destacadas a seguir as três principais formas construtivas de turbinas hidráulicas: Pelton, Francis e Kaplan.

3.1 Turbinas Pelton

São definidas como turbinas de ação na qual o fluxo d'água incide sob forma de jato sobre o rotor que possui pás em forma de duas conchas. A direção do jato é paralela em relação ao plano do rotor. O rotor opera não inundado e à pressão quase atmosférica. Aplicável em aproveitamentos com grandes alturas de queda

e pequenas vazões. Devido à topografia brasileira, não existem muitas regiões propícias para aproveitamentos com turbinas deste tipo e a única usina significativa operando com turbinas Pelton é a usina de Henry Borden em Cubatão.

O número de jatos, função da vazão disponível, varia de uma a seis. Quanto maior o número de jatos, menor o seu diâmetro e conseqüentemente menor a largura das pás, reduzindo o custo do equipamento, já que o rotor representa 20% do custo total da turbina.

As principais partes de uma turbina Pelton são:

- Rotor: Elemento rotativo fixado ao eixo constituído por um certo número de pás em forma de conchas gêmeas dispostas na periferia de um disco com a finalidade de converter a energia cinética da água em trabalho mecânico.
- Injetor: Elemento no qual se converte a energia de pressão da água em energia cinética, a orientação do fluxo e o controle de vazão para o rotor
- Defletor: Elemento móvel com a finalidade de desviar parcial ou totalmente o jato d'água do rotor.

3.2 Turbinas Francis

São turbinas de reação nas quais o fluxo penetra radialmente no distribuidor e no rotor e que possuem pás fixas. Aplicável em aproveitamentos com alturas de queda variando entre 45 e 750m. Competem portanto com a com as turbinas Pelton e Kaplan nos limites do intervalo de altura de queda. Devido a grande variedade de alturas de queda possíveis, é o tipo de turbina mais comum nas usinas brasileiras.

Os principais componentes de uma turbina de reação, na ordem em que são percorridos pela água, são:

- **Caixa espiral:** Elemento que recebe o fluxo d'água do sistema de adução e dirige para o rotor da turbina e cujas seções transversais diminuem progressivamente no sentido do fluxo.
- **Pré-Distribuidor:** Constituído por palhetas fixas e anéis (superior e inferior) com finalidade estrutural e de pré-orientação do escoamento para o rotor.
- **Distribuidor:** Elemento da turbina no qual é realizada a conversão da energia de pressão em energia cinética, orientação do fluxo e vazão para o rotor.
- **Palhetas diretrizes:** Conjunto de elementos móveis com perfis hidrodinâmicos que regula a vazão que escoar para o rotor. Na sequência de parada de uma unidade turbina – hidrogerador, a primeira providência é fechá-las.
- **Rotor:** Elemento rotativo fixado no eixo constituído por um certo número de pás de curvatura adequada.
- **Tubo de sucção:** Possui a função de recuperar a energia cinética restante no fluido, desacelerando-o para descarga no rio.

3.3 Turbinas Kaplan

São turbinas de reação nas quais o fluxo de água tem direção radial no distribuidor, aproximadamente axial na entrada do rotor e que possuem pás com passo regulável. Adequada para aplicações em grandes vazões e pequenas quedas (geralmente entre 3 e 60 metros). Competem com as turbinas Francis ultra-rápidas próximo ao limite superior de alturas de queda.

Uma alternativa construtiva a turbina Kaplan de hélice é a turbina bulbo na qual o fluxo d'água penetra axialmente no distribuidor e no rotor. A turbina bulbo dispensa caixa espiral.

As turbinas Kaplan representam uma alternativa viável em locais onde há limitações de altura de queda (e conseqüentemente de área inundada por reservatório). As melhores curvas de desempenho dentre todas as turbinas são de turbinas Kaplan com palhetas diretrizes e pás reguláveis (dupla regulação).

Repetem-se nas máquinas Kaplan várias partes já citadas para turbinas Francis tais como palhetas diretrizes e tubo de sucção. Serão destacadas a seguir apenas os componentes típicos de turbinas Kaplan:

- **Cubo do rotor:** Elemento constituído por um núcleo central de perfil hidrodinâmico que sustenta as pás e aloja o mecanismo de regulação das mesmas.
- **Ogiva:** Elemento de perfil hidrodinâmico na extremidade do cubo que orienta o escoamento da água após a sua passagem pelas pás.

3.5 Outras Formas Construtivas

- **Turbinas Diagonais ou Deriaz:** Aplicáveis em alturas de queda entre 130 e 30m, concorrendo com algumas variedades de Francis e Kaplan. Possui elevado número de pá reguláveis, somando características das turbinas Kaplan e Francis. Podem operar como máquinas reversíveis.
- **Turbina de Fluxo Transversal:** turbina de ação na qual o fluxo atravessa o rotor cilíndrico transversalmente, com duas passagens pelas pás. Ótima alternativa para pequenas centrais hidroelétricas devido a sua simplicidade.

3.5 Seleção

A escolha do tipo construtivo adequado a cada aproveitamento pode ser feito baseado na relação altura de queda x rotação específica ou altura de queda x vazão. Usualmente se utiliza a relação queda x vazão como pré-selecionadora, orientando inicialmente a escolha. A rotação específica pode ser calculada de mais de uma maneira. Uma delas está apresentada a seguir.

$$RotaçãoEspecífica = \frac{rotação \cdot \sqrt{Potência}}{QuedaLíquida^{1,25}}$$

Outra maneira de se calcular a rotação específica é utilizando a vazão:

$$RotaçãoEspecífica = \frac{rotação \cdot \sqrt{Vazão}}{QuedaLíquida^{3/4}}$$

Como exposto anteriormente, cada forma construtiva possui sua faixa de aplicação de acordo com parâmetros como altura de queda e vazão. Assim, é possível fazer o mesmo tipo de faixa de aplicação utilizando como parâmetro a rotação específica. Note que há sobreposição entre as faixas de aplicação das turbinas Francis e Kaplan.

	Rotação Específica Nq*
Pelton	Nq < 20
Francis	Nq = 20 to 120
Kaplan	Nq > 100

* Em unidades do sistema métrico

O valor numérico da rotação deve coincidir com a rotação síncrona do gerador, devido a necessidade da frequência de geração ser igual ao da rede elétrica.

Portanto se o gerador possuir um número de pólos determinado, a rotação da turbina estará fixada pela seguinte relação:

$$Rotação = \frac{Frequência \cdot 120}{NúmeroPólos}$$

Muitas vezes, no entanto, há sobreposição entre os diversos tipos de turbinas, havendo para as mesmas condições de aproveitamento mais de uma possibilidade. A opção por uma ou outra forma construtiva está ligada tanto a critérios técnicos quanto econômicos. O quadro a seguir mostra algumas das comparações que podem ser feitas entre os tipos de turbinas no momento de escolher a melhor forma construtiva.

Francis x Kaplan	Vantagens Francis	Vantagens Kaplan
	mais barata	operação suave para pequenas vazões
	Sobrevelocidade mais baixa	maior rotação específica e maior rotação (menor gerador) maior eficiência
Francis x Pelton	Vantagens Francis	Vantagens Pelton
	maior rotação específica e rotação menor gerador	Escavação mais barata
	maior eficiência máxima	melhor para água com partículas (melhor resistência a erosão)
		melhor eficiência em carga parcial
		menos sensível a mudanças da queda
		faixa de operação maior (principalmente em turbinas multi-jatos)
		menores tempo de parada/fechamento (menor sobrevelocidade)
		simples, poucas peças móveis. Menor custo de manutenção

3.6 Regulador de Velocidade

O regulador de velocidade atua sobre a abertura das palhetas do pré distribuidor de maneira a corrigir a velocidade para a velocidade nominal da unidade geradora.

As principais funções realizadas pelo regulador são:

- regulação da velocidade
- realimentação de posição do distribuidor

A utilização destas funções comandadas através de seqüências adaptadas permite controlar os seguintes modos de funcionamento:

- partida e aceleração do grupo
- regulação da velocidade durante marcha em vazio
- sincronização
- tomada de carga após acoplamento
- participação na regulação da frequência da rede
- retorno para marcha em vazio após uma rejeição de carga
- redução de carga e parada da unidade.

Além dos procedimentos acima listados, o regulador de velocidade executa também funções de parada de emergência e limitação de potência.

A partir da diferença entre o valor da velocidade desejada e a velocidade real medida, o controlador do tipo PID do regulador elabora a referência de posição do órgão regulador.

A finalidade principal do regulador é a regulação da frequência do grupo alternador já que a medida da velocidade é realizada pelo tratamento deste sinal. Ele é retirado do secundário de um transformador de potencial do alternador principal. A conversão deste sinal está baseada no princípio da medida da frequência e não é afetado pelas variações de tensão, corrente ou potência do alternador principal. É possível assim medir e realizar a medição da velocidade em todas as condições de funcionamento (inclusive com o grupo não excitado). A referência interna da velocidade desejada corresponde a velocidade nominal.

A partir da diferença entre a posição desejada dada pela regulação de velocidade e a medida de posição do servomotor, um corretor amplificador elabora a corrente de comando do transdutor elétrico-hidráulico que comanda o servomotor do distribuidor.

O sistema de regulação com molas é o melhor sistema contra sobrecarga, evitando que, em caso de bloqueio do movimento do distribuidor por introdução de um corpo estranho entre as pás diretrizes, o distribuidor sofra danos graves. Este sistema não necessita de um limitador de movimento para prevenir o contato de uma pá com as pás vizinhas, pois não há como haver quebra de nenhum elemento do sistema de regulação, apenas compressão das molas

3.7 Cavitação

Um líquido escoando em alta velocidade provoca baixa pressão podendo atingir sua pressão de vapor. Nas regiões onde existe baixa pressão, formam-se bolhas. Estas bolhas quando entram na zona de pressão mais elevada colapsam. Esta

explosão de bolhas em elevadas frequências provoca cavitação. A cavitação pode ser identificada por seu ruído característico ou pela perda de material por abrasão das superfícies das peças.

4. COMPORTAS HIDRÁULICAS

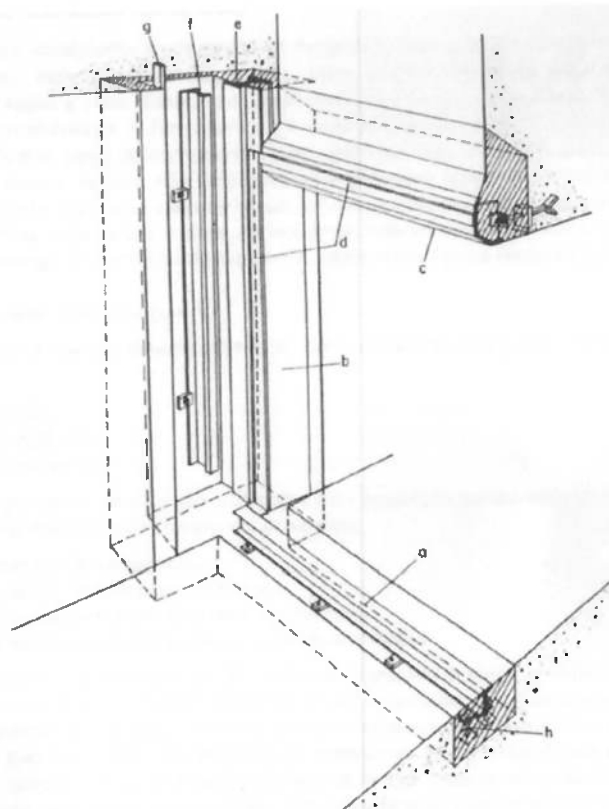
4.1 Características Básicas

Uma comporta compõe-se basicamente de três elementos:

- Tabuleiro
- Peças Fixas
- Mecanismo de Manobra

O **tabuleiro**, elemento principal da comporta, é um elemento móvel que serve de anteparo à passagem de água e é constituído de paramento, chapa de revestimento do tabuleiro diretamente responsável pela barragem da água, e vigamento. As vedações responsáveis pela estanqueidade são geralmente constituídas de perfis de borracha aparafusados à chapa do paramento. Também no tabuleiro são fixados os elementos de apoio (rodas, roletes, cutelos, etc) e de guiamento (sapatas, rodas, guias, molas, etc).

As **peças fixas** são os componentes que ficam embutidos no concreto e servem para guiar e alojar o tabuleiro, redistribuir para os concreto as cargas atuantes sobre a comporta atuando também, em alguns casos, como proteção do concreto e elemento de apoio da vedação. Podem ser divididas em peças de primeira e segunda concretagem. Peças de primeira concretagem são chumbadores que são colocados no concreto primário que servirão de apoio às peças de segunda concretagem, garantindo assim maior fixação, resistência, segurança, estabilidade e melhor distribuição de esforços. Os componentes básicos das peças fixas são: soleira, caminho de rolamento ou de deslizamento, guias laterais, contraguias, frontal, apoios da vedação e, eventualmente, blindagem das ranhuras.



Componentes das peças fixas.
 (a) Soleira (b) Blindagem (c) Frontal (d) Apoio das vedações
 (e) Caminho de rolamento (f) Guia lateral (g) Contraguia (h) Chumbador

Fig 4.1 – Peças Fixas

A soleira é o elemento horizontal inferior das peças fixas e serve de apoio do tabuleiro ou da vedação inferior. Nas comportas setor, tambor e telhado, a soleira costuma servir também como fixação da vedação inferior. O caminho de rolamento atua como elemento de apoio e redistribuição das cargas transmitidas pelas rodas ou rolos das comportas de rolamento. A mesma função é exercida pelo caminho de deslizamento com relação às cargas transmitidas pelos cutelos laterais das comportas ensecadeira e gaveta. As guias laterais e contraguias limitam os deslocamentos do tabuleiro no plano horizontal, e são projetadas para absorverem os esforços correspondentes. O frontal é um elemento usado somente em comportas de fundo e serve para completar, junto com as guias laterais e soleira, o quadro de passagem da água, absorvendo os esforços correspondentes. Localiza-se na parte horizontal superior da passagem a

obturar, apóia a vedação superior e serve também como proteção do concreto da erosão causada pela passagem da água em alta velocidade. O mecanismo de manobras é o dispositivo diretamente responsável pela abertura e fechamento da comporta. Algumas comportas dispensam o uso de mecanismo de manobras e são movimentadas pela pressão hidráulica, como as dos tipos setor, tambor e telhado.

4.2 Tipos de Comportas

Os termos usualmente empregados na designação dos tipos de comportas são:

- basculante
- cilíndrica
- ensecadeira
- gaveta
- lagarta
- mitra
- rolante
- segmento
- setor
- Stoney
- tambor
- telhado
- vagão
- visor

Esses tipos estão definidos na norma brasileira NBR 7259/82 – *Comportas Hidráulicas – Terminologia*. Neste anexo serão detalhadas apenas as comportas ensecadeiras e vagão, que são os tipos especificados para UHE Paraíso. Para maior detalhamentos dos demais tipos, ver referência bibliográfica [1].

De acordo com suas características, as comportas podem ser agrupadas de várias formas. Podem ser classificadas por função, movimentação, descarga, composição do tabuleiro, localização, forma do paramento, etc.

Quanto à função: podem ser divididas em comportas de serviço, de emergência e de manutenção.

- Comportas de serviço são utilizadas para regulação permanente de vazões ou nível.
- Comportas de emergência são utilizadas esporadicamente na interrupção do fluxo. Somente em casos especiais essas comportas são utilizadas em aberturas parciais como por exemplo na operação de *cracking* (enchimento gradual do conduto forçado por meio de ligeiro levantamento do tabuleiro para equilibrar as pressões).
- Comportas de manutenção são operadas somente com água parada e têm como principal função permitir o esvaziamento do conduto para acesso e manutenção dos equipamentos mesmo outras comportas.

Quanto à movimentação: De acordo com o movimento executado pelo tabuleiro ao longo de suas guias, as são classificadas em comportas de translação (deslizamento ou rolamento), rotação e de translo-rotação.

Quanto à descarga: podem ser divididas em comportas com descarga por cima do tabuleiro, por baixo do tabuleiro e com ambas.

As comportas podem ainda ser classificadas quanto à localização como comportas de alta, média ou baixa pressão, quanto à composição do tabuleiro como simples, mistas ou duplas, e quanto a forma do paramento como planas ou radiais.

4.2.1 Comporta Ensecadeira (Stoplog)

Utilizadas para manutenção e reparo em seco dos equipamentos ou comportas principais. Usualmente, seu emprego é previsto nas seguintes estruturas:

- a montante de comportas de tomadas d'água
- a montante de comportas de vertedouros de grandes barragens
- a jusante das turbinas ou das comportas do tubo de sucção

Não possui rodas ou rolos para sua movimentação, a não ser nos casos específicos. Dependendo da altura a vedar, a comporta ensecadeira pode ser composta de mais de um elemento. Também é conhecida pelo nome de *stoplog*. No caso de ser formada por mais de um elemento, estes são denominados de painéis de *stoplog* ou de comporta ensecadeira. Diversos fatores influem na escolha da altura e na quantidade de elementos:

- capacidade de içamento do guindaste ou pórtico de operação da comporta;
- altura do pórtico de operação - quanto mais alto o painel, maior deve ser a altura livre do pórtico;
- dificuldade de armazenamento de painéis altos;
- gabarito das vias de acesso à obra - a largura máxima normal de peças a transportar em rodovias e ferrovias é de 3 m; em rodovias, no caso de se ultrapassar este valor, é necessária a obtenção de licença especial para

transporte, bem como a utilização de batedores, o que aumenta os custos de transporte.

Somente um estudo cuidadoso da influência desses fatores no projeto da comporta ensecadeira e seus equipamentos associados possibilita ao projetista a determinação da altura adequada do painel. Deve ser enfatizado que um grande número de painéis por abertura demanda, também, um tempo maior para sua colocação ou retirada.

A comporta ensecadeira de superfície apresenta vedações nas laterais, na soleira e entre os painéis. Os elementos podem ser idênticos ou projetados de forma que cada um resista à pressão correspondente, exigindo, neste caso, que seja obedecida uma determinada sequência de instalação. A alternativa de painéis idênticos não é, evidentemente, a mais econômica, pois todos devem ser projetados para a máxima altura d'água. Como principais vantagens, destacam-se: maior segurança, flexibilidade e rapidez de operação, porque não há sequência a obedecer na colocação dos painéis.

No caso de comporta ensecadeira de fundo, o painel superior necessita de uma vedação no topo e por isso não pode ser idêntico aos demais painéis.

Os painéis são colocados e retirados das guias com equilíbrio de pressão (isto é, com a água parada), por meio de guindastes, monovia ou pórticos rolantes, com o auxílio de vigas pescadoras. A viga pescadora é dotada de ganchos de içamento movimentados por um sistema de alavancas e contrapeso. Seu funcionamento é o seguinte:

- a) para içar o painel - a viga pescadora é mantida suspensa pelo gancho do pórtico e o contrapeso é armado na posição "fechar". A viga pescadora é introduzida nas guias e abaixada pelo pórtico até atingir o painel. Nesse

momento, os ganchos deslizam suas faces inclinadas sobre os olhais de suspensão, deslocando-se da vertical até que o entalhe dos ganchos penetre no rasgo dos olhais, quando, por ação do contrapeso, os ganchos retomam a posição vertical inicial, prendendo o painel.

- b) para descer o painel - já estando o conjunto viga pescadora e painel suspenso pelo pórtico, arma-se o contrapeso na posição "abrir". Introduz-se o conjunto nas guias, descendo-o até que o painel atinja o ponto inferior das guias. Continuando a abaixar a viga, o entalhe dos ganchos é liberado dos rasgos dos olhais de suspensão e o contrapeso comanda a abertura dos ganchos, liberando a viga do painel.

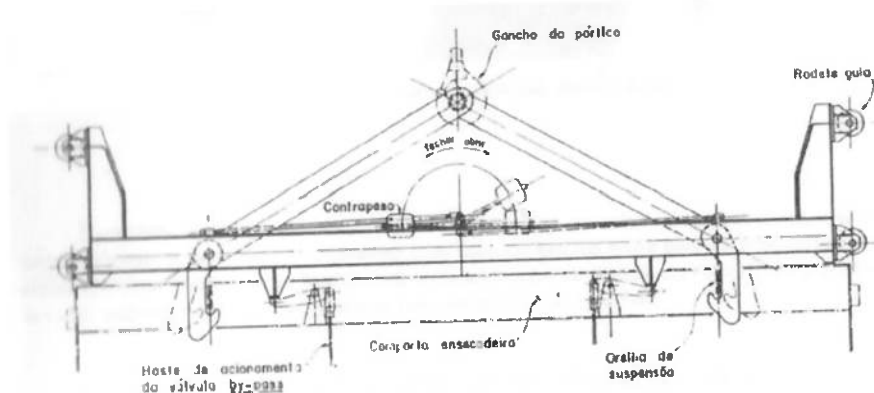


Fig 4.2 – Viga Pescadora

Após a colocação da comporta é feito o esgotamento da água a jusante. Como os painéis são colocados em equilíbrio de pressões, torna-se necessário comprimir mecanicamente as vedações contra os respectivos apoios, a fim de impedir a passagem da água do reservatório para a região a esgotar. A pré-compressão das vedações pode ser obtida por meio de molas semi-elípticas instaladas na comporta no lado da pressão. As molas apóiam-se em cunhas soldadas às peças fixas.

O equilíbrio de pressões necessário à retirada dos painéis de uma comporta ensecadeira consiste no completo enchimento com água do espaço entre esta e a comporta principal.

4.2.2 Comporta Vagão

É certamente o tipo mais usado de comporta em um amplo campo de aplicações. Em sua forma habitual, constitui-se basicamente de tabuleiro, eixos, rodas e vedações. O tabuleiro é formado por uma chapa de paramento, geralmente plana, reforçada por meio de vigas horizontais são soldadas a uma viga vertical denominada cabeceira. As rodas são montadas em eixos fixados lateralmente no tabuleiro, sobre as vigas cabeceiras, e têm a dupla função de diminuição dos esfroços de atrito e de transmissão de cargas às peças fixas e ao concreto.

A principal aplicação de comporta vagão, entretanto, é feita em instalações que necessitam de elementos de proteção que sejam capazes de fechar por peso próprio. É o caso por exemplo de tomadas d'água e regulação de descargas de fundo.

As comportas tipo vagão usadas em instalações de superfície têm vedações em três lados (laterais e soleira). Podem ser projetadas com paramento a montante ou a jusante do vigamento. AS guias da comporta devem estender-se acima do piso de operação do vertedouro para permitir o levantamento da comporta acima do nível máximo do reservatório. No topo das guias instala-se uma ponte de serviço para alojamento dos guinchos. A visão das guias acima do piso de operação do guincho e de sua estrutura suporte é geralmente considerada um grave inconveniente estético deste tipo de comporta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ERBISTE, Paulo C. F. – Comportas Hidráulicas – Editora Campus / Eletrobrás – 1987 Rio de Janeiro
- [2] The guide to Hydropower Mechanical Design – Prepared by the ASME Hydro Power Technical Committee.
- [3] CLEMEN, David M. - Hydro Plant Electrical Systems
- [4] Apostila do Curso PMC 433
- [5] GOLDENBERG, José – Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento
- [6] Material de treinamento gentilmente cedido pela Alstom Power do Brasil Ltda.