



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL



Directrizes Técnicas para o
Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas
UNIDADES

Parte 1: Turbinas hidráulicas

SHP/TG 003-1: 2019



DECLARAÇÃO DE EXONERAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O presente documento foi produzido sem edição formal das Nações Unidas. As designações e a apresentação do material do presente documento não reflectem qualquer opinião do Secretariado da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) sobre o estatuto jurídico de qualquer país, território, cidade ou zona das suas autoridades, ou sobre as respectivas fronteiras ou limites, sistema económico ou grau de desenvolvimento. Designações como "desenvolvido", "industrializado" e "em desenvolvimento" são utilizadas para fins estatísticos e não reflectem necessariamente uma opinião sobre o estágio alcançado por um determinado país ou zona no processo de desenvolvimento. A menção de nomes de empresas ou produtos comerciais não constitui uma aprovação por parte da UNIDO. Apesar do extremo cuidado em assegurar o rigor das informações constantes do presente documento, nem a UNIDO nem os seus Estados Membros assumem qualquer responsabilidade pelas consequências que possam advir do uso do material. O presente documento pode ser citado ou reimpresso livremente, mediante indicação da fonte.

© 2019 UNIDO / INSHP- Todos os direitos reservados

Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas
Centrais Hidroelétricas

UNIDADES

Parte 1: Turbinas hidráulicas

SHP/TG 003-1: 2019

AGRADECIMENTOS

As directrizes técnicas (DT) são o resultado de um esforço de colaboração entre a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e a Rede Internacional de Pequenas Centrais Hidroeléctricas (INSHP). Cerca de 80 peritos internacionais e 40 agências internacionais estiveram envolvidos na preparação do documento e na sua revisão pelos pares, e forneceram sugestões e opiniões concretas para tornar as directrizes técnicas profissionais e aplicáveis.

A UNIDO e a INSHP estão extremamente gratas pelas contribuições recebidas durante a elaboração destas directrizes, em particular as fornecidas pelas seguintes organizações internacionais:

- O Mercado Comum da África Oriental e Austral (COMESA)

- a Rede Global de Centros Regionais de Energia Sustentável (GN-SEC), nomeadamente o Centro ~~de para as~~ Energias Renováveis e Eficiência Energética da CEDEAO (ECREEE), o Centro ~~para as~~ Energias Renováveis e Eficiência Energética da África Oriental (EACREEE), o Centro ~~para as Energias Renováveis de Energia Renovável~~ e Eficiência Energética do Pacífico (PCREEE) e o Centro ~~para as Energias Renováveis de Energia Renovável~~ e Eficiência Energética das Caraíbas (CCREEE).

O Governo chinês facilitou a finalização destas directrizes e teve grande importância na sua conclusão.

O desenvolvimento destas directrizes beneficiou extraordinariamente dos pareceres, das análises e das críticas construtivas, bem como dos contributos de Adnan Ahmed Shawky Atwa, Adoyi John Ochigbo, Arun Kumar, Atul Sarthak, Bassey Edet Nkposong, Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Chang Fangyuan, Chen Changjun, Chen Hongying, Chen Xiaodong, Chen Yan, Chen Yueqing, Cheng Xialei, Chileshe Kapaya Matantilo, Chileshe Mpundu Kapwepwe, Deogratias Kamweya, Dolwin Khan, Dong Guofeng, Ejaz Hussain Butt, Eva Kremere, Fang Lin, Fu Liangliang, Garaio Donald Gafiye, Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Guo Chenguang, Guo Hongyou, Harold John Annegam, Hou ling, Hu Jianwei, Hu Xiaobo, Hu Yunchu, Huang Haiyang, Huang Zhengmin, Januka Gyawali, Jiang Songkun, K. M. Dhahesan Unnithan, Kipyego Cheluget, Kolade Esan, Lamysier Castellanos Rigoberto, Li Zhiwu, Li Hui, Li Xiaoyong, Li Jingjing, Li Sa, Li Zhenggui, Liang Hong, Liang Yong, Lin Xuxin, Liu Deyou, Liu Heng, Louis Philippe Jacques Tavernier, Lu Xiaoyan, Lv Jianping, Manuel Mattiat, Martin Lugmayr, Mohamedain SeifElnasr, Mundia Simainga, Mukayi Musarurwa, Olumide TaiwoAlade, Ou Chuanqi, Pan Meiting, Pan Weiping, Ralf Steffen Kaeser, Rudolf Hüpfel, Rui Jun, Rao Dayi, Sandeep Kher, Sergio Armando Trelles Jasso, Sindiso Ngwenga, Sidney Kilmeter, Sitraka Zarasoa Rakotomahefa, Shang Zhihong, Shen Cunke, Shi Rongqing, Sanja Komadina, Tareqemtairah, Tokihiko Fujimoto, Sr. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Tan Xiangqing, Tong Leyi, Wang Xinliang, Wang Fuyun, Wang Baoluo, Wei Jianghui, Wu Cong, Xie Lihua, Xiong Jie, Xu Jie, Xu Xiaoyan, Xu Wei, Yohane Mukabe, Yan Wenjiao, Yang Weijun, Yan Li, Yao Shenghong, Zeng Jingnian, Zhao Guojun, Zhang Min, Zhang Liansheng, Zhang Zhenzhong, Zhang Xiaowen, Zhang Yingnan, Zheng Liang, Zheng Yu, Zhou Shuhua e Zhu Mingjuan.

Seria muito bem-vinda a formulação de recomendações e sugestões adicionais para a actualização.

Índice

Prefácio	II
Introdução	III
1 Âmbito	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	2
4 Condições ambientais de serviço	2
5 Requisitos técnicos	2
5.1 Requisitos gerais	2
5.2 Tensão de serviço e factor de segurança	4
5.3 Requisitos gerais da concepção estrutural e dos materiais	5
5.4 Requisitos específicos dos diferentes tipos de turbinas hidráulicas	6
5.5 Garantia de desempenho hidráulico no estado estacionário	9
5.6 Garantia da cavitação, crepitação por cavitação e abrasão	10
5.7 Operação estável da turbina hidráulica	11
5.8 Vibração	11
5.9 Velocidade transitória máxima e pressão transitória máxima/mínima	11
5.10 Fuga de água nas lâminas-guia ou no bocal	11
5.11 Ruído	12
5.12 Índice de fiabilidade	12
6 Âmbito do fornecimento e peças sobressalentes	12
6.1 Âmbito do fornecimento	12
6.2 Peças sobressalentes	13
7 Documentos técnicos	13
8 Inspeção e aceitação	14
8.1 Inspeção e ensaios de fábrica	14
8.2 Ensaios de aceitação	20
9 Placa de identificação, embalagem, transporte e armazenamento	20
9.1 Placa de identificação	20
9.2 Embalagem e transporte	20
9.3 Armazenamento	21
10 Instalação, operação e manutenção	21
10.1 Instalação e entrada em funcionamento	21
10.2 Operação e manutenção	22
11 Período de garantia de qualidade	22
Apêndice A	23
(Normativo)	23
Fórmula para a melhoria da eficiência da turbina de reacção	23
Apêndice B	25
(Normativo)	25
Fórmula para a melhoria da eficiência da turbina de impulso	25
Apêndice C (Normativo)	28
Lista de peças sobressalentes da turbina hidráulica	28

Prefácio

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) é uma agência especializada no âmbito do sistema das Nações Unidas para promover o desenvolvimento industrial mundial inclusivo e sustentável (ISID). A relevância do ISID como abordagem integrada aos três pilares do desenvolvimento sustentável é reconhecida pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e pelos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) correspondentes, que irão enquadrar os esforços das Nações Unidas e dos países rumo ao desenvolvimento sustentável nos próximos quinze anos. O mandato da UNIDO para o ISID engloba a necessidade de apoiar a criação de sistemas energéticos sustentáveis, uma vez que a energia é essencial para o desenvolvimento económico e social e para a melhoria da qualidade de vida. A preocupação e o debate internacionais sobre energia têm crescido cada vez mais nas últimas duas décadas, com as questões da redução da pobreza, dos riscos ambientais e das alterações climáticas a assumirem agora um lugar central.

A INSHP (Rede Internacional de Pequenas Centrais Hidroeléctricas) é uma organização internacional de coordenação e promoção do desenvolvimento global de pequenas centrais hidroeléctricas (PCH), baseada na participação voluntária de pontos focais regionais, sub-regionais e nacionais, instituições relevantes, serviços públicos e empresas, e cujo principal objectivo são os benefícios sociais. A INSHP visa a promoção do desenvolvimento global de PCH através da cooperação triangular técnica e económica entre países em desenvolvimento, países desenvolvidos e organizações internacionais, a fim de abastecer as zonas rurais dos países em desenvolvimento com energia ambientalmente saudável, acessível e adequada, o que levará ao aumento das oportunidades de emprego, à melhoria das condições ecológicas, à redução da pobreza, à melhoria dos níveis de cultura e de vida locais e ao desenvolvimento económico.

A UNIDO e a INSHP colaboram no Relatório Mundial de Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas desde 2010. Com base nos relatórios, a necessidade e o desenvolvimento de PCH à escala mundial não estavam equiparados. Um dos obstáculos ao desenvolvimento na maioria dos países é a falta de tecnologias. A UNIDO, em colaboração com a INSHP, através da cooperação de peritos a nível mundial e com base em experiências de desenvolvimento bem-sucedidas, decidiu desenvolver as directrizes técnicas das PCH para satisfazer a procura dos Estados membros.

Estas directrizes técnicas foram elaboradas de acordo com as regras editoriais das Directivas ISO/IEC, Parte 2 (consultar www.iso.org/directives).

Chama-se especial atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos destas directrizes técnicas possam estar sujeitos a direitos de autor. A UNIDO e a INSHP não podem ser responsabilizadas pela identificação desses direitos de autor.

Introdução

As Pequenas Centrais Hidroeléctricas (PCH) são cada vez mais reconhecidas como uma importante solução de energia renovável para a electrificação de zonas rurais remotas. Contudo, embora a maioria dos países europeus, da América do Norte e do Sul e a China tenham elevadas capacidades instaladas, em muitos países em desenvolvimento, o potencial de uma PCH permanece desconhecido e é prejudicado por vários factores, incluindo a falta de boas práticas ou normas globalmente acordadas para o desenvolvimento de uma PCH.

As presentes Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas (TG) vão abordar as actuais limitações das regulamentações aplicáveis às directrizes técnicas para PCH, aplicando conhecimentos especializados e as melhores práticas existentes em todo o mundo. Pretende-se que os países utilizem estas directrizes para apoiar as suas políticas, tecnologias e ecossistemas actuais. Os países com capacidades institucionais e técnicas limitadas poderão melhorar a sua base de conhecimentos no que respeita ao desenvolvimento de PCH, atraindo assim mais investimentos para projectos de PCH, encorajando políticas favoráveis e, conseqüentemente, contribuindo para o desenvolvimento económico a nível nacional. As presentes directrizes técnicas serão valiosas para todos os países, mas, sobretudo, permitem a partilha de experiências e de boas práticas entre países que possuem conhecimentos técnicos limitados.

As directrizes técnicas podem ser utilizadas como princípios e fundamentos para o planeamento, concepção, construção e gestão de PCH até 30 MW.

- Os termos e definições presentes nas directrizes técnicas especificam os termos e definições técnicas profissionais normalmente utilizados para PCH.
- As Directrizes de Concepção fornecem directrizes para os requisitos básicos, metodologia e procedimentos em termos de selecção do local, hidrologia, geologia, plano do projecto, configurações, cálculos de energia, hidráulica, selecção de equipamentos electromecânicos, construção, estimativas de custo, avaliação económica, financiamento, avaliações sociais e ambientais do projecto - com o objectivo último de obter as melhores soluções de concepção.
- As Directrizes das Unidades especificam os requisitos técnicos para turbinas, geradores, sistemas de regulação de turbinas hidráulicas, sistemas de excitação e válvulas principais, bem como para sistemas de vigilância, controlo, protecção e alimentação de corrente contínua, de PCH.
- As Directrizes de Construção podem ser utilizadas como documentos de orientação técnica para a construção de projectos de PCH.
- As Directrizes de Gestão fornecem orientações técnicas para a gestão, operação e manutenção, renovação técnica e aceitação de projectos de PCH.

Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas - Unidades

Parte 1: Turbinas hidráulicas

1 Âmbito

A presente parte das Directrizes relativas às Unidades especifica os requisitos técnicos, a estrutura e os requisitos de material dos principais componentes, o âmbito do fornecimento, as peças sobressalentes, os documentos técnicos, bem como os requisitos básicos para a inspecção e a aceitação, embalagem, transporte, armazenamento, instalação, ensaio, entrada em funcionamento, ensaios de desempenho contratuais, operação e manutenção das turbinas hidráulicas de pequenas centrais hidroeléctricas (PCH).

O presente documento é aplicável às turbinas hidráulicas nas seguintes condições:

- a) A potência da unidade é inferior a 10 MW;
- b) No caso de turbinas Francis e Pelton, o diâmetro nominal da roda é inferior a 1,0 m;
- c) No caso de turbinas de fluxo axial, diagonais e tubulares, o diâmetro nominal da roda é inferior a 3,3 m.

2 Referências normativas

Os seguintes documentos são referidos no texto de forma a que parte ou a totalidade do seu conteúdo constitua uma exigência do presente documento. Para referências datadas, apenas é aplicável a edição citada. Para referências não datadas, é aplicável a mais recente edição do documento referido (incluindo eventuais alterações).

ISO 780, *Embalagem - Embalagem de distribuição - Símbolos gráficos para o manuseio e armazenamento de embalagens*

ISO 1940-1, *Vibração mecânica - Requisitos de qualidade do equilíbrio para rotores em estado constante (rígido) - Parte 1: Especificação e verificação das tolerâncias de equilíbrio*

ISO 10816-5, *Vibração mecânica - Avaliação da vibração da máquina através de medições nas peças não rotativas - Parte 5: Conjuntos de máquinas em unidades de bombagem e de produção de energia hidráulica*

IEC 60193, *Turbina hidráulica, bombas de armazenamento e turbinas-bomba - Ensaio de aceitação do modelo*

IEC 60308, *Turbina hidráulica - Ensaio dos sistemas de controlo*

EC 60545, *Guia para a entrada em funcionamento, operação e manutenção de turbinas hidráulicas*

EC 60609-1, *Turbinas hidráulicas, bombas de armazenamento e turbinas-bomba - Avaliação da crepitação por cavitação - Parte 1: Avaliação nas turbinas de reacção, bombas de armazenamento e bombas-turbinas*

EC 60609-2, *Avaliação da crepitação por cavitação nas turbinas hidráulicas, bombas de armazenamento e bombas-turbinas - Parte 2: Avaliação na turbina Pelton*

EC 60994, *Guia para medição de campo de vibrações e pulsações em máquinas hidráulicas (turbinas, bombas de armazenamento e turbinas-bomba)*

EC 61116, *Guia do equipamento electromecânico para pequenas instalações hidroeléctricas*

EC TR 61364, *Nomenclatura para máquinas de centrais hidroeléctricas*

EC 62006, *Máquinas hidráulicas - Ensaios de aceitação de pequenas turbinas hidráulicas*

CCH-70-3, *Revestimentos de aço para máquinas hidráulicas*

SHP/TG 001, *Directrizes técnicas para o desenvolvimento de pequenas centrais hidroeléctricas - Termos e definições*

3 Termos e definições

Para efeitos do presente documento, são aplicáveis os termos e definições apresentados no IEC TR 61364 e SHP/TG 001.

4 Condições ambientais de serviço

As condições de funcionamento das turbinas hidráulicas especificadas no presente documento destinam-se a situações gerais de qualidade da água. Quando a água contiver substâncias quimicamente corrosivas óbvias, sedimentos ou outros sólidos, ou o teor de gases exceder a qualidade geral da água, o fornecedor e o utilizador devem determinar essas condições mediante negociação.

NOTA Quando a água contiver uma pequena quantidade de sedimentos ou a resistência ao desgaste não for elevada, pode considerar-se como sendo a qualidade geral da água.

5 Requisitos técnicos

5.1 Requisitos gerais

5.1.1 Os principais parâmetros das turbinas hidráulicas devem ser escolhidos de acordo com os parâmetros e características básicos das centrais hidroeléctricas para a concepção de turbinas hidráulicas, bem como para

garantir que as turbinas funcionam de forma segura, fiável, estável e eficiente. A roda da turbina escolhida deve ser submetida ao ensaio do modelo e estar acompanhada de dados relativamente completos do ensaio. O protótipo da turbina e a conversão da eficiência do modelo devem ser executados de acordo com os Apêndices A e B, e deve ser considerada a correcção da manufactura e das peças irregulares.

5.1.2 A concepção estrutural da turbina hidráulica deve cumprir os requisitos de disposição da central hidroeléctrica, no que respeita à relação entre o gerador, o regulador e a válvula principal, e deve ser adequada para a realização regular da inspecção e da revisão. As condições de transporte devem respeitar a situação real da central hidroeléctrica.

5.1.3 A margem de segurança deve ser reservada para o cálculo da resistência estrutural, e os componentes da turbina não devem apresentar qualquer ressonância e deformações prejudiciais em várias condições de serviço, incluindo rejeição de carga.

5.1.4 Os componentes de passagem da turbina devem cumprir os requisitos do protótipo da IEC 60193.

5.1.5 A roda e o volante de inércia devem ser submetidos ao ensaio de equilíbrio estático e cumprir os requisitos da classe G6.3 da norma ISO 1940-1.

5.1.6 Quando a turbina está a operar em várias condições, a temperatura máxima da bucha metálica do rolamento-guia lubrificado com óleo fino não deve exceder os 70 °C, e a temperatura máxima do óleo não deve exceder os 65 °C. A temperatura máxima da bucha metálica-plástica flexível do rolamento não deve exceder os 55 °C e a temperatura máxima do óleo não deve exceder os 50 °C.

5.1.7 O ponto mais alto da secção de saída do tubo de aspiração da turbina de reacção deve ter uma profundidade submersa não inferior a 300 mm.

5.1.8 Os componentes da turbina e respectivos acessórios a serem submetidos a ensaios de pressão devem ser testados à pressão de ensaio na fábrica.

- a) Em relação ao ensaio hidrostático de resistência, a pressão do ensaio deve ser 1,5 vezes superior à pressão de concepção (incluindo o aumento da pressão), mas a pressão mínima não deve ser inferior a 0,4 MPa. A pressão de ensaio deve ser mantida durante 15 minutos. As peças sob pressão não devem apresentar fenómenos anormais, como deformações prejudiciais e fugas. Os ensaios hidrostáticos da caixa espiral metálica da turbina de reacção e do tubo de distribuição de água da turbina de impulso podem ser realizados de acordo com os requisitos do contrato;
- b) Em relação ao ensaio de resistência à pressão, a pressão de ensaio deve ser 1,25 vezes superior à pressão de serviço real, deve ser mantida durante 30 minutos e não deve haver fugas;
- c) Em relação ao ensaio de fugas, a pressão de ensaio deve ser a pressão de funcionamento real, deve ser mantida durante 8 horas e não deve haver fugas;

d) A pressão de ensaio do refrigerador deve ser o dobro da pressão de funcionamento real e não deve ser inferior a 0,4 MPa. A pressão deve ser mantida durante 60 minutos e não deve haver fugas.

5.1.9 Os componentes automáticos e o sistema de regulação da turbina hidráulica devem cumprir os requisitos de arranque, operação normal, paragem normal e paragem de emergência da unidade e estar dotados dos dispositivos de protecção de detecção e de transmissão de sinal necessários para enviar sinais ou desligar a máquina em tempo útil quando a unidade se depara com uma situação anormal.

5.2 Tensão de serviço e factor de segurança

5.2.1 A tensão de serviço de todos os componentes não deve exceder a tensão admissível especificada. Em condições de funcionamento normais, a tensão na secção transversal calculada pela fórmula comum não deve ser superior à tensão admissível especificada no Quadro 1. Em condições de serviço especiais, a tensão na secção transversal calculada pela fórmula comum não deve ser superior a 2/3 do rendimento-limite do material.

5.2.2 Em relação às peças e componentes sujeitos a cisalhamento e torção, a tensão de corte máxima não deve exceder 21 MPa para o ferro fundido e 70% da tensão de tracção admissível para os outros metais ferrosos. A tensão de corte máxima do fuso e da haste da lâmina-guia não deve exceder 60% da tensão admissível.

5.2.3 Quando é necessária tensionagem, certas peças, como pinos, parafusos e bielas, devem ser submetidas a tratamento de tensionagem, e a tensionagem das partes não deve exceder 7/8 da força de alongamento do material. A carga dos parafusos não deve ser inferior ao dobro da carga de concepção da peça ligada.

Quadro 1 Tensão admissível dos componentes em condições de funcionamento normais

Unidade: MPa

Nome dos materiais	Tensão admissível	
	Tensão de tracção	Tensão de pressão
Gusa cinzenta	UTS/10	70
Aço carbono fundido e liga de aço fundido	UTS/5 ou YS/3	UTS/5 ou YS/3
Forjagem de aço carbono	YS/3	YS/3
Placa de aço carbono para o membro tensionado principal	UTS/4	UTS/4
Placa de aço de alta resistência para o membro altamente tensionado	YS/3	YS/3
Outros materiais	UTS/5 ou YS/3	UTS/5 ou YS/3
NOTA 1 UTS diz respeito à resistência máxima à tracção;		
NOTA 2 YS diz respeito à resistência ao alongamento.		

5.2.4 Em relação aos resultados da análise de tensão obtidos com o modelo de elemento finito, o valor da tensão local pode exceder o referido valor admissível da tensão. Em condições de funcionamento normais, a tensão máxima não deve exceder 2/3 da resistência ao alongamento do material. Em condições de funcionamento especiais, a tensão máxima não deve exceder a resistência ao alongamento do material.

5.2.5 A tensão máxima sobre os componentes da roda não deve exceder 1/5 do rendimento-limite do material quando as pás da roda da turbina Francis e da turbina Kaplan estão a funcionar normalmente nas condições de carga máxima previstas e não deve exceder 2/5 do rendimento-limite à velocidade de rotação máxima. A tensão máxima sobre os componentes da roda não deve exceder 1/18 do rendimento-limite do material e a resistência à fadiga deve ser verificada quando a roda de impulso está a funcionar normalmente nas condições de carga máxima previstas.

5.2.6 A tensão combinada máxima S_{max} do fuso [consultar a fórmula (1)] não deve exceder 1/4 do rendimento-limite do material.

$$S_{max} = (S^2 + 3T^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(1)$$

em que

S é a soma da tensão axial e da tensão de flexão decorrentes da energia hidráulica, da carga dinâmica e da carga estática;

T é a tensão de corte por torção sob a potência máxima da turbina hidráulica.

A tensão máxima que incorpora a tensão máxima combinada S_{max} calculada pela fórmula (1) e a concentração da tensão não devem exceder 2/5 do rendimento-limite do material, e a tensão de corte por torção do fuso não deve exceder 42 MPa no caudal máximo da turbina hidráulica. O fuso da turbina tubular com veio transversal deve ser submetido à verificação da resistência à fadiga.

5.3 Requisitos gerais da concepção estrutural e dos materiais

5.3.1 A concepção estrutural da turbina deve ser adequada para a execução da instalação, manutenção e desmontagem. As partes deterioráveis devem poder ser objecto de inspecções e de trocas, e os principais componentes estruturais devem apresentar uma resistência e rigidez suficientes em todas as condições previstas.

5.3.2 A concepção estrutural da turbina deve garantir que as peças seguintes possam ser trocadas sem que os componentes principais, como a roda do gerador, estator, roda da turbina e veio principal, sejam removidos:

- a) Chumaceiras/buchas dos rolamentos-guia, refrigerador e elemento de estanquidade do veio da turbina;
- b) Elementos de estanquidade e pistões do servomotor da turbina, componentes de transmissão do distribuidor de água e componentes de protecção da turbina de reacção; elementos de estanquidade das pás da turbina Kaplan;

- c) Curva da água a jusante, bucha do rolamento-guia e refrigerador, elemento de estanquidade do eixo da turbina, componente de transmissão do distribuidor de água e componentes de protecção da turbina de veio horizontal;
- d) Bocal e deflector da turbina de impulso.

5.3.3 As peças padrão da turbina devem ser universais e as peças sobressalentes devem ser permutáveis.

5.3.4 O distribuidor de água da turbina de reacção deve estar equipado com um protector contra fracturas da lâmina-guia e com um limitador de abertura máxima da lâmina-guia. O protector da lâmina-guia deve poder emitir o alerta automaticamente.

5.3.5 A folga axial da turbina vertical deve garantir que a parte rotativa pode ser levantada até à altura prevista quando o rotor do gerador fica em suspensão contra o estator.

5.3.6 A tampa da turbina de reacção deve dispor de secções de drenagem fiáveis. Os dispositivos de controlo e sinalização do nível de água utilizados na drenagem devem ser fiáveis.

5.3.7 A turbina deve dispor de uma secção de prevenção da rotação máxima. A turbina pode funcionar continuamente durante 5 minutos à velocidade de rotação máxima e as peças rotativas da turbina não devem apresentar deformações prejudiciais.

5.3.8 A parte superior da secção de entrada da caixa espiral atrás da válvula principal da turbina vertical deve dispor de dispositivos automáticos fiáveis de compensação e de descarga de ar.

5.3.9 A porta de visita deve ser colocada no tubo de aspiração da turbina Francis, da turbina de fluxo axial, da turbina tubular e da turbina cuja roda tem um diâmetro de 1,4 m ou superior. O diâmetro da porta de visita não deve ser inferior a 500 mm. A válvula de ensaio de água deve ser colocada abaixo da porta de visita.

5.3.10 Os materiais dos componentes da turbina devem ser resistentes à fadiga, cavitação, desgaste e corrosão, devendo ser adaptáveis às condições de qualidade da água da central hidroeléctrica. A roda da turbina e outros componentes susceptíveis de cavitação e desgaste devem ser feitos de materiais resistentes à cavitação e anti-desgaste, ou devem ser tomadas as medidas de protecção necessárias. Quando é utilizada a medida de protecção da sobreposição do aço inoxidável, a espessura do aço inoxidável após o processamento não deve ser inferior a 2 mm.

5.3.11 As soldaduras importantes dos principais componentes da turbina devem ser submetidas a uma inspecção de falhas não destrutiva 100% ultra-sónica. Os componentes com alta tensão ou com posições suspeitas podem ser examinados através de inspecção radiográfica ou por difracção ultra-sónica.

5.4 Requisitos específicos dos diferentes tipos de turbinas hidráulicas

5.4.1 Turbina Francis

5.4.1.1 A roda da turbina deve apresentar uma resistência e rigidez suficientes e deve ser adoptada a estrutura de moldagem soldada. As pás podem ser fundidas ou forjadas. A secção das pás deve ser tratada através do método de controlo numérico.

5.4.1.2 O número de pás da roda deve ser o mesmo do modelo. A superfície de passagem deve ser lisa e o perfil da superfície da roda deve ser semelhante ao do modelo.

5.4.1.3 A roda deve ser feita de materiais resistentes à cavitação, ao desgaste e com bom desempenho de soldadura. A roda pode ser totalmente de aço inoxidável ou montada e soldada com pás de aço inoxidável, resguardo superior e anel inferior de aço ligado.

5.4.1.4 A caixa espiral deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Se as condições de transporte o permitirem, o anel inferior e a caixa espiral metálica devem ser soldados ou fundidos numa só peça pelo fabricante e devem ser transportados para a central hidroeléctrica como um todo. Se a dimensão da caixa espiral metálica exceder os requisitos de transporte, a caixa deve ser dividida em várias secções. As secções devem ser provisoriamente pré-montadas nas instalações do fabricante, para serem ajustadas, e, em seguida, transportadas por partes para o local de construção da central hidroeléctrica para serem montadas. No processo de transporte, devem ser tomadas medidas anti-deformações;
- b) A concepção da resistência da caixa espiral metálica da turbina com veio vertical deve garantir que a caixa espiral metálica suporte a tensão produzida pela pressão máxima (incluindo a pressão do golpe de arfete) gerada sob a pressão hidrostática máxima da água sem considerar a tensão combinada do betão;
- c) A caixa espiral e o anel inferior da turbina com veio horizontal devem ser soldados (ou fundidos) numa peça única nas instalações do fabricante e a parte superior deve dispor de um dispositivo de ventilação;
- d) A superfície de passagem da caixa espiral metálica montada deve ser lisa e ser objecto da inspecção não destrutiva de falhas ou do ensaio hidráulico, de acordo com as disposições.

5.4.1.5 A turbina Francis pode dispor de um dispositivo de aporte de ar natural para reduzir a vibração ou deve ser instalado um sistema de aporte de ar forçado.

5.4.2 Turbina de fluxo axial

5.4.2.1 A secção da pá da roda da turbina deve ser maquinada através do método de controlo numérico. O número de pás deve ser a mesma do modelo, a superfície de passagem deve ser lisa e o perfil da superfície da roda deve ser semelhante ao do modelo.

5.4.2.2 A roda deve ser feita de materiais resistentes à cavitação, ao desgaste e com bom desempenho de soldadura. A pá da roda e as bobinas de reactância da câmara da roda devem ser feitas de aço inoxidável.

5.4.2.3 Os elementos de estanquidade da pá da roda da turbina móvel tipo hélice devem ser feitos de material resistente ao óleo e à pressão. A roda e a pá do roda devem ser levantadas com ferramentas especiais; os furos de elevação não devem ser feitos nas pás.

5.4.2.4 A superfície interna da câmara da roda da turbina tipo hélice deve ser uma estrutura esférica ou semi-esférica. A câmara da roda da unidade da turbina tipo hélice de pás fixas pode ser uma estrutura cilíndrica. A porta de visita deve ser colocada na posição adequada da câmara da roda ou do tubo de aspiração.

5.4.2.5 O mecanismo de funcionamento das pás da roda deve ser flexível. O dispositivo de combinação deve ser preciso e fiável. Não pode entrar água na câmara de fornecimento de óleo do cubo da roda através do vedante da roda.

5.4.2.6 A turbina tipo hélice de pás fixas pode dispor de um dispositivo de aporte de ar natural para reduzir a vibração ou deve instalar o sistema de aporte de ar forçado.

5.4.2.7 A turbina de fluxo axial deve dispor de medidas de protecção contra o impulso ascendente.

5.4.3 Turbina tubular

5.4.3.1 Quando a roda é construída em consola, deve ser considerada a influência da deflexão do veio.

5.4.3.2 O mecanismo de funcionamento das pás da roda deve ser flexível. O dispositivo de combinação deve ser preciso e fiável. Não pode entrar água na câmara de fornecimento de óleo do cubo da roda através do vedante da roda.

5.4.3.3 As superfícies de ligação dos anéis-guia internos e externos devem ser aplicadas com vedante ou dispor de fitas de vedação.

5.4.3.4 O flange rasteiro deve ser colocado na parte inferior da câmara da roda da turbina tubular e o comprimento de expansão não deve ser inferior a 10 mm.

5.4.3.5 O protector de prevenção de fugas densas deve ser instalado na turbina tubular de bolbo.

5.4.3.6 A câmara de visita deve ser colocada na parte superior da tubagem de entrada da turbina tubular com extensão do veio próxima do corpo do bolbo para instalação, remoção e manutenção dos componentes no corpo do bolbo.

5.4.4 Turbina Pelton e turbina turbo

5.4.4.1 As posições susceptíveis à abrasão e as agulhas, bocais, deflectores e roda devem ser feitos de materiais resistentes à cavitação e ao desgaste.

5.4.4.2 A roda deve ser concebida utilizando a estrutura moldada monobloco ou moldada soldada ou forjada sólida com o tratamento térmico necessário e disposições para detecção de falhas. Durante o período de operação, o

utilizador deve inspeccionar periodicamente a presença de fissuras no balde de água. A primeira inspecção do balde de água deve ser realizada nas 500- primeiras horas de operação.

5.4.4.3 Devem ser tomadas medidas de isolamento acústico ou de redução de ruído no invólucro.

5.4.4.4 Em caso de rejeição de carga da unidade, o deflector deve desviar a água de forma automática e rápida de maneira a evitar a fuga da unidade.

5.4.4.5 A turbina Pelton pode dispor de bocal com travagem com sentido inverso conforme as necessidades.

5.4.4.6 A cabeça de descarga e a altura de ventilação devem cumprir os requisitos de operação segura e estável da turbina, de forma a evitar que a eficiência seja afectada.

5.4.4.7 O invólucro deve apresentar uma resistência e rigidez suficientes e um desempenho anti-vibrações relativamente bom.

5.4.4.8 O tubo de alimentação e a instalação do bocal devem ser submetidos a ensaios hidráulicos.

5.4.5 Turbina de fluxo cruzado

5.4.5.1 A roda deve ser segura e fiável, concebida com resistência à fadiga, apresentar resistência e rigidez suficientes e não apresentar fissuras.

5.4.5.2 A válvula anti-retorno para ajustar o nível de água no tubo de aspiração deve ser instalada na cremalheira.

5.4.5.3 Se o distribuidor de água for controlado manual e electricamente, deve ser instalado um interruptor de limite de confiança. A máquina eléctrica deve dispor de protector de sobrecarga e de um dispositivo de comutação manual/eléctrico fiável para garantir que a máquina eléctrica pode ser desligada no modo de funcionamento manual.

5.4.5.4 A cabeça de descarga deve garantir que a turbina opere de forma segura e estável e que a sua eficiência não é afectada.

5.5 Garantia de desempenho hidráulico no estado estacionário

5.5.1 Garantia de potência da turbina hidráulica

Deve ser garantida a potência nominal da turbina hidráulica à pressão hidrostática nominal da água, a potência à pressão hidrostática máxima da água, à pressão hidrostática média ponderada da água, à pressão hidrostática mínima da água e a outras pressões hidrostáticas específicas da água.

5.5.2 Garantia de eficiência da turbina hidráulica

Deve ser garantida a eficiência da turbina hidráulica, a eficiência média ponderada na faixa das pressões hidrostáticas da água de serviço e a eficiência noutros pontos de serviço específicos.

5.5.3 Garantia da velocidade de rotação máxima da turbina hidráulica

A velocidade de rotação máxima da turbina deve garantir:

- a) A turbina Francis e a turbina tipo hélice de pás fixas devem considerar a velocidade de rotação máxima produzida à pressão hidrostática máxima da água e a abertura máxima das lâminas-guia. Em casos especiais, tal deve ser negociado entre o fornecedor e o utilizador;
- b) A turbina de impulso deve considerar a velocidade de rotação máxima produzida à pressão hidrostática máxima da água e a abertura máxima do bocal;
- c) A turbina Kaplan deve considerar a velocidade de rotação máxima produzida na gama de pressões hidrostáticas de serviço da água em condições de funcionamento coordenadas (em câmara) das lâminas-guia e das pás da roda da turbina. Em condições especiais, conforme acordado pelo fornecedor e pelo comprador, pode considerar-se que a velocidade de rotação máxima pode ser garantida na faixa da pressão hidrostática de serviço da água na condição de a relação combinada ser interrompida.

5.6 Garantia da cavitação, crepitação por cavitação e abrasão

5.6.1 O desempenho da cavitação da turbina deve ser garantido.

5.6.2 A garantia de danos de crepitação por cavitação da turbina de reacção deve respeitar as disposições da norma IEC 60609-1 sob a condição geral de qualidade da água. A garantia de danos de crepitação por cavitação da turbina de impulso deve respeitar as disposições da norma IEC 60609-2 sob a condição geral de qualidade da água. Os registos de funcionamento devem ser guardados pelo utilizador durante o período de garantia e devem conter, pelo menos, os dados relativos à pressão hidrostática da água, à potência, ao tempo de funcionamento e ao nível correspondente das águas a jusante.

5.6.3 Quando a concentração de sedimentos for relativamente elevada no corredor, a abrasão dos componentes da turbina pode ser determinada de acordo com o caudal na unidade, a concentração de sedimentos, as características dos sedimentos e as condições de funcionamento da central hidroeléctrica e negociada entre o fornecedor e o utilizador.

5.7 Operação estável da turbina hidráulica

5.7.1 Em condições de ausência de carga, a turbina deve poder operar de forma estável.

5.7.2 No limite da pressão hidrostática máxima e mínima especificadas da água, a turbina deve operar de forma estável na faixa de potências constantes do Quadro 2.

Quadro 2 Gama de potência garantida

Tipo de turbina hidráulica	Gama de potência garantida da unidade à pressão hidrostática da água (%)
Turbina Francis	(45 a 100)
Turbina tipo hélice de pás fixas	(75 a 100)
Turbina Kaplan	(35 a 100)
Turbina de impulso	(25 a 100)
NOTA No caso da turbina Francis, se ocorrer vibração excessiva na gama de operação garantida, devem ser tomadas medidas adequadas para evitar vibrações.	

5.8 Vibração

5.8.1 Nas diferentes condições de funcionamento (incluindo o deslastre de carga), os componentes da turbina não devem apresentar ressonância ou deformações prejudiciais.

5.8.2 Na gama de operação estável garantida, as vibrações da turbina devem ser avaliadas de acordo com a norma ISO 10816-5. O método de medição deve observar a IEC 60994.

5.8.3 Em condições de funcionamento normais, a vibração relativa (excentricidade) do veio não deve ser superior a 75% da folga total do rolamento.

5.8.4 A velocidade crítica do sistema de suporte do veio da unidade do gerador da turbina hidráulica deve ser determinada através dos cálculos do fornecedor da turbina e do gerador. A velocidade crítica de primeira ordem do sistema de suporte do veio da unidade não deve ser inferior a 120% da velocidade de rotação máxima.

5.9 Velocidade transitória máxima e pressão transitória máxima/mínima

Quando a unidade está em deslastre de carga total ou parcial, o aumento da pressão na caixa espiral, a redução da pressão no tubo de aspiração e o aumento da velocidade da turbina não devem exceder os valores de concepção.

5.10 Fuga de água nas lâminas-guia ou no bocal

5.10.1 À pressão hidrostática nominal da água, as fugas de água do novo guia cilíndrico não devem ser superiores a 3‰ do caudal nominal da turbina hidráulica. As fugas de água do novo guia cônico não devem ser superiores a 4‰ do caudal nominal da turbina hidráulica.

5.10.2 O novo bocal da turbina de impulso não deve apresentar fugas de água quando está totalmente fechado.

5.11 Ruído

Quando a turbina está a funcionar normalmente, o ruído medido a 1 m do chão do poço da turbina não deve ser superior a 90 dB (A), o ruído medido a 1 m da câmara de visita do tubo de aspiração não deve ser superior a 95 dB (A), o ruído medido a 1 m do invólucro da turbina de impulso não deve ser superior a 90 dB (A) e o ruído medido num raio de 1 m à volta da câmara da roda da turbina tubular não deve ser superior a 90 dB (A).

5.12 Índice de fiabilidade

Na condição geral de qualidade da água, a turbina deve apresentar os seguintes índices de confiança:

- a) A disponibilidade não deve ser inferior a 99%;
- b) A vida útil média da turbina não deve ser inferior a 35 anos.

6 Âmbito do fornecimento e peças sobressalentes

6.1 Âmbito do fornecimento

6.1.1 Turbina hidráulica: Do flange conectado até ao veio do gerador, incluindo a roda, veio da turbina, rolamento, vedante do veio, invólucro, anel de suporte (suporte tubular), câmara da roda, dispositivo-guia, caixa espiral metálica e secção de alimentação, revestimento do poço, cone do tubo de aspiração, instalação de drenagem e outros equipamentos de suporte.

A turbina com veio horizontal também deve incluir o cotovelo de alimentação, o flange, o volante de inércia e o protector e travão do volante de inércia. A turbina de impulso deve incluir o tubo de distribuição, o invólucro, o bocal, a agulha, o mecanismo de curso da agulha e o deflector.

6.1.2 Equipamento de desvio da pressão: O tubo de ligação desde o extremo da cauda da conduta forçada da central hidroeléctrica até à entrada da caixa espiral da turbina, o ajustador do tubo de aço, o respectivo flange, os parafusos de ligação, a junta de dilatação e o flange de ligação da junta de dilatação devem ser negociados entre o fornecedor e o utilizador.

6.1.3 Instrumento de supervisão hidráulica e componentes automáticos: Incluindo os instrumentos e painéis de comando relevantes para a supervisão da pressão, temperatura e vácuo da turbina e respectivo equipamento auxiliar durante a operação. Sinal da pressão diferencial, sinal do nível dos líquidos, indicador de fluxo dos líquidos ou transmissor de fluxo, indicador de temperatura, componentes hidráulicos, componentes pneumáticos nas tubagens de óleo, ar e água para satisfazer as exigências do controlo automático. O indicador remoto, o dispositivo de medição da velocidade e vários transmissores especificados no contrato de encomenda assinado pelo fornecedor e pelo utilizador e os cabos de ligação (até à caixa do terminal do poço da turbina) entre os componentes do poço

da turbina e o equipamento. Os requisitos automáticos específicos devem ser negociados entre o fornecedor e o utilizador.

6.1.4 Tubagens e acessórios: tubagens de óleo, ar e água, conectores e suportes entre dispositivos individuais no conjunto completo dos equipamentos. Para o conjunto incompleto dos equipamentos da turbina de reacção com veio vertical, as tubagens e os acessórios devem ser dispostos no primeiro par de flanges ou no flange do servomotor do equipamento, devendo os flanges ser fornecidos aos pares. Para o conjunto incompleto dos equipamentos da turbina tubular, as tubagens e os acessórios devem estar dispostos a 1 m da câmara de visita ou no flange do servomotor da turbina, devendo os flanges ser fornecidos em pares.

6.1.5 Para a realização da instalação e da revisão geral, devem ser fornecidas ferramentas específicas e ferramentas especiais.

6.2 Peças sobressalentes

Os elementos e a quantidade de peças sobressalentes da turbina devem respeitar as disposições dos Quadros C1, C2, C3 e C4 do Apêndice C ou devem ser estabelecidos no contrato entre ambas as partes.

7 Documentos técnicos

O fornecedor deve entregar os documentos técnicos necessários ao utilizador, incluindo principalmente:

- a) Diagramas da disposição da turbina e do respectivo equipamento auxiliar, o desenho dos alicerces e o desenho das peças integradas, as dimensões das peças maiores e o peso das peças mais pesadas;
- b) Desenho geral da instalação da turbina, desenho de linha única da caixa espiral e do tubo de aspiração, desenho da instalação dos componentes da turbina e diagrama da disposição das tubagens da turbina e respectivo equipamento auxiliar;
- c) Curva característica combinada modelada, curva de desempenho da turbina e curva da relação entre a abertura da lâmina-guia ou o ângulo de rotação ou a abertura do bocal e o curso do servomotor;
- d) Desenhos e dados sobre a instalação e a disposição da turbina e respectivo equipamento auxiliar;
- e) Diagramas da instalação e esquema dos quadros de comando e dos equipamentos automáticos de controlo e supervisão, incluindo o diagrama do funcionamento automático da turbina, diagramas do sistema de óleo, ar e água, e o cronograma dos instrumentos de medição da turbina;
- f) Manuais de instalação, operação e manutenção da turbina e dos equipamentos auxiliares, relatórios de inspecção e ensaios, certificados de garantia e guia de embalagem.

8 Inspeção e aceitação

8.1 Inspeção e ensaios de fábrica

8.1.1 O utilizador pode participar nas seguintes inspeções e ensaios no processo de fabrico dos principais componentes da turbina:

- a) Inspeção e ensaios de dimensões físicas, perfil da pá da roda, precisão de maquinagem, dureza da superfície e permutabilidade dos componentes principais;
- b) Inspeção do alinhamento entre o veio da turbina e o veio do gerador após brocagem combinada dos furos para os parafusos da união. A inspeção do alinhamento dos veios deve ser realizada pelo fabricante do gerador se a turbina e o gerador forem fabricados por diferentes fabricantes;
- c) Instalação e ensaios de equilíbrio estático da roda;
- d) Ensaio hidráulico e ensaio de estanquidade dos membros sob pressão;
- e) As soldaduras importantes dos principais componentes da turbina devem ser submetidas à inspeção de falhas não destrutiva 100% ultra-sónica. Os componentes sob alta tensão ou em posições suspeitas podem ser examinados por inspeção radiográfica;
- f) Inspeção dos componentes de passagem de água de acordo com os requisitos do protótipo da IEC 60193;
- g) Inspeção da pré-montagem do dispositivo-guia da turbina de reacção, e inspeção das folgas da lâmina-guia;
- h) Ensaio hidrostático da caixa espiral metálica da turbina de reacção e dos tubos de distribuição da turbina de impulso. A executar conforme necessário.

8.1.2 Todos os componentes da turbina devem ser inspeccionados e/ou testados de acordo com os requisitos do desenho. Os fornecedores qualificados devem ser avaliados relativamente ao aprovisionamento de peças padrão.

8.1.3 As superfícies das juntas flangeadas do equipamento devem ser lisas e sem rebarbas. A folga da junta deve ser inspeccionada com um calibrador de 0,05 mm e a folga não deve ser trespassada. Não deve haver folgas à volta dos parafusos e pinos de montagem.

8.1.4 Deve ser dada atenção aos sinais correspondentes aquando da montagem dos componentes. Quando forem instaladas várias unidades, cada unidade deve ser instalada com componentes que apresentem sinais da mesma série. Os componentes ou pontos de referência do mesmo tipo devem ser numerados no registo da montagem. Em relação aos componentes fixos, os componentes devem ser numerados no sentido horário (vistos a partir do terminal do gerador da turbina e doravante igualmente) a partir de + Y.

8.1.5 Quando o contentor do equipamento for submetido ao ensaio de fugas de querosene, o ensaio deve durar pelo menos 4 horas e o contentor não deve apresentar fugas. Após o ensaio de fugas, o contentor não deve ser desmontado novamente.

8.1.6 Os componentes da turbina devem ser submetidos a pré-tratamento superficial e a protecção da tinta na fábrica do fornecedor de acordo com os requisitos do desenho de projecto. Os componentes (incluindo as soldaduras executadas no local da construção da central hidroeléctrica) a revestir com demão de acabamento no local da construção da central hidroeléctrica devem ser pintados de acordo com os requisitos de concepção. O revestimento deve ser uniforme e não apresentar bolhas ou rugas e a cor deve ser uniforme.

8.1.7 A soldadura da caixa espiral deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) A folga da soldadura topo a topo entre as diferentes secções e entre a caixa espiral e o anel de paragem deve ser, geralmente, de 2 mm a 4 mm. A sobreposição da superfície de passagem do fluxo não deve exceder 10% da espessura da placa. A sobreposição máxima da junta longitudinal não deve ser superior a 2 mm e a sobreposição máxima da soldadura circular não deve ser superior a 3 mm;
- b) O comprimento da secção com folga local no entalhe superior a 5 mm não deve exceder 10% do comprimento de soldadura, e é possível tratá-la no entalhe através de sobreposição;
- c) A aparência da soldadura deve ser inspeccionada de acordo com as disposições do Quadro 3.

Quadro 3 Inspeção da aparência das soldaduras na caixa espiral da turbina Unidade: mm

N.º	Elementos		Dimensões admissíveis das falhas
1	Fissuras		Não permitidas
2	Escórias na superfície		Não permitidas
3	Solapamento		A profundidade não deve exceder 0,5, o comprimento contínuo não deve exceder 100 e o comprimento cumulativo do solapamento em ambos os lados não deve ser superior a 10% do comprimento total de soldadura.
4	Soldadura com enchimento incompleto		Não permitida
5	Porosidade superficial		Não permitida
6	Altura excedentária da costura Δh	Soldadura manual	0 a 2,5
		Soldadura por arco submerso	0 a 4
7	Largura da soldadura topo a topo	Soldadura manual	A largura do entalhe deve ser coberta por 2 a 4 por lado e as soldaduras devem transmitir suavemente.
		Soldadura por arco submerso	A largura do entalhe deve ser coberta por 2 a 7 por lado e as soldaduras devem transmitir suavemente.
8	Salpicos		A limpar completamente
9	Sobreposição		Não permitida

Em relação à caixa espiral que não pôde ser submetida a ensaios hidráulicos, as soldaduras devem ser submetidas a ensaios não destrutivos, incluindo ensaios ultra-sônicos e radiográficos.

8.1.8 O ensaio de equilíbrio estático da roda deve cumprir os seguintes requisitos:

- A plataforma de equilíbrio estático deve ser concêntrica na roda, o desvio não deve ser superior a 0,07 mm e o desvio horizontal do suporte não deve ser superior a 0,02 mm/m;
- Quando é aplicado o método de equilibragem do tipo de placa da roda com esfera de aço, a sensibilidade da plataforma de equilíbrio estático deve cumprir os requisitos do Quadro 4:

Quadro 4 Distância entre o centro da esfera da roda da turbina e o centro de gravidade da roda

Unidade: mm

Massa da roda t (kg)	Distância máxima	Distância mínima
$t < 5\ 000$	40	20
$5\ 000 \leq t < 10\ 000$	50	30
$10\ 000 \leq t < 50\ 000$	60	40

8.1.9 O ensaio de operação e o ensaio hidráulico da roda da turbina Kaplan devem ser realizados de acordo com os seguintes requisitos:

- A qualidade do óleo de ensaio deve cumprir a norma e a temperatura do óleo não deve ser inferior a 5 °C;
- A pressão máxima do ensaio de estanquidade deve ser mantida durante 16 horas;
- Durante o ensaio, a pá de serviço deve abrir e fechar num curso completo (2 a 3) vezes por hora;
- A junta do veio-roda não deve apresentar fugas. O limite de fugas de óleo do dispositivo de estanquidade de pá única com ou sem a pressão de ensaio não deve exceder 5 mL/h;
- O servomotor da roda deve funcionar de forma estável. A pressão mínima de óleo para abrir e fechar não deve exceder, normalmente, 15% da pressão de funcionamento nominal;
- Deve ser preparada a curva da relação entre o curso do servomotor da roda e o ângulo de rotação da pá.

8.1.10 As folgas dos vedantes devem cumprir os requisitos dos Quadros 5, 6 e 7:

Quadro 5 Folga unilateral entre a roda da turbina Francis e a tampa e o anel inferior (anel vedante) e entre a turbina de fluxo axial/pá da turbina de bolbo e a câmara da roda Unidade: mm

Diâmetro da roda D_1 /(mm)		Valor da folga			Valor admissível do desvio
		$H \leq 35$ /(m)	$35 < H \leq 100$ /(m)	$H > 100$ /(m)	
Turbina Francis	$D_1 \leq 420$	0,5	0,4	0,4	$\pm 0,1$
	$420 < D_1 \leq 840$	0,6	0,6	0,4	$\pm 0,1$
	$840 < D_1 \leq 1\ 200$	$(0,04-0,08)\% D_1$			
	$D_1 > 1\ 200$	$(0,04-0,07)\% D_1$			
Turbina de fluxo axial/turbina de bolbo	$D_1 \leq 1\ 000$	$(0,08-0,135)\% D_1$			
	$1\ 000 < D_1 \leq 2\ 000$	$(0,07-0,125)\% D_1$			
	$D_1 > 2\ 000$	$(0,05-0,1)\% D_1$			

Quadro 6 Folga total (2A) entre a parte superior/inferior da lâmina-guia da turbina e a tampa e o anel inferior Unidade: mm

Diâmetro da roda D_1 (mm)	Valor da folga A				
	$b_0/D_1 \geq 0,35$	$b_0/D_1 \geq 0,25$	$b_0/D_1 \geq 0,2$	$b_0/D_1 \geq 0,12$	$b_0/D_1 \geq 0,1$
$D_1 \leq 420$	0,20~0,50	0,15~0,35	0,10~0,28	0,06~0,22	0,05~0,20
$420 < D_1 \leq 840$	0,25~0,60	0,18~0,45	0,12~0,35	0,08~0,28	0,06~0,23
$D_1 > 840$	0,30~0,75	0,22~0,55	0,15~0,40	0,12~0,35	0,10~0,30

NOTA 1 Se não constar do quadro, a folga total entre as superfícies finais superior e inferior da lâmina-guia pode ser de (0,1 a 0,2)% da altura da lâmina-guia (b_0).

NOTA 2 Quando dispuserem de dispositivo de vedação, as superfícies finais superior e inferior da lâmina-guia devem cumprir os requisitos do desenho.

Quadro 7 Folga da superfície vertical quando a lâmina-guia da turbina está totalmente fechada

Unidade: mm

b_0/D_1	$b_0/D_1 \geq 0,35$	$0,35 > b_0/D_1 > 0,2$	$b_0/D_1 \leq 0,2$
Folga local admissível	0,15	0,10	0,08

NOTA 1 Quando a lâmina-guia está totalmente fechada, a folga local não superior ao valor indicado no quadro referido é aceitável em 1/4 da altura da lâmina-guia. Ao inspeccionar a secção de repouso com um calibrador de 0,05 mm, o calibrador não deve trespassar a folga.

NOTA 2 Quando a superfície vertical da lâmina-guia dispõe de dispositivo de vedação, a respectiva folga não deve ser superior a 0,15 mm e, após a instalação da fita de vedação, a superfície vertical não deve apresentar folgas.

NOTA 3 A folga local admissível na superfície vertical da lâmina tubular não deve exceder 0,25 mm e o comprimento não deve exceder 25% da altura da lâmina-guia.

8.1.11 A bucha do rolamento-guia da turbina deve cumprir os seguintes requisitos:

- A superfície da bucha do rolamento de borracha deve ser plana, não deve apresentar fissuras e falhas sem revestimento. A bucha do rolamento metálico Babbitt não deve apresentar porosidade, fissuras, pontos duros e zonas não revestidas. A dureza da superfície da bucha do rolamento deve ser inferior a 0,8 μm ;
- A bucha do rolamento de borracha e a bucha do rolamento cilíndrico metálico devem ser pré-montadas no veio, e a folga total deve cumprir os requisitos de concepção. Tanto a diferença entre as folgas totais máxima e mínima em cada extremidade, como a diferença entre a folga total das extremidades superior e inferior na mesma orientação não devem ser superiores a 10% da folga total média medida;
- Quando a bucha do rolamento cilíndrico metálico cumpre os requisitos de a) e b), já não pode ser ligada à terra. A necessidade de a bucha do rolamento bipartido ser ligada à terra deve ser determinada de acordo com os requisitos de concepção;
- Após o aterramento da bucha do rolamento, o contacto da mesma deve ser uniforme. Deve haver pelo menos (2 a 3) pontos de contacto por centímetro quadrado. A área local sem contacto por bucha de rolamento não

deve ser superior a 5% por posição e a superfície total não deve exceder 15% da superfície total da bucha do rolamento.

8.1.12 A bucha do rolamento deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) O tanque de óleo do rolamento não deve apresentar fugas de óleo e deve ser submetido ao ensaio de fugas de querosene de acordo com o ponto 8.1.5;
- b) O refrigerador da chumaceira deve ser submetido a ensaios hidráulicos.

8.1.13 Antes da instalação, deve ser introduzido ar comprimido de 0,05 MPa no anel de blindagem de ar para realizar o ensaio de estanquidade na água, e o anel de blindagem não deve apresentar fugas de ar.

8.1.14 Quando a turbina de impulso é pré-montada nas instalações do fornecedor, o desvio entre a linha central de alimentação do tubo de alimentação e o eixo da unidade não deve ser superior a $\pm 0,2\%$ do diâmetro de entrada. O invólucro bipartido deve cumprir os requisitos do ponto 8.1.3. Às superfícies das juntas flangeadas sem vedante deve ser aplicado vedante. Em relação à unidade vertical, as elevações dos flanges do bocal no invólucro devem ser consistentes e a diferença de elevação não deve ser superior a 1 mm. A perpendicularidade dos flanges não deve ser superior a 0,3 mm/m. A distância até à linha de referência das coordenadas da unidade deve cumprir os requisitos de concepção.

8.1.15 O bocal e o servomotor da turbina de impulso devem ser submetidos a ensaios hidráulicos nas instalações do fornecedor. Após a montagem do bocal e do servomotor, as acções da agulha e do servomotor devem ser suaves a 16% da pressão nominal. Quando o óleo de pressão nominal é introduzido na cavidade de encerramento do servomotor, não devem existir folgas entre a cabeça da agulha e a saída do bocal. Quando o servomotor da agulha é o servomotor incorporado, é necessário inspeccionar a existência de fugas de óleo e de água na cavidade de descarga da mistura óleo-água. Não deve apresentar fugas.

8.1.16 A montagem dos bocais deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) A linha central do bocal deve ser tangente ao círculo primitivo da roda, o erro radial não deve ser superior a $\pm 0,2\% D_1$ (D_1 é o diâmetro do círculo primitivo do roda), e o erro axial do jacto de água e do plano do balde não deve ser superior a $\pm 0,5\% W$ (W diz respeito à largura interior máxima do balde de água). Quando este erro for inferior a ± 1 mm, deve considerar ± 1 mm;
- b) O desvio do centro do deflector e do centro do bocal não deve ser superior a 4 mm;
- c) O desvio do comprimento de compressão da mola tensora do valor de concepção não deve superior a ± 1 mm;
- d) O desvio de sincronismo do curso da agulha dos bocais não deve ser superior a 2% do curso de concepção;
- e) O desvio axial e radial da linha central do bocal de travagem na direcção inversa não deve ser superior a ± 5 mm.

8.2 Ensaio de aceitação

O ensaio de aceitação de desempenho hidráulico da turbina deve cumprir os requisitos da IEC 62006. A duração da operação de carga completa deve ser contínua durante 72 horas. Após os ensaios de aceitação, os certificados de aceitação preliminares devem ser assinados pelo utilizador e pelo fornecedor, a operação comercial deve ser iniciada e o período de garantia de desempenho deve começar nessa data. Após o termo do período de garantia de desempenho da turbina e as garantias técnicas cumprirem os requisitos do contrato assinado por ambas as partes, o certificado de aceitação final deve ser assinado pelo utilizador.

9 Placa de identificação, embalagem, transporte e armazenamento

9.1 Placa de identificação

9.1.1 Os materiais e o método de gravação das placas de identificação devem garantir que os textos não sejam apagados durante todo o período de serviço, e deve ser inscrita a seguinte informação:

- a) Nome, modelo e n.º do produto;
- b) Pressão hidrostática máxima da água, pressão hidrostática nominal da água e pressão hidrostática mínima da água;
- c) Caudal nominal;
- d) Potência máxima e potência nominal;
- e) Velocidade nominal e velocidade de rotação máxima;
- f) Nome do fabricante e data de produção.

9.2 Embalagem e transporte

9.2.1 Os componentes da turbina e as peças sobressalentes no âmbito do fornecimento devem ser aprovados na inspeção do fabricante antes de serem entregues e devem ser acompanhados dos documentos relevantes que comprovem a conformidade do produto.

9.2.2 O tamanho das embalagens e o peso dos componentes da turbina devem respeitar as condições de transporte desde as instalações do fornecedor até à central hidroelétrica.

9.2.3 A embalagem e o transporte dos componentes da turbina e respectivo equipamento auxiliar devem respeitar as disposições da norma ISO 780 e devem ser tomadas medidas de protecção contra a chuva e a humidade, vibrações e fungos, congelamento e de resistência ao nevoeiro salino de acordo com os diferentes requisitos e modos de transporte do equipamento.

9.2.4 A caixa da embalagem deve conter o certificado de qualificação do produto, documentação técnica e desenhos. Os nomes e as quantidades listadas na guia da embalagem devem corresponder aos objectos materiais na caixa e ao número do desenho. A guia da embalagem deve ser colocada na bolsa anti-séptica da caixa.

9.3 Armazenamento

9.3.1 Os componentes maquinados da turbina, as peças sobressalentes e o equipamento auxiliar devem ser guardados de forma adequada e não devem ser empilhados sem permissão.

9.3.2 As partes maquinadas da turbina devem ser protegidas contra a humidade e a chuva e não devem ser expostas ao sol e à chuva após serem entregues no local de construção da central hidroeléctrica e desembaladas.

9.3.3 As peças de borracha, plástico e nylon devem ser protegidas da luz directa do sol e não devem ser colocadas num raio de 1,5 m à volta do forno ou de outro dispositivo de aquecimento. A borracha deve ser protegida contra a poluição por óleo. Os produtos de borracha e os enchimentos devem ser guardados num armazém seco e ventilado.

9.3.4 Os componentes (dispositivos) ou instrumentos electrónicos, eléctricos e automáticos devem ser guardados no armazém a uma temperatura entre -5 °C e 40 °C, com uma humidade relativa não superior a 90% e sem ácidos, álcalis, sal ou gases corrosivos/explosivos, campos electromagnéticos, poeiras e erosão por chuva/neve.

9.3.5 O fornecedor deve garantir que os produtos estão isentos de corrosão, bolor, danos ou redução da precisão devido a embalagem inadequada em condições normais de armazenamento, transporte e elevação no prazo de um ano a contar da data de entrega e até à aceitação no local de construção da central hidroeléctrica.

10 Instalação, operação e manutenção

10.1 Instalação e entrada em funcionamento

10.1.1 A instalação e a entrada em funcionamento da turbina devem cumprir os requisitos das normas IEC 61116 e IEC 62006.

10.1.2 As substâncias estranhas presentes no sistema de desvio e nos componentes do condutor de água da turbina devem ser rigorosamente limpas, de forma a evitar danos na turbina antes de a água encher o sistema de desvio da central hidroeléctrica pela primeira vez.

10.1.3 Antes da entrada em funcionamento, o sistema de óleo deve ser limpo diversas vezes com óleo e depois deve ser preenchido com o óleo especificado no projecto para a entrada em funcionamento.

10.2 Operação e manutenção

A operação da turbina deve respeitar as disposições da IEC 60545 e o manual de operação e manutenção fornecido pelo fornecedor.

11 Período de garantia de qualidade

Partindo da premissa de que o produto é devidamente armazenado, instalado e utilizado, o período de garantia de qualidade do produto é de um ano a contar da data da conclusão da operação experimental de 72 horas ou de dois anos a contar da data de entrega do último lote de mercadorias, consoante o que ocorrer primeiro. Se o equipamento estiver danificado ou não funcionar correctamente devido à qualidade de fabrico durante o período de garantia de qualidade, o fornecedor deve repará-lo ou substituí-lo gratuitamente.

Apêndice A
(Normativo)

Fórmula para a melhoria da eficiência da turbina de reacção

A.1 Método 1: Tipo Francis:

$$\Delta \eta = K \times (1 - \eta_{\max}) \times \left[1 - (D_m/D_p)^{0.2} \right] \quad \text{.....(A.1)}$$

Tipo de fluxo axial:

$$\Delta \eta = K \times (1 - \eta_{\max}) \times \left[0.7 - 0.7(D_m/D_p)^{0.2} \times (H_m/H_p)^{0.1} \right] \quad \text{.....(A.2)}$$

em que

η_{\max} é a eficiência óptima do modelo da turbina;

K é o coeficiente, $K= 0,5\sim 0,7$ (valor mínimo para a unidade de renovação; valor máximo para a nova unidade):

D_m é o diâmetro nominal da roda do modelo da turbina, em m;

D_p é o diâmetro nominal da roda da turbina protótipo, em m;

H_m é a cabeça de ensaio do modelo da turbina, em m;

H_p é a pressão hidrostática da água da turbina protótipo, em m.

A.2 Método 2:

Fórmula para a melhoria da eficiência da turbina de reacção recomendada pela IEC 60193:

$$\Delta \eta_h = \delta_{\text{ref}} \left[\left(\frac{R_{\text{euref}}}{R_{\text{eum}}} \right)^{0.16} - \left(\frac{R_{\text{euref}}}{R_{\text{eup}}} \right)^{0.16} \right] \quad \text{.....(A.3)}$$

$$\delta_{\text{ref}} = \frac{1 - \eta_{\text{hoptm}}}{\left(\frac{R_{\text{euref}}}{R_{\text{euoptm}}} \right)^{0.16} + \frac{1 - V_{\text{ref}}}{V_{\text{ref}}}} \quad \text{.....(A.4)}$$

em que

$\Delta \eta_h$ é o valor da alteração da eficiência do modelo a ser convertida em eficiência do protótipo;

δ_{ref} é o valor da alteração do valor nominal a ser convertido em eficiência do protótipo;

R_{euref} é o número de Reynolds padrão;

R_{eum} é o número de Reynolds modelo do ponto de contagem;

R_{eup} é o número de Reynolds protótipo do ponto de contagem;

R_{euoptm} é o número de Reynolds do ponto de eficiência óptimo do modelo;

η_{hoptm} é a eficiência óptima do modelo;

V_{ref} é o coeficiente de distribuição de perdas padrão (0,8 para a turbina Kaplan de fluxo axial, turbina Deriaz e turbina Kaplan tubular; 0,7 para a turbina Francis, turbina tipo hélice de pás fixas, turbina Kaplan tipo hélice, pás fixas da turbina Deriaz e turbina tipo hélice de pás fixas tubulares).

A.3 Método 3:

A fórmula seguinte é recomendada para as curvas de ensaio do modelo existente e para os dados de ensaio do modelo sinalizados com o número de Reynolds e a temperatura da água:

$$\Delta\eta_h = (1 - \eta_{hoptm}) \times V_m \times \left[1 - \left(\frac{R_{eum}}{R_{eup}} \right)^{0.16} \right] \dots\dots\dots(A.5)$$

$$V_m = V_{optm} = V_{ref} \dots\dots\dots(A.6)$$

$$R_{eum} = R_{euref} = 7 \times 10^6 \dots\dots\dots(A.7)$$

em que

V_m é o coeficiente de distribuição de perdas do modelo (0,8 para a turbina Kaplan de fluxo axial, turbina Deriaz e turbina Kaplan tubular; 0,7 para a turbina Francis tipo hélice de pás fixas, turbina tipo hélice, pás fixas da turbina Deriaz e turbina tipo hélice de pás fixas tubulares);

V_{optm} é o coeficiente de distribuição de perdas do ponto de eficiência óptima do modelo.

Apêndice B

(Normativo)

Fórmula para a melhoria da eficiência da turbina de impulso

$$\Delta\eta_h = \eta_{hp} - \eta_{hm} = \Delta\eta_{Fr} + \Delta\eta_{we} + \Delta\eta_{Ro} \dots\dots\dots(B.1)$$

$$\Delta\eta_h = \eta_{hp} - \eta_{hm} = 5.7 \times \Phi_B^2 \times (1 - C_{Fr}^{0.3}) + 1.95 \times 10^{-8} \times \frac{C_{we} - 1}{\Phi_B^2} + 10^{-8} \times \frac{(C_{Ro} - 1)^2}{\Phi_B^2} \dots\dots\dots(B.2)$$

$$\Phi_B = \frac{4Q_p}{Z_0 \times \pi \times (2g_p H_p)^{1/2} \times B_p^2} \dots\dots\dots(B.3)$$

$$C_{Fr} = \frac{F_{rp}}{F_{rm}} = \left(\frac{g_p \times H_p}{g_m \times H_m} \right)^{1/2} \times \left(\frac{B_m}{B_p} \right)^{1/2} \times \left(\frac{g_m}{g_p} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(B.4)$$

$$C_{we} = \frac{W_{ep}}{W_{em}} = \left(\frac{g_p \times H_p}{g_m \times H_m} \right)^{1/2} \times \left(\frac{B_p}{B_m} \right)^{1/2} \times \left(\frac{\rho_p}{\rho_m} \right)^{1/2} \times \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_p} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(B.5)$$

$$C_{Ro} = \frac{R_{op}}{R_{om}} = \left(\frac{g_p \times H_p}{g_m \times H_m} \right)^{1/2} \times \frac{B_p}{B_m} \times \frac{\gamma_m}{\gamma_p} \dots\dots\dots(B.6)$$

em que

Φ_B é o coeficiente de descarga;

Q_p é o caudal do protótipo, em m³/s;

Z_0 é o número de bocais;

g_p é a aceleração de campo da gravidade da central eléctrica;

g_m é a aceleração em laboratório da gravidade;

H_p é a pressão hidrostática da água do protótipo, em m;

H_m é a pressão hidrostática da água de ensaio do protótipo, em m;

B_p é a largura do balde do protótipo, em m;

B_m é a largura do balde do modelo, em m;

ρ_p é a densidade da água quando o protótipo está a funcionar, em kg/m³;

ρ_m é a densidade da água durante o ensaio, em kg/m³;

σ^*_p é a tensão superficial da água quando o protótipo está em funcionamento, em $J \cdot m^2$;

σ^*_m é a tensão superficial da água durante o ensaio, em $J \cdot m^2$;

γ_p é o coeficiente de viscosidade da água quando o protótipo está a funcionar, em m^2/s ;

γ_m é o coeficiente de viscosidade da água durante o ensaio, em m^2/s .

Quadro B.1 Tensão superficial da água a diferentes temperaturas

Temperatura θ °C	Tensão superficial σ^* J · m ²
5	0,0749
10	0,0742
15	0,0735
20	0,0728
25	0,0720
30	0,0712
35	0,0696

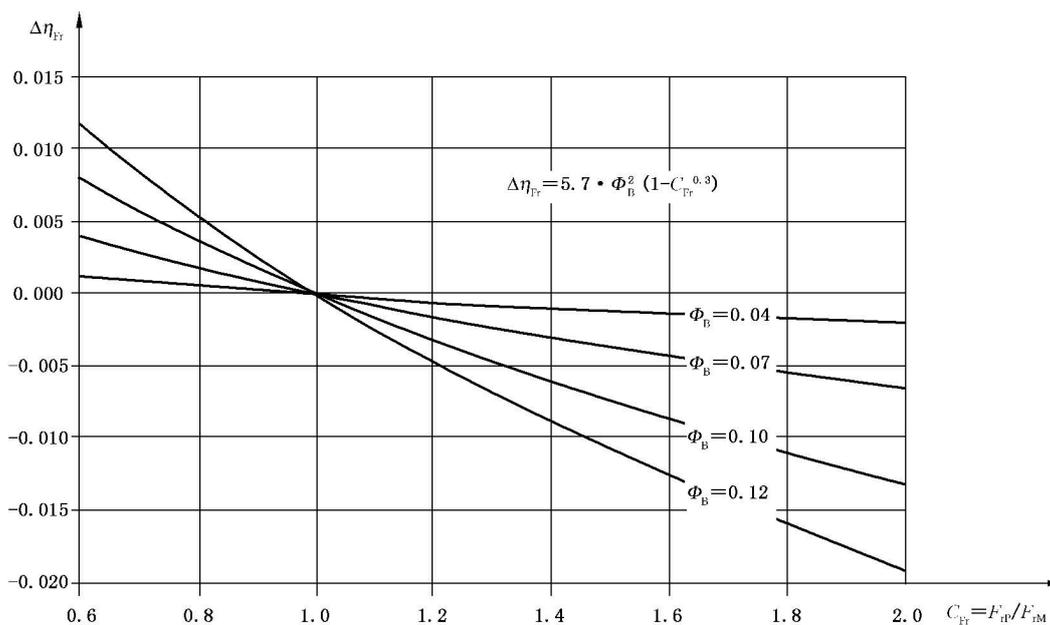


Figura B.1 Efeitos do número de Froude

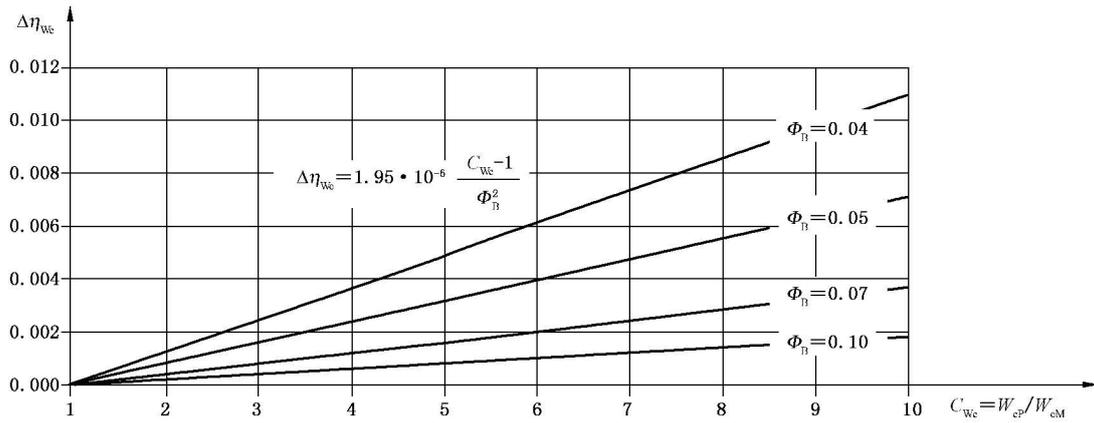


Figura B.2 Efeitos do número de Weber

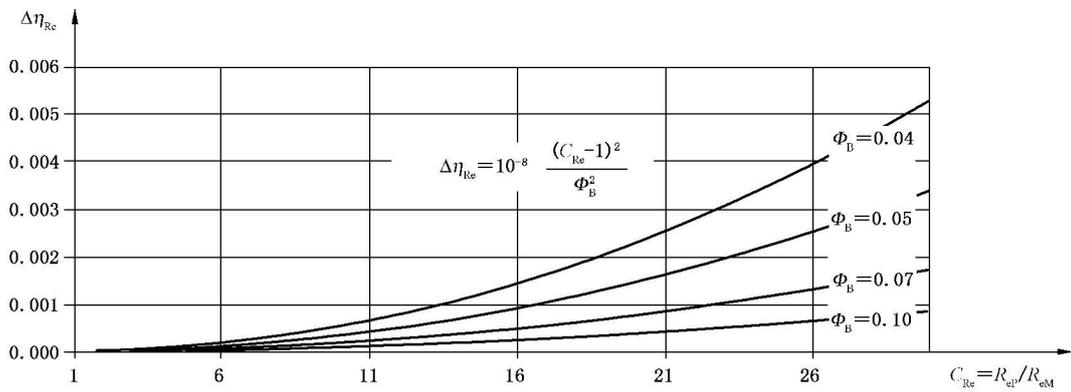


Figura B.3 Efeitos do número de Reynolds

Apêndice C
(Normativo)

Lista de peças sobressalentes da turbina hidráulica

Quadro C.1 Peças sobressalentes da turbina Francis Unidade: conjunto

N.º	Nome da peça sobressalente	Quantidade			Observações
		1-2 unidades	3-4 unidades	Mais de 5 unidades	
1	Casquilhos superiores, médios e inferiores da extremidade do eixo das lâminas-guia	1/2	1	2	
2	Anel vedante das lâminas-guia	Um conjunto por turbina			
3	Lingueta bipartida das lâminas-guia	1/3	1/2	1	
4	Biela de corte das lâminas-guia (pino de ruptura)	1/2	1	2	
5	Casquilhos de ligação da lâmina-guia	1/4	1/2	1	
6	Elemento de estanquidade do vedante de serviço do veio da turbina	Um conjunto por turbina			
7	Elemento de estanquidade do vedante de manutenção do veio da turbina	Um conjunto por turbina			
8	Anel do pistão do servomotor ou elemento de estanquidade do pistão		1	2	
9	Anel vedante para fixação do servomotor	1	1	2	
10	Molas	1	1	2	
11	Bucha do rolamento-guia da turbina	1	1	2	
12	Bucha do rolamento de carga axial			2	Apenas limitados à unidade de tipo horizontal
13	Cepo de freio			2	Apenas limitados à unidade de tipo horizontal

Quadro C.2 Peças sobressalentes da turbina de fluxo axial Unidade: conjunto

N.º	Nome da peça sobressalente	Quantidade			Observações
		1-2 unidades	3-4 unidades	Mais de 5 unidades	
1	Casquilhos superiores, médios e inferiores da extremidade do eixo das lâminas-guia	1/2	1	2	
2	Anel vedante das lâminas-guia	Um conjunto por turbina			
3	Lingueta bipartida das lâminas-guia	1/3	1/2	1	
4	Biela de corte das lâminas-guia (pino de ruptura)	1/2	1	2	
5	Casquilhos de ligação da lâmina-guia	1/4	1/2	1	

Quadro C.2 (continuação) Unidade: conjunto

N.º	Nome da peça sobressalente	Quantidade			Observações
		1-2 unidades	3-4 unidades	Mais de 5 unidades	
6	Elemento de estanquidade do vedante de serviço do veio da turbina	Um conjunto por turbina			
7	Elemento de estanquidade do vedante de manutenção do veio da turbina	Um conjunto por turbina			
8	Anel do pistão do servomotor ou elemento de estanquidade do pistão	1	1	2	
9	Anel vedante para fixação do servomotor	1	1	2	
10	Molas	1	1	2	
11	Vedante das pás da roda	Um conjunto por turbina			
12	Manga do veio do conector fixo	2	2	3	
13	Bucha do rolamento flutuante do conector fixo	2	2	3	

Quadro C.3 Peças sobressalentes da turbina tubular Unidade: conjunto

N.º	Nome da peça sobressalente	Quantidade			Observações
		1-2 unidades	3-4 unidades	Mais de 5 unidades	
1	Casquilhos superiores e inferiores da extremidade do eixo das lâminas-guia	1/2	1	2	
2	Anel vedante da lâminas-guia	Um conjunto por turbina			
3	Lingueta bipartida da lâmina-guia	1/3	1/2	1	
4	Protector da lâmina-guia	1/2	1	2	
5	Casquilhos de ligação da lâmina-guia	1/4	1/2	1	
6	Elemento de estanquidade do vedante de serviço do veio da turbina	Um conjunto por turbina			
7	Elemento de estanquidade do vedante de manutenção do veio da turbina	Um conjunto por turbina			
8	Anel do pistão do servomotor ou elemento de estanquidade do pistão	1 conjunto	1 conjunto	2 conjuntos	
9	Anel vedante para fixação do servomotor	1	1	2	
10	Molas	1	1	2	
11	Anel vedante das pás da roda	Um conjunto por turbina			
12	Manga do veio do conector fixo	2	2	3	
13	Bucha do rolamento flutuante do conector fixo	2	2	3	
14	Bucha do rolamento-guia da turbina	1	1	2	
15	Bucha do rolamento de carga axial	1	1	2	Apenas limitada à unidade da turbina de bolbo

Quadro C.4 Peças sobressalentes da turbina de impulso Unidade: conjunto

N.º	Nome da peça sobressalente	Quantidade			Observações
		1-2 unidades	3-4 unidades	Mais de 5 unidades	
1	Elemento de vedação da haste da agulha	Um conjunto por turbina			
2	Anel de suporte do bocal	Um conjunto por turbina			
3	Manga do veio da haste da agulha	1	2	3	
4	Anel do pistão do servomotor ou elemento de estanquidade do pistão	Um conjunto por turbina			
5	Anel vedante para fixação do servomotor	Um conjunto por turbina			
6	Pá deflectora	1			
7	Bucha do rolamento-guia ou rolamento anti-atrito	1			