

## BOMBAS CENTRÍFUGAS INDUSTRIAIS: uma análise crítica das normas API 610, ASME B73.1 e ISO 5199

Marcelo dos Santos Romualdo

### RESUMO

A referência mundial de requisitos para projeto e desempenho de bombas centrífugas utilizadas no segmento de petróleo e gás é a norma do *American Petroleum Institute*, API 610. Porém, o alto custo de aquisição de uma bomba API, agregado a sua aplicabilidade questionável em determinados serviços, tem levado usuários a avaliarem constantemente o uso desta norma. Paralelo à API 610, existem duas importantes normas consagradas na indústria que são utilizadas na especificação de bombas centrífugas: a ASME B73.1 e a ISO 5199. Estas normas, apesar de não serem tão rígidas em seus requisitos quando comparadas à API 610, têm se mostrado adequadas para certas aplicações. Através de uma análise comparativa entre os principais requisitos das normas e da identificação de critérios para a aplicação bombas não-API, este artigo visa suprir o usuário de informações que o possibilite definir qual a melhor alternativa técnico-econômica para o seu serviço de bombeamento, além de quebrar o paradigma de que toda bomba utilizada no segmento de petróleo e gás deve seguir a API 610.

**Palavras-chave:** Bomba centrífuga. Especificação. API 610.

### 1 INTRODUÇÃO

Há mais de cinquenta anos, a norma API 610, publicada pelo *American Petroleum Institute*, estabelece requisitos para bombas centrífugas utilizadas no segmento de petróleo e gás. O intuito principal desta norma sempre foi minimizar as possibilidades de falhas em equipamentos aplicados em serviços classificados como pesados - altas pressões e/ou temperaturas de bombeamento, líquido contendo sólidos abrasivos, agentes corrosivos e/ou substâncias perigosas. Sendo assim, a norma é extremamente rígida no que tange a projeto, inspeção, testes, registros e documentação técnica. Atualmente, a API 610 está em sua 11ª edição. Composta de requisitos baseados na larga experiência de usuários e fabricantes de bombas centrífugas ao longo de décadas, esta norma se tornou a referência mundial do segmento.

Apesar de ser uma referência, a norma API 610 esbarra no alto custo de aquisição gerado por seus requisitos. É fato que especificar uma bomba conforme API 610 transmite certo conforto ao usuário final, visto que por ser um equipamento mais robusto, pode, por exemplo, suportar os desvios de uma operação ineficaz e os transientes operacionais muitas vezes não previstos no projeto básico. Porém, requerer o atendimento integral à API

610 de forma indiscriminada em um empreendimento deve ser evitado, pois além de a norma não se mostrar tecnicamente aplicável a determinados serviços, este fato onera substancialmente o custo de aquisição dos equipamentos.

Muitos usuários de bombas centrífugas do segmento de petróleo e gás têm buscado alternativas de equipamentos menos onerosos para atender serviços onde, através de critérios preestabelecidos, não seria necessário especificar um equipamento API. Normas como a ASME B73.1 e a ISO 5199, utilizadas em serviços classificados como leves ou médios, de uso geral, têm ganhado espaço em algumas aplicações de menor severidade, como utilidades, tratamento de efluentes e transferência de combustível. Equipamentos “padrão fabricante”, que recebem esta denominação por não serem projetados segundo os requisitos de uma norma específica, também têm sido especificados, principalmente em serviços onde a API 610 não é aplicável, como captação de água, combate a incêndio e bombeamento de borras abrasivas (*slurry*).

Mediante ao exposto, este artigo se propõe realizar uma análise comparativa entre as normas API 610 11ª edição (AMERICAN, 2010), ASME B73.1-2012 (THE AMERICAN, 2013) e ISO 5199 2ª edição (INTERNATIONAL, 2010) - principais normas de projeto e especificação de bombas centrífugas -, expondo seus escopos e principais requisitos, além de ressaltar alguns pontos importantes que devem ser considerados na especificação de equipamentos não-API para o segmento de petróleo e gás. Não é objetivo do

artigo criar um filtro para a especificação de bombas não-API, mas fornecer informações de forma que o usuário possa identificar qual a melhor solução técnico-econômica para a sua aplicação.

## 2 ANÁLISE DAS NORMAS API 610, ASME B73.1 E ISO 5199

Para o usuário de bombas centrífugas é algo desejável conhecer o escopo, os requisitos e as peculiaridades das normas API 610, ASME B73.1 e ISO 5199, visto que, por serem as normas que mais atendem aos serviços encontrados na indústria, são as em que os principais fabricantes se baseiam para desenvolver os seus produtos. É raro um fabricante de bombas centrífugas não dispor, em seu portfólio de produtos, de equipamentos que não sigam pelo menos duas destas normas.

Apesar de não serem normas desenvolvidas para atender o segmento de petróleo e gás, a ASME B73.1 e a ISO 5199 se apresentam como alternativas à API 610 em diversas aplicações. Desta forma, uma análise entre os textos das normas ajudará o usuário a confirmar serviços onde é imprescindível a especificação de uma bomba API e a identificar serviços que podem receber bombas ASME ou ISO sem que comprometa a sua disponibilidade.

### 2.1 NORMA API 610

A API 610 define requisitos para bombas centrífugas dos tipos com rotor em balanço (OH), com rotor entre mancais (BB) e verticais de poço úmido (VS), incluindo bombas que trabalham como turbinas de recuperação de energia hidráulica (HPRT), para uso nas

indústrias de petróleo, petroquímica e gás natural. Seus requisitos são estabelecidos com o intuito de proporcionar uma maior confiabilidade às bombas, o que segue a filosofia do segmento de utilizar equipamentos mais robustos e confiáveis, e que não necessitem de intervenções durante a campanha da unidade. As bombas API 610 são projetadas para um tempo mínimo de funcionamento contínuo de três anos e um ciclo de vida mínimo de vinte anos.

Apesar de o foco da norma ser o segmento de petróleo e gás, recomenda-se restringir a sua aplicação aos serviços pesados como, por exemplo, bombeamento de alguns produtos refinados de petróleo, água de alimentação de caldeira, borra de craqueamento catalítico fluido (FCC) e injeção de água em poços. Um equívoco muito comum na aplicação desta norma é não levar em consideração o tipo de serviço, visto que nem todo serviço inserido no segmento de petróleo e gás é classificado como pesado. A principal razão desta recomendação é o alto custo de aquisição de uma bomba API.

## 2.2 NORMA ASME B73.1

A ASME B73.1 foi criada com o objetivo de estabelecer requisitos para bombas centrífugas horizontais de simples estágio em balanço, *end-suction* e fixação tipo pé (OH1), utilizadas na indústria química. Atualmente esta norma é aceita na indústria em geral, não se limitando somente a processos químicos.

O grande diferencial da ASME B73.1 está em seu requisito de padronização dimensional. É intenção da norma que bombas com uma mesma designação

dimensional sejam intercambiáveis com relação à montagem, tamanho e posição dos bocais de sucção e descarga, dimensões da ponta de eixo e da base metálica, posição e diâmetro dos chumbadores, a fim de garantir uma padronização dimensional entre os fabricantes. Além disso, a norma apresenta a hidráulica aproximada para cada designação dimensional. Este diferencial da norma produz vantagens técnicas e econômicas principalmente no momento da substituição de um equipamento, algo muito comum na indústria química. Por ser uma bomba relativamente simples e de menor custo de aquisição, torna-se geralmente mais interessante substituir o equipamento ao invés de realizar-se reparos ou substituição de grandes partes como carcaça e impelidor. Isto se mostra mais evidente no caso da especificação de bombas não metálicas, atualmente cobertas também por esta norma (antiga ASME B73.5).

É importante ressaltar que a ASME, na intenção de firmar requisitos para os principais tipos de bombas utilizadas na indústria química, desenvolveu a ASME B73.2 para as bombas verticais do tipo *in-line* (THE AMERICAN, 2005) e a ASME B73.3 para as bombas horizontais magnéticas (*sealless pumps*) (THE AMERICAN, 2004). Estas normas possuem requisitos similares à ASME B73.1 no que diz respeito a projeto, inspeção, testes, padronização dimensional etc., e também se apresentam como opções na especificação de bombas não-API para o segmento de petróleo e gás.

## 2.3 NORMA ISO 5199

A ISO 5199 apresenta requisitos aplicáveis a qualquer tipo de bomba centrífuga horizontal, vertical de poço

seco e vertical de poço úmido. Basicamente, possui requisitos do mesmo nível de severidade da ASME B73.1, sendo que a diferença entre os textos está nos tipos de equipamentos abordados e no requisito de padronização dimensional que não existe. Enquanto a norma ASME B73.1 se restringe às bombas horizontais do tipo OH1, a ISO 5199 expande os seus requisitos aos demais tipos de bombas.

Particularmente para as bombas do tipo OH1, a *International Organization for Standardization* (ISO) estabeleceu uma norma de padronização dimensional e de hidráulicas aproximadas, a ISO 2858, com o intuito de atender a indústria química. Cabe ressaltar que a padronização dimensional da ISO 2858 é distinta da padronização da ASME B73.1.

23

#### 2.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS REQUISITOS DAS NORMAS

O Apêndice 1 descreve alguns itens importantes a serem considerados na especificação de uma bomba centrífuga, explicitando como cada norma trata o assunto. O objetivo básico deste apêndice é permitir ao usuário realizar uma comparação entre as normas de forma clara, concisa e objetiva, que o auxilie na definição do tipo de equipamento mais adequado a um determinado serviço.

### 3 IDENTIFICANDO CRITÉRIOS PARA A ESPECIFICAÇÃO DE BOMBAS NÃO-API

Quando se pretende especificar uma bomba não-API para um determinado serviço do segmento de petróleo e gás, principalmente serviços que envolvem o bombeamento de hidrocarbonetos, se quer ter a garantia de que a bomba

especificada será tão confiável quanto uma bomba API. Na grande maioria dos casos isto não é tão simples, pois envolve variáveis que nem sempre se tem como avaliar no momento da especificação do equipamento.

Conhecer as limitações mecânicas do equipamento especificado em relação a um equipamento API é um bom começo. Com isso, é possível estabelecer limites que garantam o funcionamento do equipamento. Por exemplo, uma diferença entre as bombas API e as bombas ASME é o tipo de fixação da bomba na base metálica. Todas as bombas ASME têm montagem tipo pé. Se forem utilizadas em altas temperaturas de bombeamento, a carcaça irá se expandir e se deslocar para cima, em relação ao apoio (pés), gerando altos esforços nos bocais e provocando o desalinhamento do eixo da bomba em relação ao eixo do acionador. Isto pode levar o equipamento a uma falha, como vazamento do selo, quebra do mancal ou até mesmo o rompimento da carcaça. Logo, a montagem tipo pé é um dos motivos de a ASME B73.1 limitar a temperatura de projeto das bombas em 260 °C.

Em contrapartida, as bombas API possuem apoio do tipo linha de centro, que permite a estes equipamentos trabalharem em temperaturas elevadas - limite na ordem de 450 °C. Este tipo de fixação faz com que a carcaça se expanda de forma simétrica em relação à linha de centro do equipamento, transmitindo assim o mínimo de esforço aos bocais e ao eixo, aumentando a confiabilidade da bomba.

Outro exemplo válido de mencionar é quanto à fixação da caixa de vedação à carcaça, em bombas horizontais tipo

OH. Nas bombas ASME, a caixa é fixada na carcaça através do adaptador do mancal, que geralmente é fabricado em ferro fundido. Nas bombas ISO, esta fixação se dá de forma semelhante, visto que o adaptador é integral ao mancal. Este arranjo faz com que estas peças atuem como parte pressurizada da carcaça. Já no projeto de uma bomba API, a caixa de vedação é fixada diretamente na carcaça, e o adaptador do mancal fixado na caixa, fazendo com que este não atue como parte pressurizada. Este tipo de arranjo, apesar de ser mais oneroso, garante uma pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) muito superior quando comparada à PMTA de uma bomba ASME/ISO.

Além das limitações mecânicas do equipamento, conhecer as características do serviço de bombeamento é também algo importante a ser considerado. Mais do que a condição normal de operação em regime permanente, é necessário ter o conhecimento prévio das condições alternativas de operação, possíveis transientes operacionais (e.g. partida, parada e emergência), tipo de controle de capacidade etc., a fim de garantir que a bomba será especificada de forma adequada.

Outro ponto importante a ser ressaltado é quanto a saber identificar serviços que demandam equipamentos desenvolvidos para atenderem a outros segmentos industriais. Na grande maioria dos casos não cabe especificar bomba API para estes serviços, já que a norma não se mostra tecnicamente aplicável. É o caso de bombas verticais utilizadas em bacias de decantação de finos de coque em Unidades de Coqueamento Retardado (UCRs). Devido às características

abrasivas do serviço de bombeamento, o mais adequado é especificar bombas do segmento de mineração, próprias para trabalharem com o bombeamento de borras abrasivas (*slurry*). Outro exemplo são as bombas utilizadas em serviços de captação de água bruta e combate a incêndio, onde o mais adequado é especificar bombas do segmento de tratamento e distribuição de água. Equipamentos deste tipo, apesar de não atenderem a uma norma específica, são desenvolvidos pelos fabricantes com o intuito de serem referências de aplicação nos serviços de bombeamento dos segmentos industriais que visam atender.

### 3.1 CRITÉRIO OBJETIVO: PARÁGRAFO Nº 1 DA API 610 11ª ED.

Uma referência para a especificação de bombas não-API que leva em consideração as limitações mecânicas do equipamento está na própria norma API 610 11ª edição. O Parágrafo 1 da norma diz respeito ao seu escopo, sua área de abrangência. Este parágrafo cita que a experiência industrial tem demonstrado que o investimento em bombas fabricadas conforme API 610 somente é justificado quando o equipamento é especificado para operar em condições que excedam pelo menos um dos parâmetros descritos na Tabela 1. Em outras palavras, segundo a norma, não haveria vantagem técnico-econômica em se especificar uma bomba API para um serviço que não exceda pelo menos um dos parâmetros mencionados.

**Tabela 1** - Limites típicos para bombas que não requerem o atendimento à norma API 610.

PARÂMETRO	LIMITE
Pressão de descarga (manométrica)	1900 kPa
Pressão de sucção (manométrica)	500 kPa
Temperatura de bombeamento	150 °C
Rotação	3600 rpm
Altura manométrica total	120 m
Diâmetro do impelidor, bombas OH	330 mm

Fonte: AMERICAN, 2010, p. 1, adaptado e traduzido pelo autor.

25

Estes limites típicos foram introduzidos na norma a partir da sua 7ª edição de 1989, com o intuito de permitir que os usuários de bombas centrífugas optassem por adquirir equipamentos que não atendessem integralmente à API 610, baseados em serviços de menor severidade, não inflamáveis e não tóxicos. Na edição em vigor (11ª), o parágrafo não faz menção mais às características do serviço (não inflamáveis e não tóxicos).

Comparando-se os valores de pressão de descarga e de altura manométrica total da Tabela 1 em relação às coberturas hidráulicas comerciais dos fornecedores de bombas API (AMERICAN, 2010, item 4.2.2), verifica-se que os seguintes tipos de equipamentos podem ser enquadrados dentro destes limites:

- bombas horizontais de simples estágio em balanço (OH1 e OH2);
- bombas verticais de simples estágio *in-line* (OH3, OH4 e OH5);
- bombas horizontais de simples estágio entre mancais (BB1 e BB2 de simples estágio);
- bombas verticais de poço úmido (VS1 a VS7).

Logo, serviços enquadrados dentro dos limites da Tabela 1, e que, portanto acarretam na seleção destes tipos de bombas, são os indicados para serem avaliados quanto à aplicação de um equipamento não-API, principalmente os que requerem bombas do tipo OH2, BB1 e BB2, por serem, entre os tipos mencionados, os mais comuns encontrados nas unidades da Petrobras.

### 3.2 CRITÉRIO SUBJETIVO: EXPERIÊNCIA OPERACIONAL

Considerar o Parágrafo 1 da API 610 11ª edição como o ponto de partida para a especificação de bombas não-API é importante, mas não é o suficiente. Conforme já mencionado, conhecer o comportamento e as características do serviço de bombeamento é fundamental na hora de se tomar uma decisão. É algo que depende da experiência operacional de cada Unidade, o que se traduz em informações quase sempre subjetivas e que raramente estão disponíveis. Por exemplo, transientes operacionais e a operação fora do ponto de projeto do sistema são eventos muito comuns de ocorrerem. Porém, com que frequência e em que intensidade? Como quantificar e qualificar estes eventos? De que forma

impactarão na bomba instalada? Devido à dificuldade de responder a estas questões, infelizmente, na dúvida, a grande maioria dos usuários opta por especificar a bomba conforme a API 610.

Uma forma de considerar a experiência operacional na definição do tipo de equipamento é através de questões que permitam o usuário examinar de forma crítica o seu serviço de bombeamento. Basicamente estas questões devem levar em consideração parâmetros como custo material (CAPEX), custo operacional (OPEX) e segurança, meio ambiente e saúde (SMS). O Apêndice 2 contém exemplos de questões que podem orientar esta avaliação. Dependendo da criticidade do serviço e de sua experiência particular, o usuário pode adicionar outras questões relevantes ao quadro ou até mesmo estabelecer pesos às questões propostas, o que o ajudará na tomada de decisão.

#### 4 CONCLUSÃO

É importante para o usuário de bombas centrífugas do segmento de petróleo e gás avaliar a aplicabilidade da norma API 610 em alguns serviços de bombeamento, com o intuito de evitar uma especificação inadequada do ponto de vista técnico-econômico. Conhecer os requisitos das normas ASME B73.1 e ISO 5199 é importante, pois são normas consagradas na indústria e se apresentam como opções à API 610, em serviços leves e médios, onde os requisitos de robustez e confiabilidade das normas API podem ser abrandados.

O ponto de partida da avaliação deve ser a própria norma API 610, através dos limites estabelecidos em seu primeiro

parágrafo. Estes limites compõem a consolidação da experiência de usuários e fabricantes de bombas centrífugas ao longo de décadas, e por isso não devem ser ignorados. O segundo passo deve ser uma avaliação do serviço de bombeamento, levando em consideração as suas características e a experiência operacional do usuário.

#### ABSTRACT

*The global reference of requirements for the design and performance of centrifugal pumps used in the oil and gas industry is API 610. However the high cost acquisition of an API pump added its questionable applicability in certain services has led pump users to constantly evaluate the use of this standard. Parallel to API 610 there are two important renowned standards in the industry that are used in the specification of centrifugal pumps: ASME B73.1 and ISO 5199. These standards, although not as rigorous in their requirements when compared to API 610, have been shown suitable for certain applications. Based on a comparative analysis of the main requirements of these standards and the identification of a criteria for non-API pumps application, this work aims to supply the pump user with information that allows him to define the best technical and economical alternative for his pumping service, besides breaking the paradigm that all pumps used in the oil and gas industry should comply with API 610.*

**Keywords:** Centrifugal pump. Specification. API 610.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.  
**ANSI/API Standard 610:** centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries. 11<sup>th</sup>. ed. Washington, D.C., 2010.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B73.1-2012:** specification for horizontal end-suction centrifugal pumps for chemical process. Nova York, 2013.

\_\_\_\_\_. **ASME B73.2-2003:** specification for vertical in-line centrifugal pumps for chemical process. Nova York, 2005.

\_\_\_\_\_. **ASME B73.3-2003:** specification for sealless horizontal end-suction metallic centrifugal pumps for chemical process. Nova York, 2004.

27 D'ALTERIO, G. A. In search of middle ground. **Chemical processing**, Schaumburg, p. 21-23, maio 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2858:** end-suction centrifugal pumps (rating 16 bar): designation, nominal duty point and dimensions. London: BSI, 2010.

\_\_\_\_\_. **ISO 5199:** technical specifications for centrifugal pumps: class II. 2<sup>th</sup>. London: BSI, 2002.

MACKAY, R. C. ANSI VS API: which process pump is the right for your application? **Pumps & Systems**, Birmingham, p. 36-41, mar. 2004.



**APÊNDICE A - Comparação entre os principais requisitos das normas API 610 11ª edição, ASME B73.1-2012 e ISO 5199 2ª edição.**

Item	API 610 11ª ed.	ASME B73.1-2012	ISO 5199 2ª ed.
Segmento	Petróleo, petroquímica e gás natural	Processos químicos	Indústria em geral
Tipo de bomba (construção)	Horizontal e vertical de simples estágio em balanço (OH), horizontal de um, dois ou mais estágios entre mancais (BB) e vertical de poço úmido de um ou mais estágios (VS)	Horizontal de simples estágio em balanço, <i>end-suction</i> e fixação tipo pé (OH1)	Horizontal (OH e BB), vertical de poço seco (OH <i>in-line</i> ) e vertical de poço úmido (VS)
Tempo mínimo de funcionamento contínuo	3 anos	Não especificado	Não especificado
Ciclo de vida	20 anos	Não especificado	Não especificado
Padronização dimensional	Não especificada	Especificada	ISO 2858 para bombas OH1
Limite de temperatura (projeto mecânico)	Não especificado	Até 260 °C	Não especificado
Curva de AMT x Q estável	Preferível. Obrigatória em caso de operação em paralelo	Não especificada	Preferível
Curva de NPSHr	NPSH3 baseado em água limpa. Não permite a correção para hidrocarbonetos	NPSH3 baseado em água limpa (min). Valores menores podem ser acordados (por exemplo, correção para hidrocarboneto).	NPSH3 baseado em água limpa. Não permite a correção para hidrocarbonetos
Região de operação preferida	Entre 70% e 120% do PME	Não especificada	Não especificada
Posição do ponto nominal ( <i>rated</i> ) em relação ao PME	Entre 80% e 110%. Preferencialmente o PME deve estar entre os pontos de operação normal e nominal	Não especificada	Não especificada
Margem de NPSH	Não especificada	No mínimo 0,9 m ou razão de 1,2, o que for maior	No mínimo 0,5 m no ponto onde o NPSHd for mínimo
Velocidade específica de sucção máxima	Não especificada	Não especificada	Não especificada

Item	API 610 11 <sup>a</sup> ed.	ASME B73.1-2012	ISO 5199 2 <sup>a</sup> ed.
Desmontagem	Deve permitir a remoção dos internos sem a movimentação das tubulações de sucção e descarga e do acionador, exceto em bombas do tipo VS e OH6	Deve permitir a remoção dos internos sem a movimentação das tubulações de sucção e descarga e do acionador (exceto motor elétrico C-face)	Deve preferencialmente permitir a remoção dos internos sem a movimentação das tubulações de sucção e descarga, exceto em bombas do tipo VS e BB4
Materiais	Especificados (tabela informativa)	Especificados (tabela informativa)	Não especificados
Pressão máxima de trabalho admissível - PMTA (carcaça, caixa de vedação e sobreposta)	Para bombas BB1 e VS, deve ser conforme, no mínimo, a classe de pressão dos flanges. Demais bombas, no mínimo 40 bar @ 38 °C	Conforme a classe de pressão dos flanges (classe 150 aço carbono, 19,6 bar @ 38 °C)	No mínimo conforme a classe de pressão dos flanges. No caso de bombas ISO 2858 (OH1), a PMTA deve ser, no mínimo, 16 bar @ 20 °C
Sobrespessura de corrosão (carcaça, caixa de vedação e sobreposta)	No mínimo 3,0 mm	No mínimo 3,0 mm	No mínimo 3,0 mm quando requerida pelo comprador
Classe dos flanges de sucção e descarga	No mínimo classe 300, exceto para bombas BB1 e VS	Classe 150	No mínimo classe 150
Forças e momentos nos bocais de sucção e descarga	Especificado conforme Tabela 5 da norma	Especificado conforme ANSI/HI 9.6.2	Especificado conforme Anexo B da norma (informativo)
Suporte da carcaça	Linha de centro. Para bombas BB operando abaixo de 150 °C é permitido o suporte tipo pé	Pé	Linha de centro acima de 175 °C (informativo)
Suporte da caixa de mancais (bombas horizontais OH)	Não permitido	Permitido	Permitido
Configuração dos mancais de rolamentos	Dois mancais radiais e um mancal axial, combinado ou não com um dos mancais radiais. O mancal axial deve ser duplex de uma carreira de esferas de contato angular (série 7000), montados em oposição	Um mancal radial puro e um mancal axial-radial	Não especificada

Item	API 610 11 <sup>a</sup> ed.	ASME B73.1-2012	ISO 5199 2 <sup>a</sup> ed.
Vida dos rolamentos (ISO 281), L <sub>10</sub>	No mínimo 25000 h na condição nominal e 16000 h na condição de máxima carga	No mínimo 17500 h quando operando dentro da região de operação permitida	No mínimo 17500 h quando operando dentro da região de operação permitida
Material da caixa de mancais	Aço, exceto para carcaças em FoFo	Não especificado	Não especificado
Fixação do impelidor	Chavetado	Chavetado ou roscado	Não especificada
Anéis de desgaste	Carcaça e impelidor <sup>[1]</sup>	Não especificados	Não especificados. Fica a cargo do projeto do fabricante
Deflexão máxima do eixo	0,05 mm na face do selo primário, dentro de toda região de operação permitida e com impelidor no diâmetro máximo	0,13 mm na linha de centro do impelidor, dentro de toda região de operação permitida	0,05 mm na face do selo primário, dentro de toda região de operação permitida e com impelidor no diâmetro selecionado
Caixa de vedação	Dimensões padronizadas para suportar selo cartucho API 682	Dimensões padronizadas para selo não cartucho ou gaxetas. Projeto opcional para selo cartucho API 682	Dimensões conforme ISO 3069 <sup>[2]</sup> . O projeto deve permitir o uso de gaxetas ou selo mecânico (cartucho ou não cartucho).
Selo mecânico	Tipo cartucho, conforme API 682 categorias 2 ou 3	Não especificado. Como opção pode ser especificado selo cartucho conforme API 682 categoria 1	Não especificado
Conexões auxiliares da carcaça	Solda de encaixe, solda de topo ou integralmente flangeada <sup>[3]</sup> . A conexão deve sempre terminar em flange.	Roscadas (NPT)	Não especificadas. Toda conexão igual ou superior a 25 mm deve terminar em flange
Tubulações auxiliares	Tubing: 1/2", 3/4" e 1"; piping: sch 80 de 1/2" até 1 1/2". Acima de 1 1/2", sch 40	Tubing: 3/8" a 3/4"; piping: No mínimo sch 40	Mínimo 8 mm de diâmetro interno e 1 mm de parede
Conexão de dreno	Requerida	Caso solicitada	Requerida
Conexão de respiro	Requerida quando aplicável	Não necessária	Requerida quando aplicável
Balanceamento	ISO 1940-1 Gr.2.5	ISO 1940-1 Gr.6.3	ISO 1940-1 Gr.6.3 (min)

Item	API 610 11 <sup>a</sup> ed.	ASME B73.1-2012	ISO 5199 2 <sup>a</sup> ed.
Limite global de vibração	Bombas OH e BB: 3,0 mm/s RMS <sup>[4]</sup> ; bombas VS: 5,0 mm/s RMS <sup>[4]</sup>	Conforme ANSI/HI 9.6.4-2009 <sup>[5]</sup> : Bombas com BkW até 200 kW: 4,8 mm/s fábrica e 3,8 mm/s campo; bombas com BkW acima de 200 kW: 5,6 mm/s fábrica e 4,8 mm/s campo	Bombas horizontais: de 3,0 a 7,1 mm/s RMS dependendo das características do equipamento; bombas verticais: 7,1 mm/s RMS
Acoplamento	Flexível de lâminas de aço inoxidável, com espaçador, conforme AGMA 9000 Classe 9	Não especificado	Não especificado
Guarda acoplamento	Conforme ISO14120, EN953 ou ANSI/AMT B15.1	Não especificado	Conforme ANSI B11.19
Base	Especificada	De acordo com ANSI/HI 1.3	Especificada
Requisitos para acionadores	Especificados	Não especificados	Não especificados
Testes obrigatórios	Hidrostático e desempenho <sup>[6]</sup>	Hidrostático	Não especificados
Testes opcionais mencionados na norma	Funcionamento mecânico, NPSH, conjunto completo, nível de ruído, equipamentos auxiliares e ressonância da caixa de mancais	Desempenho <sup>[6]</sup> e NPSH	Hidrostático, desempenho, NPSH e nível de ruído
Inspeções obrigatórias	ENDs das partes pressurizadas (IV, PM, LP, UT, RX etc.), onde e quando aplicáveis, conforme critério estabelecido na norma	Não especificadas	Não especificadas

Item	API 610 11 <sup>a</sup> ed.	ASME B73.1-2012	ISO 5199 2 <sup>a</sup> ed.
Inspeções opcionais mencionadas na norma	Inspeção de fábrica (visual, dimensional, final etc.), limpeza antes da montagem, desmontagem de mancais hidrodinâmicos após teste de desempenho, dureza (componentes, soldas e ZTAs), PMI em partes pressurizadas e inspeção de materiais (composição química e propriedades mecânicas)	Inspeção final, desmontagem após teste, inspeção visual das conexões soldadas e ENDs dos fundidos em contato com o fluido bombeado	Inspeção final, inspeção visual dos componentes antes da montagem, inspeção visual interna da carcaça e dos anéis após o teste de desempenho, inspeções dimensional e visual do conjunto e inspeção de materiais (composição química, propriedades mecânicas e ENDs)

1. A norma permite para o impelidor a opção do fornecimento de uma superfície de desgaste integrada.
2. Apesar da ISO 3069 disponibilizar dimensões de caixas de vedação para bombas do tipo *end-suction*, esta norma deve ser utilizada também os demais tipos de bombas.
3. Exceto as conexões da sobreposta do selo.
4. Aplicável a bombas com mancais de rolamentos, velocidade de até 3600 rpm e BkW de até 300 kW por estágio, operando dentro da região de operação preferida.
5. Aplicável a bombas com mancais de rolamentos e velocidade acima de 600 rpm, operando dentro da região de operação preferida.
6. Teste de desempenho com medição de vibração e temperatura dos mancais / óleo.

## APÊNDICE B - Exemplos de questões utilizadas na avaliação do serviço de bombeamento.

Questão	Comentário
O projeto do sistema é consagrado, ou seja, o seu comportamento é amplamente conhecido e todas as possíveis condições de operação e transientes operacionais podem ser previstos e avaliados no projeto básico?	Sistemas consagrados permitem uma seleção adequada da bomba e do controle de capacidade, minimizando a probabilidade de o equipamento ter que operar em situações adversas
Existe em alguma unidade operacional da Petrobras equipamento não-API especificado para o mesmo serviço de bombeamento? Qual o histórico de falhas deste equipamento?	A opinião de outros usuários é importante para a especificação de um equipamento não-API
Existe alguma alternativa técnica (manobra) possível de ser realizada que possa substituir temporariamente o serviço de bombeamento?	Sistemas que possuem flexibilidade operacional são mais toleráveis a falhas em seus componentes
Qual o impacto técnico-econômico gerado, caso o serviço de bombeamento deixe de ser realizado?	Sistemas críticos podem colocar em risco a operação de toda a unidade industrial
O sistema dispõe de equipamento reserva?	A existência de um equipamento reserva de certa forma garante a continuidade do serviço de bombeamento
O serviço é contínuo ou intermitente? Se intermitente, qual a frequência de partida/parada?	Serviço intermitente reduz o MTBF da bomba, aumentando a probabilidade da ocorrência de uma falha. Em contrapartida, dependendo da frequência de partida/parada, possibilita a recuperação ou substituição do equipamento sem a interrupção do serviço
O líquido bombeado é perigoso, tóxico ou inflamável?	O vazamento de um produto perigoso, tóxico ou inflamável, provocado por uma falha mecânica qualquer, pode colocar em risco a integridade física dos trabalhadores, seja pela contaminação do ambiente ou pela ocorrência de um incêndio
Qual o tipo de controle de capacidade especificado?	Variação de velocidade, quando aplicável, aumenta o MTBF da bomba, pois faz com que esta sempre opere mais próxima do seu ponto de projeto (PME); Estrangulamento na descarga por válvula de controle submete a bomba a operar afastada do seu ponto de projeto, o que aumenta a probabilidade de ocorrência de uma falha; Controle <i>on-off</i> reduz o MTBF do equipamento.
A vazão requerida pelo sistema é estável, ou seja, varia pouco ao longo da companhia? Caso negativo, com que frequência e qual a faixa?	Sistemas com vazões praticamente constantes diminuem a probabilidade de falha da bomba, principalmente se esta estiver operando perto do seu ponto de projeto (PME)
O sistema de controle é manual ou automático? Se automático, pode ser colocado em manual?	O controle manual depende da intervenção humana, o que aumenta a probabilidade de uma falha

<b>Questão</b>	<b>Comentário</b>
Existe algum dispositivo na descarga da bomba que possa proporcionar um corte instantâneo de vazão?	O corte instantâneo de vazão produz um golpe de aríete no sistema, onde a pressão gerada pode ultrapassar a pressão de projeto da carcaça da bomba
O sistema abastece mais de um destino com condições de operação muito distintas?	Esta situação pode gerar problemas na seleção do equipamento, pois há de se dar preferência para uma das condições de operação (dimensionante) em detrimento das demais. Isto faz com que a bomba, quando em funcionamento, opere em condições desfavoráveis, aumentando a probabilidade de uma falha

**Marcelo dos Santos Romualdo**

Graduação (2002) em Engenharia Mecânica pela UERJ. Mestrado (2011) em Engenharia Mecânica pela COPPE/UFRJ. Petrobras. PRGE/ENG/EETC/EDC - Rio de Janeiro, RJ - E-mail: mromualdo@petrobras.com.br

Como referenciar este artigo:

ROMUALDO, Marcelo dos Santos. Bombas centrífugas industriais: uma análise crítica das normas API 610, ASME B73.1 e ISO 5199. **Rev. Técnica da Universidade Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 4, p. 20-35, jan. 2017. ISSN: 2359-134X.