

**Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior –MDIC**  
**Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro**  
**Portaria nº 74, de 29 de maio de 2001**

O PRESIDENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO, no uso da competência que lhe outorga o parágrafo 3º do artigo 4º, da Lei nº 5.966, de 11 de dezembro de 1973;

Considerando as determinações contidas na Resolução nº 25, de 21 de maio de 1998, do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN;

Considerando a existência, a bordo de veículos automotores, de cilindro para alta pressão, utilizados no armazenamento do gás metano empregado como combustível veicular;

Considerando a evolução tecnológica dos materiais utilizados na fabricação de cilindros mais leves, para armazenamento de gás metano veicular;

Considerando a necessidade de buscar melhorias, com vistas à segurança do consumidor;

Considerando a obrigação do Estado em preservar a vida humana, resolve baixar as seguintes disposições;

Art.1º Aprovar o Regulamento Técnico , em anexo, que estabelece os requisitos mínimos para a produção em série de cilindros leves, recarregáveis, para o armazenamento de gás metano veicular a alta pressão, como combustível automotivo, fixados a bordo de veículos.

Art.2º Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação.

ARMANDO MARIANTE CARVALHO

Presidente do INMETRO

Regulamento Técnico de Cilindros para alta pressão para armazenamento  
de GMV como combustível a bordo de veículos automotores

---

Sumário

---

Prefácio

---

0 Introdução

---

1 Objetivo

---

2 Referência normativa

---

3 Definições

---

4 Condições de serviço

---

5 Certificação e aprovação

---

6 Requisitos de projeto para cilindros tipo GMV-1 – cilindros metálicos

---

7 Requisitos de projeto para cilindros tipo GMV-2 – cilindros envoltos anularmente

---

8 Requisitos de projeto para cilindros tipo GMV-3 – cilindros totalmente envoltos

---

9 Requisitos de projeto para cilindros tipo GMV-4 – cilindros integralmente de material compósito

---

10 Marcações

---

ANEXOS

---

A Métodos e critérios de ensaio

---

B Inspeção ultrassônica

---

C Procedimentos de aprovação e certificação

---

D END para tamanho de defeito

---

E Modelos de relatórios

---

F Ensaio ambiental

---

G Verificação das razões de tensão utilizando medidores de tensão (“strain gauges”)

---

H Instruções do fabricante para manuseio, uso e inspeção dos cilindros

---

Prefácio

---

Este Regulamento é uma tradução para o idioma português da norma ISO 11439 : 2000.

---

0 Introdução

---

Cilindros para armazenamento de GMV como combustível a bordo de veículos automotores devem ser leves e, ao mesmo tempo, devem manter ou superar os níveis de segurança requeridos para outros vasos de pressão. Esses requisitos são alcançados pela:

---

- a) especificando, precisamente e compreensivamente, as condições de serviço como fundamento para o projeto e uso do cilindro;
  - b) usando um método apropriado para determinação da vida/fadiga em relação pressão cíclica e estabelecer os tamanhos permissíveis dos defeitos nos cilindros metálicos e nos selantes metálicos;
  - c) requerendo ensaios de qualificação de projeto;
-

- d) requerendo ensaios não-destrutivos e inspeções para toda produção de cilindros;
- e) requerendo ensaios destrutivos em cilindros e materiais de cilindros pegos de cada lote de cilindro produzido;
- f) requerendo que o fabricante tenha um sistema de qualidade documentado e implantado;
- g) requerendo reinspeções periódicas e, se necessário, reteste de acordo com as instruções do fabricante;
- h) requerendo que os fabricantes especifiquem como parte de seus projetos, a vida

Projetos de cilindros que contém os requerimentos deste Regulamento:

- a) terão a vida a fadiga superior a vida útil especificada;
- b) quando falharem na ciclagem de pressão, devem vazar e não romper;
- c) quando submetidos a ensaio hidráulico de ruptura, devem ter fatores de “tensão na pressão de ruptura” acima “tensão na pressão de serviço” que excedem os valores especificados para o tipo de projeto e materiais utilizados;

Proprietários ou usuários de cilindros projetados segundo as prescrições deste Regulamento devem atentar que o cilindro foi elaborado para que tenha uma operação segura se usado de acordo com as condições especificadas para serviço e para apenas a finita vida útil especificada. A data de validade deve ser marcada em cada cilindro e é de responsabilidade dos proprietários e usuários garantir que o cilindro não será usado a partir daquela data, e que eles são inspecionados de acordo com as instruções do fabricante.

## 1 Objetivo

Este Regulamento estabelece os requisitos mínimos para a produção em série de cilindros leves, recarregáveis, para armazenamento de Gás Metano Veicular a alta pressão, como combustível automotivo, fixados a bordo de veículos. As condições de serviço não subentendem carregamentos ou esforços extras, como os que poderiam advir de colisões entre veículos.

Este Regulamento abrange cilindros de qualquer aço, alumínio ou materiais de construção não metálicos, utilizando qualquer projeto ou método de fabricação próprio às especificadas condições de serviço. Este Regulamento não abrange cilindros de aço inoxidável ou que empreguem solda em sua fabricação, os cilindros cobertos por este Regulamento são designados da seguinte forma:

GMV-1 - cilindros de material metálico

GMV-2 - cilindros com selante metálico, revestidos apenas anularmente, na sua seção cilíndrica, com filamentos contínuos impregnados de resina, bobinados helicoidalmente e circunferencialmente;

GMV-3 - cilindros com selante metálico, revestidos em toda sua superfície, com filamentos contínuos impregnados de resina, bobinados helicoidalmente e circunferencialmente;

GMV-4 - cilindros fabricados à base de filamentos contínuos impregnados de resina com selante não-metálico (inteiramente de compósito)

Nota 1: GMV refere-se a Gás Metano Veicular.

Nota 2: Cilindros projetados de acordo com ISO 9809-1, ISO 9809-2, ISO 9809-3 e ISO 7866 podem ser usados para este serviço desde que seus projetos atendam os requisitos adicionais especificados neste Regulamento.

## 2 Referências

ISO 148: 1983, Steel – Charpy impact test (V-notch);

ISO 306: 1994, Plastics – Thermoplastic materials - Determination of Vicat Softening Temperature (VST);

ISO 527-2: 1993, Plastics – Determination of tensile properties – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics (incorporating Technical Corrigendum 1:1994);

ISO 2808:1997, Paints and varnishes – Determination of film thickness;

ISO 4624<sup>(1)</sup>: - Paints and varnishes – Pull-off test for adhesion;

ISO 6506-1 : 1999, Metallic materials – Hardness test – Brinell test;

ISO 6892 : 1998, Metallic materials – Tensile testing at ambient temperature;

ISO 7225, Precautionary Labels for Gas Cylinders;

ISO 7866 : 1999, Gas cylinders – Refillable seamless aluminium alloy gas cylinders – Design, construction and testing;

ISO 9227:1990, Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests;

ISO 9712 : 1999, Non-destructive testing – Qualification and certification of personnel;

ISO 9809-1:1999, Gas cylinders-Refillable seamless steel gas cylinders-Design, construction and testing-Part 1: Quenched and tempered steel cylinders with tensile strength less than 1100 MPa;

ISO 9809-2:2000, Gas cylinders-Refillable seamless steel gas cylinders-Design, construction and testing-Part 2: Quenched and tempered steel cylinders with tensile strength greater than or equal to 1100 MPa;

ISO 9809-3:2000, Gas cylinders-Refillable seamless steel gas cylinders-Design, construction and testing-Part 3: Normalized steel cylinders;

ISO 14130:1997, Fiber-reinforced plastic composites – Determination of apparent interlaminar shear strength by short-beam method;

ASTM D522-93a, Standard Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings;

ASTM D1308-87 (1998), Standard Test Method for Effect of Household Chemicals on Clear and Pigmented Organic Finishes;

ASTM D2794-93 (1999) e1, Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact);

ASTM D3170-87 (1996) e1, Standard Test Method for Chipping Resistance of Coatings;

ASTM D3418-99, Standard Test Method for Transition Temperatures of Polymers by Differential Scanning Calorimetry

---

Nota <sup>(1)</sup> A ser publicada (revisão da ISO 4624:1978)

ASTM G154-00, Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for Exposure of Non-metallic Materials;

NACE TM0177-96 <sup>(2)</sup>, Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in H<sub>2</sub>S Environments.

### 3 Definições

- 3.1 autoridade de Inspeção autorizada: autoridade de Inspeção competente, aprovada ou reconhecida pela autoridade reguladora do país de utilização deste Regulamento, para a supervisão da construção e ensaios dos cilindros.
- 3.2 auto-interferência: pressão que solicita o selante do cilindro além de seu ponto de escoamento, de forma a causar uma deformação plástica permanente que provoque tensões de compressão quando a pressão interna for zero, quando da fabricação de cilindros compostos de fibra sobre um selante.
- Nota: Isto resulta em tensões de compressão no selante e tensões trativas nas fibras, a pressão interna nula.
- 3.3 pressão de auto-interferência: pressão no interior do envoltório do selante para que se estabeleça a necessária distribuição de tensões entre o selante e o envoltório de fibra.
- 3.4 lote (de cilindros de compósito): grupo de não mais que 200 cilindros mais os cilindros para os ensaios destrutivos ou, se for maior, um período de produção sucessivo de cilindros, produzidos em

- seqüência a partir de tubos qualificados que tenham as mesmas dimensões, projeto, materiais de construção especificados e processos de fabricação.
- 3.5 lote (de cilindros/selantes metálicos): Grupo de não mais que 200 cilindros/selantes mais os cilindros/selantes para os ensaios destrutivos ou, se for maior, um período de produção sucessivo de cilindros, produzidos em seqüência, tendo os mesmos: diâmetro nominal, espessura de parede, projeto, material de construção específico, processo e equipamento de fabricação, tratamento térmico e condições de tempo, temperatura e condições ambiente durante o tratamento térmico.
- 3.6 lote (de selantes não-metálicos): Grupo de não mais que 200 selantes mais os selantes para os ensaios destrutivos ou, se for maior, um período de produção sucessivo de cilindros, produzidos em seqüência a partir de tubos qualificados que tenham os mesmos diâmetros nominais, espessura de parede, projeto, materiais de construção especificados e processos de fabricação.
- 3.7 pressão de ruptura: pressão máxima alcançada por um cilindro durante um ensaio de ruptura.
- 3.8 cilindro de compósito: cilindro fabricado com filamentos contínuos impregnados com resina, sobre um selante metálico ou não metálico.
- 3.9 bobinamento de tensão controlada: Processo utilizado na fabricação de cilindros de compósito com selante metálico, revestidos apenas anularmente na sua seção cilíndrica, pelo qual, tensões compressivas no selante e tensões trativas nos filamentos de reforço, à pressão interna nula são obtidas pelo bobinamento dos filamentos de reforço sob alta solicitação de tensão.
- 3.10 pressão de enchimento: pressão com a qual um cilindro é enchido
- 3.11 cilindro acabado: cilindro completo, pronto para uso, típico de produção normal, com marcação de identificação e revestimento superficial, incluindo isolamento integral especificado pelo fabricante mas sem isolamento parcial ou proteção.
- 3.12 cilindro totalmente envolto (GMV-3): Cilindro de selante metálico totalmente envolto por filamentos de reforço enrolados tanto circunferencialmente quanto na direção longitudinal.
- 3.13 temperatura do gás: temperatura do gás no cilindro.
- 3.14 Cilindro envolto anularmente (GMV-2): Cilindro envolto com filamentos de reforço bobinados numa substancial área da parte cilíndrica do selante metálico, de tal forma que o filamento não exerça nenhuma carga significativa na direção paralela ao eixo longitudinal do cilindro.
- 3.15 Selante: Reservatório utilizado como selante, câmara interna, onde são enrolados filamentos de reforço de fibra para que o conjunto alcance a necessária resistência, especialmente à pressão interna.
- 3.16 fabricante: pessoa ou organização responsável pelo projeto, fabricação e Ensaio dos cilindros.
- 3.18 envoltório: Conjunto de filamentos e resina aplicados sobre o selante metálico.
- 3.19 pré-tensão: Processo de aplicação de auto interferência ou bobinamento com tensão controlada.

---

Nota <sup>(2)</sup> As normas NACE podem ser conseguidas junto à NACE Internacional, CP218340. Houston, Texas 77218-8340, EUA.

- 3.20 vida útil: vida, em anos, durante a qual o cilindro pode ser utilizado com segurança, de acordo com as condições de serviço padrão.
- 3.21 pressão estabilizada: pressão do gás, quando uma dada temperatura estável for alcançada.
- 3.22 temperatura estável: temperatura uniforme do gás, após o término de qualquer variação de temperatura causada pelo enchimento do cilindro.
- 3.23 pressão de ensaio: pressão requerida sob a pressão de teste.
- 3.24 pressão de serviço: pressão estabilizada em 200 bar a uma temperatura uniforme de 15 °C.
- 4 Condições de serviço
- 4.1 Geral



#### 4.1.1 Condições padrão de serviço

As condições padrão de serviço especificadas provêm as bases mínimas necessárias para o projeto, fabricação, Inspeção, ensaios e aprovação dos cilindros a serem montados permanentemente nos veículos e usados para armazenar GMV à temperatura ambiente para ser usado como combustível .

#### 4.1.2 Uso dos cilindros

As condições padrão explicitam como os cilindros objeto deste Regulamento podem ser usados, de forma segura, por:

- a) fabricantes de cilindros;
- b) proprietários de cilindros;
- c) projetistas ou contratantes responsáveis pela instalação dos cilindros;
- d) projetistas ou proprietários de equipamentos usados para reabastecimento de cilindros;
- e) fornecedores de GMV;
- f) órgãos governamentais que tenham jurisdição sobre a regulamentação do uso destes cilindros.

#### 4.1.3 Vida útil em serviço

A vida útil em serviço, durante a qual o cilindro pode ser usado com segurança, deve ser especificada pelo fabricante com base nas condições de serviço aqui especificadas. A máxima vida útil em serviço admitida é de 20 anos.

Para cilindro de material metálico e cilindro de compósito com selante metálico, a vida útil de serviço deve ser baseada na taxa de crescimento de trincas de fadiga. A Inspeção por ultra-som, ou equivalente, de cada cilindro ou selante metálico deve garantir a ausência de defeitos que excedam o tamanho máximo admissível. Esta abordagem permite a otimização do projeto e fabricação de cilindros leves para GMV.

Para cilindros com selante não metálico sem pré tensão a vida útil em serviço deve ser demonstrada de projetos apropriados, ensaio de qualificação de projetos e controles de fabricação.

#### 4.2 Pressão máxima permitida

Este Regulamento está fundamentada numa pressão de serviço de 200 bar a uma temperatura estabilizada de 15 °C para GMV com pressão máxima de enchimento de 260 bar. Outras pressões de serviço podem adaptar-se pelo ajuste da pressão pelo fator apropriado, por exemplo, sistemas de pressão de 250 bar irão requerer que as pressões sejam multiplicadas por 1,25.

Exceto quando as pressões houverem sido ajustadas dessa maneira, os cilindros devem ser projetados para adequarem-se aos seguintes limites de pressão:

- a) pressão estabilizada a 200 bar a uma temperatura estável de 15 °C;
- b) pressão máxima não pode exceder 260 bar, independentemente das condições de enchimento ou da temperatura.

#### 4.3 Número de enchimentos, segundo projeto do cilindro

Os cilindros devem ser projetados para serem enchidos, a pressão estabilizada até 200 bar e temperatura de 15 °C, até 1.000 vezes por ano de serviço.

#### 4.4 Faixas de temperaturas admissíveis

##### 4.4.1 Temperatura do gás

Os cilindros devem ser projetados para adequar-se aos seguintes limites de temperatura do gás:

- a) temperatura estabilizada do gás nos cilindros, que pode variar de -40 °C a +65 °C;
- a) temperatura do gás alcançada durante o enchimento e descarga, pode variar além desses limites.

##### 4.4.2 Temperaturas dos cilindro

Os cilindros devem ser projetados para adequarem-se aos seguintes limites de temperatura dos materiais:

a ) temperatura dos materiais do cilindro pode variar de -40°C a 82°C;

b) temperaturas acima de 65°C devem ser localizadas ou existir por curto período de tempo, de sorte que a temperatura do gás no cilindro não ultrapasse 65°C, exceto quando sob as condições de 4.4.1 b).

#### 4.5 Composição do gás

##### 4.5.1 Geral

Os cilindros devem ser projetados para serem encheidos com GMV que atenda às especificações, tanto de gás seco ou gás úmido, indicados a seguir. Metanol ou glycol não devem ser deliberadamente adicionados ao GMV.

##### 4.5.2 Gás seco

O vapor d'água deve ser limitado a menos de 32 mg/m<sup>3</sup> (isto é, ponto de orvalho de -9 °C a 200 bar).

Os componentes limites, máximos, devem ser de:

Sulfeto de hidrogênio e outros sulfetos solúveis	23 mg/m <sup>3</sup>
Oxigênio	1% (fração volumétrica)
Hidrogênio, quando os cilindros forem fabricados com aço cuja máxima tensão de tração exceda 950Mpa	2%(fração volumétrica)

##### 4.5.3 Gás úmido

Este gás caracteriza-se por ter uma concentração de água maior que a do gás seco.

Os componentes limites, máximos devem ser de:

Sulfeto de Hidrogênio e outros sulfetos solúveis	23mg/m <sup>3</sup>
Oxigênio	1% (fração volumétrica)
Dióxido de Carbono	4% (fração volumétrica)
Hidrogênio	0,1% (fração volumétrica)

#### 4.6 Superfícies externas dos cilindros

Os cilindros não são necessariamente projetados para exposição contínua a ataque químico ou mecânico como, por exemplo, escoamentos de carga do veículo ou abrasão excessiva devido às condições do piso das ruas; entretanto deve-se prever que as superfícies dos cilindros podem, inadvertidamente, ser expostas às seguintes condições, de acordo com a instalação que houver sido levada a efeito segundo as instruções providas juntamente com o cilindro:

- a) água , tanto por imersão intermitente ou por borrifo da estrada;
- b) sal, devido à operação do veículo em zona litorânea ou em lugares em que é usado para dissolver o gelo;
- c) radiação ultravioleta da luz solar;
- d) impacto de cascalho;
- e) solventes, ácidos e álcalis, fertilizantes;
- f) fluidos automotivos, incluindo gasolina, diesel, fluidos hidráulicos, ácido de bateria, glycol e óleos;
- h) gases de exaustão

### 5 Aprovação e certificação

#### 5.1 Ensaio e inspeções

Afim de assegurar que os cilindros estão em conformidade com este Regulamento, eles devem ser submetidos à aprovação do projeto de acordo com 5.2 e inspeções e ensaios de acordo com 6, 7, 8 ou 9 , conforme o projeto. Isto deve ser levado a efeito por uma autoridade de Inspeção autorizada (daqui para a frente denominado como "o Inspetor"). O Inspetor deve ser qualificado para Inspeção de cilindros.

Os procedimentos de ensaio estão detalhados nos Anexos A e B. Um exemplo aceitável de procedimento de aprovação e certificação está descrito no Anexo C.

#### 5.2 Procedimento de aprovação de tipo

##### 5.2.1 Geral

A aprovação de tipo compõe-se de duas partes:

- a) aprovação de projeto, compreendendo a submissão da informação do fabricante para o Inspetor, como detalhado em 5.2.2;
- b) ensaio de protótipo, compreendendo ensaio executado sob a supervisão do Inspetor. O material, projeto, fabricação e exames do cilindro devem provar sua adequação para o serviço pretendido devendo atender os requisitos dos ensaios de protótipo especificados em 6.5, 7.5, 8.5 ou 9.5, como apropriado ao particular projeto do cilindro.

Os dados de ensaio devem documentar as dimensões , espessuras de parede e pesos de cada cilindro.

##### 5.2.2 Aprovação do projeto

Os projetos de cilindro devem ser aprovados pelo Inspetor. As informações a seguir devem ser submetidas à aprovação do Inspetor pelo fabricante, através de uma requisição:

- a) declaração de características do serviço, de acordo com 5.2.3;
- b) dados de projeto, de acordo com 5.2.4;
- c) dados de fabricação, de acordo com 5.2.5;
- d) sistema da qualidade, de acordo com 5.2.6;
- e) comportamento de fraturas e tamanho de defeito para END, de acordo com 5.2.7;
- f) folha de especificações, de acordo com 5.2.8;
- g) dados adicionais complementares, de acordo com 5.2.9.

### 5.2.3 Declaração de características de serviço

A finalidade desta “declaração de características de serviço” é orientar os usuários e instaladores de cilindros, bem como prover informações ao Inspetor. A declaração deve conter:

- a) declaração de que o projeto do cilindro é propício ao uso nas condições de serviço definidas no item 4 para a sua vida útil de serviço;
- b) declaração da vida útil de serviço;
- c) especificações dos requisitos mínimos para ensaios e/ou inspeções durante o serviço;
- d) especificações dos dispositivos de alívio de pressão e isolamento (desde que provido);
- e) especificações de métodos complementares, revestimento de proteção e qualquer outro item requerido mas não fornecido.
- f) descrição do projeto do cilindro;
- g) qualquer outra informação e instruções necessárias a assegurar o uso correto e Inspeção do cilindro.

### 5.2.4 Dados de projeto

#### 5.2.4.1 Desenhos

Os desenhos devem conter no mínimo:

- a) título, número de referência, data de execução e números das revisões com data de execução, se aplicável;
- b) referência a este Regulamento e tipo de cilindro;
- c) dimensões completas com tolerâncias, incluindo detalhes da forma de fechamento das extremidades com espessuras mínimas e aberturas;
- d) massa do cilindro com as devidas tolerâncias;
- e) especificações dos materiais, com as mínimas tolerâncias mecânicas e propriedades químicas ou faixas de tolerância e, para cilindros ou selantes metálicos, a faixa especificada de dureza;
- f) outros dados como, faixa de pressão de auto-interferência, mínima pressão de ensaio, detalhes do sistema de proteção contra fogo e qualquer revestimento de proteção externa.

#### 5.2.4.2 Relatório de análise de tensões

Deve ser realizado um estudo de tensões por elementos finitos ou outro tipo de análise de tensões.

Deve conter uma tabela sintetizando as tensões calculadas

#### 5.2.4.3 Dados sobre as propriedades dos materiais

Uma descrição detalhada dos materiais e as tolerâncias das propriedades dos materiais utilizados no projeto deve ser fornecida. Dados sobre os ensaios também devem ser apresentados caracterizando as propriedades mecânicas e a adequação dos materiais para os serviços nas condições especificadas no item 4.

#### 5.2.4.4 Proteção contra fogo

O arranjo dos dispositivos de alívio de pressão, e isolamento (se fornecido), que protegerá o cilindro de rupturas repentinas quando exposto a situações de fogo, como em A.15, devem ser especificados. Dados de ensaios devem consubstanciar a eficácia dos especificados sistemas de proteção a incêndio.

### 5.2.5 Dados de fabricação

Detalhes de todos os processos de fabricação, ensaios não-destrutivos, ensaios de produção e ensaios de lote devem ser fornecidos.

As tolerâncias de todos os processos de produção como o tratamento térmico, conformação

das extremidades, razão de mistura das resinas, tensão dos filamentos e a velocidade para bobinamento com tensão controlada, tempos e temperaturas de transição vítrea, assim como os procedimentos de auto-interferência, devem ser especificados.

Acabamento superficial, detalhes das roscas, critérios de aceitação de varredura ultrassônica (ou equivalente) e tamanhos máximos de lotes para ensaios também devem ser especificados.

#### 5.2.6 Programa de controle de qualidade

O fabricante deve especificar os métodos e procedimentos em conformidade com o sistema de garantia de qualidade aceitável pelo Inspetor e que devem estar conformes a qualquer regulamento do país onde o cilindro deve ser utilizado.

#### 5.2.7 Desempenho de fratura e tamanho de defeito para END

O fabricante deve especificar o máximo tamanho de defeito para END que irá assegurar uma performance da fratura do tipo VAC e irá prevenir falhas no cilindro devido à fadiga durante a vida útil em serviço ou falha do cilindro por ruptura.

O tamanho máximo de defeito deve ser estabelecido por método apropriado ao projeto, um exemplo é apresentado no Anexo D.

#### 5.2.8 Folha de especificações

Um resumo dos documentos que contenham as informações requeridas em 5.2.2 devem ser listadas numa folha de especificações para cada projeto de cilindro. O título, número de referência, números das revisões e datas da emissão original, além de outras versões de cada documento, devem ser fornecidas. Todos os documentos devem ser assinados pelo emissor

#### 5.2.9 Dados adicionais de apoio

Dados adicionais que podem defender a utilização, como um histórico do trabalho do material proposto para a utilização ou o uso de um projeto particular de cilindro em outras condições de serviço, devem ser fornecidos, onde aplicável.

### 5.3 Certificado de aprovação de tipo

Se os resultados da aprovação do projeto, de acordo com 5.2, e os ensaios de protótipo, de acordo com 6.5, 7.5, 8.5 ou 9.5, como for condizente a cada projeto particular de cilindro, forem satisfatórios, o Inspetor deve emitir um certificado de aprovação de tipo. Um exemplo é apresentado no Anexo E.

## 6 Requisitos de projeto para cilindros tipo GMV-1

### 6.1 Geral

Este Regulamento não provê fórmulas de projeto nem lista tensões ou deformações admissíveis mas requer que a adequação do projeto seja estabelecida por cálculos apropriados e demonstrado por ensaios que os cilindros sejam capazes de atender consistentemente às especificações de projeto, materiais, produção e ensaios de lotes especificados neste Regulamento.

O projeto deve assegurar um modo de falha tipo “escoamento-antes-do-colaço” (VAC) sob condições realistas de redução da pressão, em condições normais de trabalho. Se ocorrer algum escoamento através do cilindro, deve advir somente do crescimento de alguma falha por fadiga.

### 6.2 Materiais

#### 6.2.1 Requisitos gerais

Os materiais utilizados devem ser próprios para as condições de serviço especificadas no item 4. O projeto não deve admitir contato entre materiais incompatíveis.

#### 6.2.2 Verificação da composição química

##### 6.2.2.1 Aços devem ser acalmados ao alumínio e/ou silício e produzidos predominantemente com fina granulometria. A composição química do aço deve ser declarada e definida pelo menos

por:

- a) conteúdo de carbono, manganês, alumínio e silício em todos os casos;
- b) conteúdo de cromo, níquel, molibdênio, boro e vanádio e qualquer outro elemento de liga intencionalmente adicionado;
- c) enxofre e fósforo contidos na análise da corrida não devem exceder os valores indicados na Tabela 1;

TABELA 1 - Limites máximos de enxofre e fósforo

Tensão de tração	< 950 MPa	≥ 950 MPa
Nível de enxofre	0,020%	0,010%
Nível de fósforo	0,020%	0,020%
Nível de enxofre + fósforo	0,030%	0,025%

#### 6.2.2.2 Alumínio

Ligas de alumínio podem ser utilizadas na produção de cilindros desde que atendam todos os requisitos deste Regulamento e tenham, no máximo, quantidades de chumbo e bismuto que não excedam 0,003%.

Nota: Uma relação de ligas registradas é mantida pela Aluminum Association Inc intitulada Resistration of International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wroght Aluminum Alloys.

### 6.3 Requisitos de projeto

#### 6.3.1 Pressão de ensaio

A mínima pressão de ensaio, na fabricação, deve ser de 300 bar (1,5 vezes a pressão de serviço).

#### 6.3.2 Pressão de Ruptura

A pressão mínima efetiva não deve ser menor que 450 bar.

#### 6.3.3 Análise de tensões

As tensões nos cilindros devem ser calculadas para 200 bar, pressão de ensaio e pressão de ruptura de projeto. Os cálculos devem utilizar técnicas de análises convenientes para estabelecer a distribuição das tensões para justificar o projeto da espessura mínima da parede.

#### 6.3.4 Tamanho máximo de defeito

O tamanho máximo da falha em qualquer área do cilindro tal que o cilindro alcance os requisitos de pressão cíclica e de VAC, deve ser especificado.

O tamanho de defeito admitido para END pode ser determinado por método apropriado, como mencionado no Anexo D.

#### 6.3.5 Aberturas

Aberturas somente são permitidas na parte superior do cilindro. A linha de centro das aberturas deve coincidir com a do eixo longitudinal do cilindro.

#### 6.3.6 Proteção contra fogo

O cilindro, de acordo com seu projeto, deve contar com dispositivos de alívio de pressão (DAP). O cilindro, seus materiais, DAP's e qualquer isolamento ou material de proteção devem ser projetados conjuntamente para garantir a adequada segurança nas condições de fogo, no ensaio especificado em A.15. O fabricante pode especificar locais alternativos de DAP's em instalações especiais no veículo para otimizar esquemas de segurança.

Os dispositivos de segurança devem ser aprovados de acordo com as normas aceitáveis pelo Inspetor.

#### 6.3.7 Acessórios

Quando são fixados colarinhos, sapatas ou suporte, devem ser de material compatível com o cilindro, devendo ser seguramente fixado por outro método que não solda no corpo do próprio cilindro.

### 6.4 Construção e mão-de-obra

#### 6.4.1 Conformação das extremidades

Cada cilindro deve ser examinado antes da operação da conformação das extremidades, quanto a espessura e acabamento superficial. A extremidade da base do cilindro de alumínio não deve ser fechada pelo processo de conformação. A extremidade da base do cilindro de aço que teve seu fechamento por conformação deve passar por ensaio não destrutivo ou equivalente. Não deve ser adicionado metal no fechamento da extremidade.

#### 6.4.2 Tratamento térmico

Depois da conformação das extremidades, os cilindros devem sofrer tratamento térmico até a faixa de dureza especificada conforme o projeto. Tratamento térmico localizado não deve

ser realizado.

#### 6.4.3 Roscas no pescoço

As roscas devem ter bom acabamento, sem superfícies descontínuas, e devem estar em conformidade com as normas aceitas pelo Inspetor.

#### 6.4.4 Proteção ao meio externo

A parte externa dos cilindros deve atender aos requisitos do ensaio de ambientação em ácido de acordo com A.14. A proteção externa deve ser alcançada por uma das seguintes formas:

- a) dando acabamento superficial para uma adequada proteção (por ex.: pulverização de metal, anodização); ou
- b) usando revestimento de proteção (por ex.: proteção orgânica, pintura). Se o revestimento externo for exigência de projeto, o requisito de A.9 deve ser atendido; ou
- c) revestimento impermeável à solução química mencionada em A.14.

Qualquer revestimento aplicado aos cilindros deve ser tal que seu processo de aplicação não prejudique as propriedades mecânicas do cilindro. O revestimento deve ser projetado para facilitar subsequente Inspeção em serviço e o fabricante deve prover instruções referentes a aplicação do revestimento durante essas inspeções para assegurar a integridade do cilindro.

Os fabricantes devem ter conhecimento que o ensaio de desempenho ambiental que avalia a adequação do revestimento deve ser conduzido conforme apresentado no Anexo F.

### 6.5 Procedimento de ensaios de protótipos

#### 6.5.1 Requisitos gerais

Ensaio de protótipos devem ser realizados em cada novo projeto em cilindros acabados que sejam representativos de produção normal e com as devidas marcações. Os cilindros devem ser selecionados e seus ensaios, realizados de acordo com 6.5.2, testemunhados pelo Inspetor. Se forem testadas mais unidades do que as requeridas por este Regulamento, todos os resultados devem ser documentados.

#### 6.5.2 Ensaio de protótipos

##### 6.5.2.1 Ensaio requeridos

No processo de aprovação dos tipos, o Inspetor deve selecionar os apropriados cilindros e testemunhar os seguintes ensaios:

- ensaio especificados em 6.5.2.2 ou 6.5.2.3 (ensaio de materiais) em 01 cilindro;
- ensaio especificados em 6.5.2.4 (ensaio de pressão hidrostática de ruptura) 03 cilindros;
- ensaio especificados em 6.5.2.5 (ensaio de pressão cíclica à temperatura ambiente) em 02 cilindros;
- ensaio especificado em 6.5.2.6 (ensaio de VAC) em 03 cilindros;
- ensaio especificado em 6.5.2.7 (ensaio de fogo) em 01 ou 02 cilindros, como apropriado;
- ensaio especificado em 6.5.2.8 (ensaio de penetração) em 01 cilindro.

##### 6.5.2.2 Ensaio de materiais para cilindros de aço

Os ensaios de material devem ser executados em cilindros de aço acabado, segundo segue:

###### a) Ensaio de tração

As propriedades mecânicas do aço, no cilindro acabado, devem ser determinadas em conformidade com A.1 e atender os requisitos lá especificados.

###### b) Ensaio de impacto

As propriedades de impacto do aço, no cilindro acabado, devem ser determinadas em

conformidade com A.2 e atender aos requisitos lá especificados.

c) Ensaio de resistência a corrosão sob tensão induzida por sulfetos

Se o limite superior da sollicitação de tração especificada para o aço exceder 950 MPa, o aço de um cilindro acabado deve ser submetido a um Ensaio de resistência a corrosão sob tensão induzida por sulfetos em conformidade com A.3 e atender aos requisitos lá especificados.

#### 6.5.2.3 Ensaio de materiais para cilindros de liga de alumínio

Os ensaios de material devem ser executados em cilindros de ligas de alumínio, segundo segue:

a) Ensaio de tração

As propriedades das ligas de alumínio no cilindro acabado devem ser determinadas em conformidade com A.1 e atender aos requisitos lá especificados.

b) Ensaio de corrosão

Ligas de alumínio devem atender aos requisitos dos ensaios de corrosão em conformidade com A.4.

a) Ensaios de "Sustained-load-cracking Resistance"

Ligas de alumínio devem atender aos requisitos dos ensaios de fendas por carga sustentada em conformidade com A.5.

#### 6.5.2.4 Ensaio de pressão hidrostática de ruptura

Três (03) cilindros devem ser hidrostaticamente pressurizados até o colapso, em conformidade com A.12. A pressão de ruptura deve exceder a mínima pressão de ruptura calculada pela análise de tensão, definidas no projeto e deve ser de pelo menos 450 bar.

#### 6.5.2.5 Ensaio de pressurização cíclica a temperatura ambiente

Dois (02) Cilindros devem ser pressurizados ciclicamente à temperatura ambiente de acordo com A.13 até falhar, ou até o mínimo de 45.000 ciclos. Os cilindros não podem falhar antes de atingirem o período de vida, em anos, multiplicado por 1.000 ciclos. Cilindros que excederem o período de vida, em anos, multiplicado por 1.000 ciclos devem vazar, e não romper. Cilindros que não falharem quando atingir 45.000 ciclos devem ser destruídos; seja por continuar sendo ciclados até que a falha ocorra, seja por pressurização hidrostática até sua ruptura. O número de ciclos até a falha e o local que a mesma se iniciou devem ser registrados.

#### 6.5.2.6 Ensaio de escoamento-antes-do-colapso (VAC)

O ensaio de (VAC) deve ser realizado em conformidade com A.6 e deve atender os requisitos lá especificados.

#### 6.5.2.7 Ensaio de fogueira

Um (01) ou dois (02) cilindros, como apropriado, deve(m) ser ensaiado(s) em conformidade com A.15 e deve(m) atender os requisitos lá especificados.

#### 6.5.2.8 Ensaio de penetração

Um (01) cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.16 e atender os requisitos lá especificados.

#### 6.5.3 Modificações de projeto

Uma modificação de projeto é qualquer mudança na seleção de materiais estruturais ou modificação de dimensionamento não atribuídas às tolerâncias normais de fabricação.

Modificações menores de projeto podem ser permitidas para qualificação através de um programa reduzido de ensaios. Modificações especificadas no projeto conforme a tabela 2, necessitam somente dos ensaios de protótipo, como indicado tabela 2.

TABELA 2 - Modificações de projeto para os cilindros tipo GMV-1

Modificação do Projeto	Tipo de ensaio				
	Ruptura	Cíclico a Temperatura Ambiente	VAC	Fogueira	Penetração
	Item				
	A.12	A.13	A.6	A.15	A.16
Mat. Metálico	X	X	X	X	X
Mudanças de Diâmetro $\leq 20\%$	X	X	-	-	-
Mudanças de Diâmetro $>20\%$	X	X	X	X	X
Mudança de Comprimento $\leq 50\%$	X	-	-	X <sup>(a)</sup>	-
Mudança de Comprimento $>50\%$	X	X	-	X <sup>(a)</sup>	-
Mudança de Pressão de serviço $\leq 20\%$ <sup>(b)</sup>	X	X	-	-	-
Forma da calota	X	X	-	-	-
Tamanho da abertura	X	X	-	-	-
Mudança no Processo de Fabricação	X	X	-	-	-
Dispositivo de alívio de pressão	-	-	-	X	-

(a) Ensaio somente apropriado quando do aumento do comprimento.

(b) Somente quando a mudança de espessura for proporcional ao diâmetro e/ou à mudança de pressão.

#### 6.6 Ensaios de lote

##### 6.6.1 Requisitos gerais

Ensaio de lote devem ser realizados em cilindros acabados, representativos da produção normal e que estejam com as devidas marcações. Os cilindros requisitados para ensaios devem ser escolhidos aleatoriamente em cada lote de produção. Se mais cilindros que os requisitados por este Regulamento forem submetidos aos ensaios, todos os resultados devem ficar registrados. Amostra testemunha de tratamento térmico representativa de cilindros acabados também pode ser utilizada.

Cilindros qualificados em conformidade com ISO 9809-1, ISO 9809-2, ISO 9809-3 ou ISO 7866 não precisam ser submetidos ao ensaio de pressão cíclica periódica, sempre que durante o seu ensaio de aprovação de tipo os cilindros que suportarem, sem falhar, a pressão cíclica de não mais que 20 bar e não menos que 300 bar (em conformidade com o procedimento de ensaios de A.6), por no mínimo de 15000 ciclos; ou por um mínimo de 30.000 ciclos de pressão de não mais que 20 bar e não menos que 260 bar (de acordo com o procedimento A.13).

##### 6.6.2 Ensaios requeridos

6.6.2.1 Em cada lote de cilindros devem, no mínimo, ser realizados os seguintes ensaios:

a) Em um cilindro:

- Um ensaio de ruptura hidráulica, em conformidade com A.12.

b) Em um cilindro complementar, ou amostra testemunha tratada térmicamente, representativa de um cilindro acabado:

1) Verificação das dimensões críticas em relação ao projeto (ver 5.2.4.1);

2) Um ensaio de tração em conformidade com A.1. Os resultados do ensaio devem satisfazer os requisitos do projeto (ver 5.2.4.1);

3) Para cilindros de aço, três ensaios de impacto de acordo com A.2. Os resultados do ensaio devem satisfazer os requisitos especificados em A.2.

4) Quando um revestimento de proteção for parte do projeto, um ensaio de revestimento de acordo com A.24. Quando o revestimento não atender os requisitos de A.24, o lote deve ser inspecionado em 100% das unidades para que sejam retirados cilindros com defeitos de revestimento similares. O revestimento em todos os cilindros revestidos defeituosamente deve ser retirado e re-aplicado. O ensaio de revestimento deve então ser repetido.

Todos os cilindros representados por um ensaio de lote que falhou em atender os requisitos especificados devem seguir os procedimentos especificados em 6.9.

6.6.2.2 Também deve ser realizado um ensaio de pressão cíclica periódico em cilindros acabados, de acordo com A.13 numa frequência de ensaio como definido a seguir:

a) Inicialmente, um cilindro de cada lote deve ser pressurizado ciclicamente por um total de 1.000 vezes a vida útil de serviço especificada em anos, com um mínimo de 15.000 ciclos;

b) Se em 10 lotes de produção seqüenciais de uma família de projeto (materiais e processos similares, segundo definição de modificações menores de projeto, como definido em 6.5.3), nenhum dos cilindros pressurizados ciclicamente, como em (a) acima, romper ou vaziar antes de 1.500 ciclos vezes a vida útil, em anos, (no mínimo 22.500 ciclos), então o ensaio de pressão cíclica pode ser reduzido a um cilindro cada 5 lotes de produção;

c) Se em 10 lotes de produção seqüenciais de uma família de projeto, nenhum dos cilindros pressurizados ciclicamente, como em (a) acima, romper ou vaziar antes de 2.000 ciclos vezes a vida útil, em anos, (no mínimo 30.000 ciclos), então o ensaio de pressão cíclica pode ser reduzido a um cilindro cada 10 lotes de produção;

d) Se mais de três meses se passarem desde o último ensaio de pressão cíclica, então um cilindro do próximo lote de produção deve ser ensaiado à pressão cíclica, a fim de manter a reduzida frequência de ensaios de lotes de (b) e (c) acima.

e) Se qualquer cilindro ensaiado à pressão cíclica, em frequência reduzida, em (a) ou (b) acima, não alcançar o requerido número de ciclos de pressão (mínimo de 22.500 ou 30.000, respectivamente), então é apropriado repetir a frequência de ensaios de pressão cíclica em (a) para um mínimo de 10 lotes de produção para restabelecer a reduzida frequência de ensaios de pressão cíclica em (b) ou (c) acima.

Se qualquer cilindro, em (a), (b) ou (c) acima, não atender os requisitos do número mínimo de ciclos de vida de 1.000 ciclos vezes a vida útil de serviço, em anos, especificada (mínimo 15.000 ciclos), então a causa da falha deve ser determinada e corrigida seguindo os procedimentos de 6.9. O ensaio de pressão cíclica deve ser então repetido em três cilindros de cada lote. Se qualquer dos três cilindros adicionais não atender os requisitos da pressão cíclica de 1.000 ciclos vezes a vida útil de serviço, em anos, especificada então todo o lote deve ser rejeitado.

6.7 Ensaio em cada cilindro

Verificação de produção e ensaios devem ser realizados em todos os cilindros de um lote. Inspeções não destrutivas devem ser realizadas de acordo com as normas aceitas pelo Inspetor. Cada cilindro deve ser examinado durante a fabricação e após sua complementação, como segue:

- a) Por END, de acordo com Anexo B ou método equivalente, demonstrado para verificar que o tamanho máximo de defeito especificado no projeto, como determinado em 6.3.4. O método de END deve ser capaz de detectar o tamanho máximo admitido;
- b) Verificação das dimensões críticas e massa do cilindro completo, para que estejam dentro das tolerâncias do projeto;
- c) Verificação da conformidade com o acabamento superficial especificado, com atenção especial às dobras no pescoço ou ombro das extremidades ou aberturas;
- d) Verificação da marcação;
- e) Por ensaios de dureza de cilindros tratados térmicamente, de acordo com A.8. Os valores então determinados devem estar em conformidade com a faixa especificada no projeto;
- f) Por ensaios hidráulicos em cilindros acabados, em conformidade com A.11. Se for escolhida a opção 1, o fabricante deve estabelecer o adequado limite de expansão volumétrica permanente para a pressão de ensaio utilizada mas em nenhum caso, esta deve exceder os 10% da expansão volumétrica total medida durante o ensaio de pressão.

## 6.8 Certificado de aceitação de lote

Se os resultados dos ensaios de lote, de acordo com 6.6 e 6.7, forem satisfatórios, o fabricante e o Inspetor devem assinar um certificado de aceitação. Um exemplo de certificado de aceitação (denominado como "Relatório de Fabricação e Certificado de Conformidade") é apresentado no Anexo E.

## 6.9 Falha em alcançar os requisitos

Se os requisitos não forem atendidos, devem ser feitos novos ensaios ou tratamentos térmicos, e subseqüentes ensaios, para a concordância do Inspetor, como segue:

a) Se houver evidência de falhas na realização do ensaio, ou erros de medição, outro ensaio deve ser realizado. Se o resultado for satisfatório, o primeiro deve ser ignorado;

b) Caso o ensaio tenha sido realizado de maneira satisfatória, a causa da falha deve ser identificada.

c) Se a falha for considerada como sendo de responsabilidade do tratamento térmico, o fabricante pode sujeitar todos os cilindros envolvidos em outro tratamento térmico, ou seja, se a falha for num ensaio que represente o protótipo ou cilindros de lote, a falha do ensaio demandará o novo tratamento térmico de todos os cilindros anteriores ao novo ensaio; todavia, se a falha ocorrer esporadicamente num ensaio aplicado em cada cilindro, então somente os cilindros que falharem no ensaio devem ser novamente tratados térmicamente e re-ensaiados.

- A espessura mínima de parede deve sempre ser garantida após o retratamento térmico

- Somente protótipos relevantes ou ensaios de lote que precisarem provar a aceitabilidade do novo lote devem ser re-ensaiados. Se um ou mais ensaios demonstrarem, mesmo parcialmente, que não são satisfatórios, todos os cilindros do lote devem ser rejeitados.

2) Se a falha for considerada como não sendo de responsabilidade do tratamento térmico, todos os cilindros defeituosos devem ou ser rejeitados ou reparados por método aprovado. Deve ser providenciado que todos os cilindros reparados passem pelos ensaios requeridos para o reparo e então podem ser re-utilizados como parte do lote original.

## 7 Requisitos de projeto para cilindros envoltos anularmente - tipo GMV-2

### 7.1 Geral

Este Regulamento não provê fórmulas de projeto nem tensões admissíveis mas requer que a adequação do projeto seja estabelecida por cálculos apropriados e demonstrados por cilindros que sejam capazes de atender às especificações de projeto, materiais, produção e Ensaios de lotes especificados neste Regulamento

Durante a pressurização, este tipo de cilindro comporta-se de tal forma que o deslocamento do material plástico do envoltório e do selante metálico estão sobrepostos linearmente. Tendo em vista as diferentes técnicas de fabricação, este Regulamento não define um método específico de projeto.

O projeto deve assegurar um modo de falha tipo "escoamento-antes-do-colapso" (VAC) sob possíveis condições de falha de uma seção sob pressão, em condições normais de trabalho. Se ocorrer algum escoamento através do selante metálico, deve advir somente do incremento de alguma falha por fadiga.

### 7.2 Materiais

#### 7.2.1 Requisitos gerais

Os materiais utilizados devem ser próprios para as condições de serviço especificadas na item 8. O projeto não deve admitir que materiais incompatíveis entrem em contato.

#### 7.2.2 Verificação da composição química

##### 7.2.2.1 Aço

1

Devem ser aços acalmados ao alumínio e/ou silício e produzidos, predominantemente com fina granulometria. A composição química do aço deve ser declarada e definida pelo menos

por:

- a) conteúdo de carbono, manganês, alumínio e silício em todos os casos;
- b) conteúdo de cromo, níquel, molibdênio, boro e vanádio e qualquer outro elemento liga intencionalmente adicionado.

O enxofre e fósforo contidos na análise da corrida não devem exceder os valores mostrados na tabela 3:

TABELA 3 - Limites máximos de enxofre e fósforo

Tensão de tração	< 950 MPa	≥ 950 MPa
Limite de enxofre	0,020%	0,010%
Limite de fósforo	0,020%	0,020%
Limite de enxofre + fósforo	0,030%	0,025%

#### 7.2.2.2 Alumínio

Ligas de alumínio podem ser utilizadas na produção de cilindros desde que atendam todos os requisitos deste Regulamento e tenham, no máximo, quantidades de chumbo e bismuto que não excedam 0,003%

Nota: Uma listagem das ligas registradas é mantida pela Aluminium Association Inc. com o título de Registration Record off International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminium and Wrought Aluminium Alloys.

#### 7.2.3 Compósitos

##### 7.2.3.1 Resinas

O material para impregnação pode ser termofixo ou resinas termoplásticas. Exemplos de materiais-matrizes são epoxi, epoxi modificado, plásticos termofixos (poliéster e viniléster) e materiais termoplásticos (polietileno e poliamida).

A temperatura de transição vítrea da resina deve ser determinada de acordo com a ASTM D3418-99.

##### 7.2.3.2 Fibras

O material estrutural de reforço (filamentos) deve ser de fibra-de-vidro, fibra de aramida ou fibra de carbono. Se for usada a fibra de carbono, o projeto deve conter meios de prevenir a corrosão galvânica dos componentes metálicos do cilindro.

O fabricante deve guardar em arquivo as especificações publicadas dos materiais compostos, as recomendações do fabricante para armazenamento, condições de armazenamento e a certificação de material de cada carregamento está conforme as mencionadas requisições de especificações. O fabricante da fibra deve certificar que as propriedades do material estão em conformidade com as especificações do fabricante para o produto.

#### 7.3 Requisitos de projeto

##### 7.3.1 Pressão de ensaio

A mínima pressão de ensaio, na fabricação, deve ser de 300 bar (1,5 vezes a pressão de serviço).

##### 7.3.2 Pressão de ruptura e razão de tensão da fibra

O selante metálico deve suportar uma pressão mínima efetiva de ruptura de 260 bar.

A pressão mínima efetiva de ruptura não pode ser inferior aos valores dados na tabela 4. O envoltório composto deve ser projetado para alta confiabilidade sob cargas contínuas e cargas cíclicas. Esta confiabilidade deve ser obtida pelo atendimento ou superação dos valores de razão de tensão do reforço de material composto dados na mencionada tabela. A razão de tensão é definida como a tensão na fibra à pressão mínima de ruptura especificada dividida pela tensão na fibra à pressão de serviço.

A razão de ruptura é definida como a efetiva pressão de ruptura do cilindro dividida pela pressão de serviço.

O cálculo da razão de tensão deve conter:

a) método de cálculo com capacidade de análise de utilização para materiais não-lineares (programa de análise por elementos finitos ou programa de computador para finalidades específicas);

b) modelagem correta da curva de tensão-deformação elástico-plástica para o selante do cilindro, que deve ser conhecida;

c) modelagem das propriedades mecânicas dos materiais do composto;

d) cálculos à pressão de auto-interferência, pressão nula depois do auto-interferência, pressão de serviço e pressão mínima de ruptura;

e) registro da pré-tensão da tração de bobinamento;

f) a mínima pressão de ruptura escolhida de tal forma que a tensão calculada à mínima pressão de ruptura dividida pela tensão calculada à pressão de serviço atenda os requisitos de razão de tensão

para a fibra utilizada;

g) quando da análise de cilindros com reforço híbrido (dois ou mais tipos de fibras), deve ser considerada a carga distribuída entre as diferentes fibras, com base nos diferentes módulos de elasticidade das fibras. Os requisitos da razão de tensão para cada tipo individual de fibra deve estar de acordo com os valores da tabela 4.

A verificação da razão de tensão também pode ser verificada utilizando-se "strain-gauges". Um método aceito está indicado no Anexo G.

TABELA 4 - valores mínimos efetivos de ruptura e razão de tensões para os cilindros de tipo GMV-2

Tipo de fibra	Razão de tensão	Pressão de ruptura (bar)
Vidro	2,75	500 (a)
Aramida	2,35	470
Carbono	2,35	470
Híbrida	(b)	(b)
(a) Pressão mínima efetiva de ruptura. Como complemento, cálculos devem ser realizados de acordo com 7.3.2 para confirmar que os requisitos mínimos de razão de tensão foram alcançados.		
(b) Razão de tensão e pressão de ruptura devem ser calculados de acordo com 7.3.2 .		

### 7.3.3 Análise de tensões

As tensões no composto e no selante metálico após o pré-tensionamento devem ser calculadas nas pressões de 0 bar; 200 bar; pressão de ensaio e pressão de ruptura de projeto. Os cálculos devem utilizar técnicas de análises convenientes levando em conta o comportamento não-linear do material do selante metálico para estabelecer a distribuição de tensões.

Para projetos que utilizam a auto-interferência para prover a pré-tensão, os limites dentro dos quais a pressão de auto-interferência deve cair devem ser calculados e especificados. Para projetos que utilizam tensões de bobinamento controladas para prover o pré-tensionamento, devem ser calculadas a temperatura na qual isto é conseguido, a tensão necessária em cada camada de composto e o conseqüente pré-tensionamento no selante metálico.

### 7.3.4 Tamanho máximo da falha

O tamanho máximo de uma falha em qualquer área do selante metálico, tal que o cilindro alcance os requisitos de pressão cíclica e de VAC, deve ser especificado. O método de END deve ser capaz de detectar o tamanho máximo da falha admitido.

O tamanho de defeito admitido para END deve ser determinado por método apropriado, como por exemplo o Anexo D.

### 7.3.5 Aberturas

Aberturas somente são permitidas na parte superior do cilindro. A linha de centro do furo deve coincidir com a do eixo longitudinal do cilindro.

### 7.3.6 Proteção contra fogo

O cilindro, de acordo com seu projeto, deve contar com dispositivos de alívio de pressão (DAP). O cilindro, seus materiais, DAP's e qualquer isolamento ou material de proteção devem ser projetados conjuntamente para garantir a adequada segurança nas condições de fogo, no ensaio especificado em A.15. O fabricante pode especificar locais alternativos de DAP em instalações especiais no veículo para otimizar esquemas de segurança. Os dispositivos de segurança devem ser aprovados de acordo com as normas aceitáveis pelo Inspetor.

## 7.4 Construção e mão-de-obra

### 7.4.1 Geral

O cilindro de material composto deve ser fabricado a partir de um selante metálico envolto por filamentos contínuos. As operações de bobinamento dos filamentos de fibra devem ser controlados mecanicamente ou por computador. As fibras devem ser aplicadas sob tensões controladas durante o bobinamento. Terminado o bobinamento, as resinas termofixas devem sofrer processo de transição vítrea por calor usando um pré-determinado e controlado perfil de tempo-temperatura.

### 7.4.2 Selante metálico

A fabricação do selante metálico deve atender os requisitos dos itens 7.2; 7.3.2 e também 7.5.2.2 ou 7.5.2.3 para o adequado tipo de fabricação do selante .

### 7.4.3 Roscas no pescoço

As roscas devem ter bom acabamento, sem superfícies descontínuas, e devem estar em conformidade com as normas aceitas pelo Inspetor.

### 7.4.4 Bobinamento

#### 7.4.4.1 Bobinamento da fibra

Os cilindros devem ser fabricados segundo uma técnica de bobinamento de fibra. Durante o bobinamento as variáveis significativas devem ser monitoradas dentro das tolerâncias especificadas e documentadas em registros de bobinamento. Essas variáveis devem incluir, mas não estar limitadas a:

- a) tipo da fibra, incluindo o dimensionamento;
- b) tipo de impregnação;
- c) tensão de bobinamento;
- d) velocidade de bobinamento;
- e) número de voltas;
- f) largura da faixa;
- g) tipo de resina e composição;
- h) temperatura da resina;
- i) temperatura do selante;
- j) ângulo de bobinamento;

#### 7.4.4.2 Transição vítrea da resina termofixa

Se forem usadas resinas termofixas, elas devem ser transição vítreadas antes do bobinamento do filamento. Durante a transição vítrea, seu ciclo (histórico tempo-temperatura) deve ser documentado.

Os máximos tempos de transição vítrea e temperatura para cilindros com selantes de ligas de alumínio devem ser menores que os tempos e temperaturas que possam afetar negativamente as propriedades do metal.

#### 7.4.4.3 Auto-interferência

Se for usado o processo de auto-interferência este deve ser levado a efeito antes do ensaio de pressão hidrostática. A pressão de auto-interferência deve ficar dentro dos limites estabelecidos em 7.3.3 e o fabricante deve estabelecer o método de verificação da pressão apropriada.

#### 7.4.5 Proteção ao meio externo

A parte externa dos cilindros deve atender aos requisitos do ensaio em solução ácida de acordo com A.14. A proteção externa deve ser conseguida da seguinte forma:

- a) dando acabamento superficial para uma adequada proteção (por ex., metalização, anodização) ou
- b) utilizando a fibra adequada e a matriz do material (por ex. fibra de carbono na resina) ou
- c) usando revestimento de proteção (por ex. proteção orgânica, pintura). Se o revestimento externo for exigência de projeto o requisito de A.9 deve ser atendido; ou
- d) revestimento impermeável à solução ácida mencionada em A.14

Qualquer revestimento aplicado aos cilindros deve ser tal que seu processo de aplicação não prejudique as propriedades mecânicas do cilindro. O revestimento deve ser projetado para facilitar subseqüente Inspeção em serviço e o fabricante deve prover instruções referentes a aplicação do revestimento durante essas inspeções para assegurar a integridade do cilindro.

Os fabricantes devem ter conhecimento que o ensaio de desempenho ambiental que avalia a adequação do revestimento deve ser conduzido conforme apresentado no Anexo F.

### 7.5 Procedimento de ensaios de protótipos

#### 7.5.1 Requisitos gerais

Ensaio de protótipos devem ser realizados em cada novo projeto em cilindros acabados que sejam representativos de produção normal e com as devidas marcações. Os cilindros ou selantes metálicos devem ser selecionados e seus Ensaio, realizados de acordo com 7.5.2, testemunhados pelo Inspetor. Se forem testadas mais unidades do que as requeridas por este Regulamento, todos os resultados devem ser documentados.

#### 7.5.2 Ensaio de protótipos

##### 7.5.2.1 Ensaio requeridos

No processo de aprovação dos tipos, o Inspetor deve selecionar os apropriados cilindros ou selantes metálicos e testemunhar os seguintes ensaios:

- ensaios especificados em 7.5.2.2 ou 7.5.2.3 (ensaios de materiais) em 01 selante;
- ensaios especificados em 7.5.2.4 (ensaio de pressão hidrostática de ruptura) em 01 selante e 03 cilindros;
- ensaios especificados em 7.5.2.5 (ensaio de pressão cíclica à temperatura ambiente) em 02 cilindros;
- ensaio especificado em 7.5.2.6 (ensaio de VAC) em 03 cilindros;
- ensaio especificado em 7.5.2.7 (ensaio de fogo) em 01 ou 02 cilindros, como apropriado;
- ensaio especificado em 7.5.2.8 (ensaio de penetração) em 01 cilindro;
- ensaio especificado em 7.5.2.9 (ensaio em ambiente ácido) em 01 cilindro;
- ensaio especificado em 7.5.2.10 (ensaio de tolerância de falha) 01 cilindro
- ensaio especificado em 7.5.2.11 (ensaio de deformação por alta temperatura), onde apropriado, em 01 cilindro;
- ensaio especificado em 7.5.2.12 (ensaio de ruptura por solicitação acelerada) em 01 cilindro;
- ensaio especificado em 7.5.2.13 (ensaio de pressão cíclica em temperatura extrema) em 01 cilindro;
- ensaio especificado em 7.5.2.14 (ensaio de tensão de cisalhamento da resina) em uma amostra representativa da camada envoltória de resina.

#### 7.5.2.2 Ensaio de materiais para selantes de aço

Os ensaios de material devem ser executados em selantes de aço, segundo segue:

##### a) Ensaio de tração

As propriedades do aço num selante acabado devem ser determinadas em conformidade com A.1 e atender os requisitos lá especificados.

##### b) Ensaio de impacto

As propriedades de impacto do aço num selante de aço acabado devem ser determinadas em conformidade com A.2 e atender aos requisitos lá especificados.

##### c) Ensaio de resistência a corrosão sob tensão induzida por sulfeto

Se o limite superior da solicitação de tração especificada para o aço exceder 950 MPa, o aço de um cilindro acabado deve ser submetido a um ensaio de resistência a corrosão sob tensão induzida por sulfeto em conformidade com A.3 e atender aos requisitos lá especificados.

#### 7.5.2.3 Ensaio de materiais para selantes de ligas de alumínio

Os ensaios de material devem ser executados em selantes de ligas de alumínio, segundo segue:

##### a) Ensaio de tração

As propriedades das ligas de alumínio num selante acabado devem ser determinadas em conformidade com A.1 e atender aos requisitos lá especificados.

##### b) Ensaio de corrosão

Ligas de alumínio devem atender aos requisitos dos ensaios de corrosão em conformidade com A.4.

##### b) Ensaios "Sustained-load-cracking Resistance"

Ligas de alumínio devem atender aos requisitos dos ensaios "Sustained-load-cracking Resistance" em conformidade com A.5.

#### 7.5.2.4 Ensaio de pressão hidrostática de ruptura

a) Um selante deve ser hidrosticamente pressurizado até o colapso, em conformidade com A.12. A pressão de ruptura deve exceder a mínima pressão de ruptura especificada no projeto do selante;

c) Três cilindros devem ser hidrostáticamente pressurizados até o colapso, em conformidade com A.12. A pressão de ruptura do cilindro deve exceder a mínima pressão de ruptura calculada pela análise de tensões do projeto, em conformidade com a tabela 4 e em nenhum caso deve ser menor que os valores apropriados para atender os requisitos da razão de tensões de 7.3.2.

#### 7.5.2.5 Ensaio de pressão cíclica à temperatura ambiente

Dois (02) Cilindros devem ser pressurizados ciclicamente à temperatura ambiente de acordo com A.13 até falhar, ou até o mínimo de 45.000 ciclos. Os cilindros não podem falhar antes de atingirem o período de vida, em anos, multiplicado por 1.000 ciclos. Cilindros que excederem o período de vida, em anos, multiplicado por 1.000 ciclos devem vaziar, e não romper. Cilindros que não falharem quando atingir 45.000 ciclos devem ser destruídos; seja por continuar sendo ciclados até que a falha ocorra, seja por pressurização hidrostática até sua ruptura. O número de ciclos até a falha e o local que a mesma se iniciou devem ser registrados.

#### 7.5.2.6 Ensaio de escoamento-antes-do-colapso (VAC)

O ensaio de (VAC) deve ser realizado em conformidade com A.6 e deve atender os requisitos lá especificados.

#### 7.5.2.7 Ensaio de fogueira

Um ou dois cilindros, como apropriado, deve(m) ser ensaiados em conformidade com A.15 e deve(m) atender os requisitos lá especificados.

#### 7.5.2.8 Ensaio de penetração

Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.16 e deve atender os requisitos lá especificados.

#### 7.5.2.9 Ensaio em ambiente ácido

Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.14 e deve atender os requisitos lá especificados.

Um ensaio ambiental opcional é apresentado no Anexo F.

#### 7.5.2.10 Ensaio de tolerância a falhas

Material da resina deve ser ensaiado em conformidade com A.17 e deve atender os requisitos lá especificados.

#### 7.5.2.11 Ensaio de Fluência a Alta Temperatura (fluência)

Em projetos em que a temperatura de transição do vidro na resina não exceda os 102 °C, um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.18 e deve atender os requisitos lá especificados.

#### 7.5.2.12 Ensaio de ruptura por solicitação acelerada

Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.19 e deve atender os requisitos lá especificados.

#### 7.5.2.13 Ensaio de pressão cíclica em temperatura extrema

Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.7 e deve atender os requisitos lá especificados.

#### 7.5.2.14 Ensaio de tensão de cisalhamento da resina

A resina deve ser ensaiada em conformidade com A.26 e deve atender os requisitos lá especificados.

#### 7.5.3 Modificações de projeto

Uma modificação de projeto é toda mudança na seleção de materiais estruturais ou modificação de dimensionamento não atribuídas às tolerâncias normais de fabricação.

Modificações menores de projeto podem ser permitidas para qualificação através de um programa reduzido de ensaios. Modificações de projeto especificadas na tabela 5 necessitam somente dos ensaios de protótipo, como indicado na tabela 5.

TABELA 5 - Modificações de projeto para os cilindros tipo GMV-2

Mudanças de Projeto	Tipo de Ensaio							
	Ruptura Hidrostática	Cíclico a temperatura ambiente	Fogueira	Penetração	Ambiental	Tolerância à defeitos	Fluência a alta temperatura	Ruptura acelerada
	Item							
	A.12	A.13	A.15	A.16	A.14	A.17	A.18	A.19
Fabricação da fibra	X	X	-	-	-	-	X	X
Material metálico do selante	X	X	X	X	X	X	X	X
Material da fibra	X	X	X	X	X	X	X	X
Material da resina	-	-	-	X	X	X	X	X
Mudanças de diâmetro $\leq 20\%$	X	X	-	-	-	-	-	-
Mudanças de diâmetro $>20\%$	X	X	X	X	-	X	-	-
Mudanças de comprimento $\leq 50\%$	X	-	X <sup>(a)</sup>	-	-	-	-	-
Mudanças de comprimento $>50\%$	X	X	X <sup>(a)</sup>	-	-	-	-	-
Mudanças de pressão de serviço $\leq 20\%$ <sup>(b)</sup>	X	X	-	-	-	-	-	-
Forma da calota	X	X	-	-	-	-	-	-
Tamanho do furo	X	X	-	-	-	-	-	-
Mudanças de revestimento	-	-	-	-	X	-	-	-
Mudanças no processo de fabricação	X	X	-	-	-	-	-	-
Dispositivo de alívio de pressão	-	-	X	-	-	-	-	-
(a) Ensaio somente apropriado quando do aumento do comprimento.								
(b) Somente quando a mudança de espessura for proporcional ao diâmetro e/ou à mudança de pressão.								

## 7.6 Ensaios de lote

### 7.6.1 Requisitos gerais

Ensaios de lote devem ser realizados em cilindros acabados, representativos da produção normal e que estejam com as devidas marcações. Os cilindros e selantes metálicos requisitados para ensaios devem ser escolhidos aleatoriamente em cada lote de produção. Se mais cilindros que os requisitados por este Regulamento forem submetidos aos ensaios, todos os resultados devem ficar registrados. Quando forem detectados defeitos no revestimento antes de qualquer auto-interferência ou ensaio de pressão hidrostática, o revestimento deve ser totalmente removido e em seguida repostos.

### 7.6.2 Ensaios requeridos

#### 7.6.2.1 Em cada lote de cilindros devem, no mínimo, ser realizados os seguintes ensaios:

a) Em um cilindro:

- Um ensaio de ruptura hidráulica, em conformidade com A.12.

Se a pressão de ruptura for menor que a mínima calculada, deve ser seguido o procedimento de 7.9.

Em um cilindro complementar, ou selante, ou amostra testemunha tratada térmicamente, representativa de um cilindro acabado:

1 Verificação das dimensões críticas em relação ao projeto (ver 5.2.4.1);

2 Um ensaio de tração em conformidade com A.1. Os resultados do ensaio devem satisfazer os requisitos do projeto (ver 5.2.4.1).

3 Para selantes de aço, três ensaios de impacto de acordo com A.2. Os resultados do ensaio devem satisfazer os requisitos especificados em A.2.

4 Quando um revestimento de proteção for parte do projeto, um ensaio de revestimento de acordo com A.24. Quando o revestimento não atender os requisitos de A.24, o lote deve ser inspecionado em 100% das unidades para que sejam retirados cilindros com defeitos de revestimento similares. O revestimento de todos os cilindros defeituosos deve ser removido utilizando um método que não afete a integridade do envoltório de compósito e em seguida novamente revestido. O ensaio de revestimento deve então ser repetido.

Todos os cilindros ou selantes metálicos representados por um ensaio de lote que falharem em atender os requisitos especificados devem seguir os procedimentos especificados em 7.9.

#### 7.6.2.2 Também deve ser realizado um ensaio de pressão cíclica periódico em cilindros acabados, de acordo com A.13 numa frequência de ensaio como definido a seguir:

a) Inicialmente, um cilindro de cada lote deve ser pressurizado ciclicamente por um total de 1.000 vezes a vida útil de serviço especificada, com um mínimo de 15.000 ciclos;

b) Se em 10 lotes de produção seqüenciais de uma família de projeto (materiais e processos similares, segundo definição de modificações menores de projeto, como definido em 7.5.3), nenhum dos cilindros pressurizados ciclicamente, como em a) acima, romper ou vazar antes de 1.500 ciclos vezes a vida útil, em anos, (no mínimo 22.500 ciclos), então o ensaio de pressão cíclica pode ser reduzido a um cilindro cada 5 lotes de produção;

c) Se em 10 lotes de produção seqüenciais de uma família de projeto, nenhum dos cilindros pressurizados ciclicamente, como em a) acima, romper ou vazar antes de 2.000 ciclos vezes a vida útil, em anos, (no mínimo 30.000 ciclos), então o ensaio de pressão cíclica pode ser reduzido a um cilindro cada 10 lotes de produção;

d) Se mais de três meses se passarem desde o último ensaio de pressão cíclica, então um cilindro do próximo lote de produção deve ser ensaiado à pressão cíclica a fim de manter a reduzida frequência de ensaios de lotes de b) e c) acima.

f) Se qualquer cilindro ensaiado à pressão cíclica, em frequência reduzida, em b) ou c) acima, não alcançar o requerido número de ciclos de pressão (mínimo de 22.500 ou 30.000, respectivamente), então é apropriado repetir a frequência de ensaios de pressão cíclica em

a) para um mínimo de 10 lotes de produção para restabelecer a reduzida frequência de ensaios de pressão cíclica em b) ou c) acima.

Se qualquer cilindro, em a), b) ou c) acima, não atender os requisitos do número mínimo de ciclos de vida de 1.000 ciclos vezes a vida útil de serviço, em anos, especificada (mínimo 15.000 ciclos), então a causa da falha deve ser determinada e corrigida seguindo os procedimentos de 7.9. O ensaio de pressão cíclica deve ser então repetido em três cilindros daquele lote. Se qualquer dos três cilindros adicionais não atender os requisitos da pressão cíclica de 1.000 ciclos vezes a vida útil de serviço, em anos, especificada, então todo o lote deve ser rejeitado.

#### 7.7 Ensaios em cada cilindro

Verificação de produção e ensaios devem ser realizados em todos os cilindros de um lote, como segue. Inspeções não destrutivas devem ser realizadas de acordo com as normas aceitas pelo Inspetor.

Cada cilindro deve ser examinado durante a fabricação e após sua complementação, como segue:

- a) Por END do selante metálico, de acordo com Anexo B, ou equivalente método demonstrado, para verificar que o tamanho máximo de defeito especificado no projeto, como determinado em 7.3.4. O método de END deve ser capaz de detectar o tamanho máximo admitido;
- b) Verificação das dimensões críticas e massa do cilindro completo, dos selantes metálicos e do revestimento para que estejam dentro das tolerâncias do projeto;
- c) Verificação da conformidade com o acabamento superficial especificado, com atenção especial às dobras no pescoço ou ombro das extremidades ou aberturas;
- d) Verificação da marcação;
- e) Por ensaios de dureza em selantes metálicos, de acordo com A.8, realizadas após o tratamento térmico. Os valores então determinados devem estar em conformidade com a faixa especificada no projeto;
- f) Por ensaios hidráulicos em cilindros acabados, em conformidade com A.11, opção 1. O fabricante deve estabelecer o adequado limite de expansão volumétrica permanente para a pressão de ensaio utilizada mas, em nenhum caso, esta deve exceder os 5% da expansão volumétrica medida durante o ensaio de pressão.

#### 7.8 Certificado de aceitação de lote

Se os resultados dos ensaios de lote, de acordo com 7.6 e 7.7, forem satisfatórios, o fabricante e o Inspetor devem assinar um certificado de aceitação. Um exemplo de certificado de aceitação (referido como "relatório de fabricação e certificado de conformidade") é apresentado no Anexo E.

#### 7.9 Falha em alcançar os requisitos

Se os requisitos não forem atendidos, devem ser feitos novos ensaios ou tratamentos térmicos, e subsequentes ensaios, para a concordância do Inspetor, como segue:

- a) Se houver evidência de falhas na realização do ensaio, ou erros de medição, outro ensaio deve ser realizado. Se o resultado for satisfatório, o primeiro deve ser ignorado;
- b) Caso o ensaio tenha sido realizado de maneira satisfatória, a causa da falha deve ser identificada.

1. Se a falha for considerada como sendo de responsabilidade do tratamento térmico, o fabricante pode sujeitar todos os cilindros envolvidos em outro tratamento térmico, ou seja, se a falha for num ensaio que represente o protótipo ou cilindros de lote, a falha do Ensaio demandará o novo tratamento térmico de todos os cilindros representativos deste ensaio anteriores ao novo ensaio; todavia se a falha ocorrer esporadicamente num ensaio aplicado em cada cilindro, então somente os cilindros que falharem no ensaio devem ser novamente tratados termicamente e re-ensaiados.

-Sempre que selantes sofrerem novo tratamento térmico, a espessura mínima de parede

deve ser garantida.

-Somente protótipos relevantes ou ensaios de lote que precisarem provar a aceitabilidade do novo lote devem ser re-ensaiados. Se um ou mais ensaios demonstrarem, mesmo parcialmente, que não são satisfatórios, todos os cilindros do lote devem ser rejeitados.

2. Se a falha for considerada como não sendo de responsabilidade do tratamento térmico, todos os cilindros defeituosos devem ou ser rejeitados ou reparados por método aprovado. Deve ser providenciado que todos os cilindros reparados passem pelos ensaios requeridos para o reparo e então podem ser re-utilizados como parte do lote original.

## 8 Requisitos de projeto para cilindros tipo totalmente envoltos - GMV-3

### 8.1 Geral

Este Regulamento não provê fórmulas de projeto nem tensões admissíveis mas requer que a adequação do projeto seja estabelecida por cálculos apropriados e demonstrados por cilindros que sejam capazes de atender às especificações de projeto, materiais, produção e Ensaios de lotes especificados neste Regulamento.

Durante a pressurização, este tipo de cilindro comporta-se de tal forma que o deslocamento do envoltório de compósito e do selante de metal estão sobrepostos linearmente. Tendo em vista as diferentes técnicas de fabricação, Este Regulamento não define um método específico de projeto.

O projeto deve assegurar um modo de falha tipo “escoamento-antes-do-colaço” (VAC) sob possíveis condições de falha de uma seção sob pressão, em condições normais de trabalho. Se ocorrer algum escoamento através do selante metálico, deve advir somente do incremento de alguma falha por fadiga.

### 8.2 Materiais

#### 8.2.1 Requisitos gerais

Os materiais utilizados devem ser próprios para as condições de serviço especificadas na item 4. O projeto não deve admitir que materiais incompatíveis entrem em contato.

#### 8.2.2 Verificação da composição química

##### 8.2.2.1 Aço

Devem ser aços acalmados ao alumínio e/ou silício e produzidos, predominantemente com fina granulometria. A composição química do aço deve ser declarada e definida pelo menos por:

- a) conteúdo de carbono, manganês, alumínio e silício em todos os casos;
- b) conteúdo de cromo, níquel, molibdênio, boro e vanádio e qualquer outro elemento liga intencionalmente adicionado.

O enxofre e fósforo contidos na análise da fundição não devem exceder os valores indicados na tabela 6:

TABELA 6 - Limites máximos de enxofre e fósforo

Tensão de tração	< 950 MPa	≥ 950 MPa
Nível de enxofre	0,020%	0,010%
Nível de fósforo	0,020%	0,020%
Nível de enxofre + fósforo	0,030%	0,025%

#### 8.2.2.2 Alumínio

Ligas de alumínio podem ser utilizadas na produção de cilindros desde que atendam todos os requisitos deste Regulamento e tenham, no máximo, quantidades de chumbo e bismuto que não excedam 0,003%.

Nota: Uma listagem das ligas registradas é mantida pela Aluminium Association Inc. com o título de Registration Record off International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminium and Wrought Aluminium Alloys.

#### 8.2.3 Compósitos

##### 8.2.3.1 Resinas

O material para impregnação pode ser termofixo ou resinas termoplásticas. Exemplos de materiais-matrizes são epoxi, epoxi modificado, plásticos termofixos (poliéster e viniléster) e materiais termoplásticos (polietileno e poliamida).

A temperatura de transição vítrea da resina deve ser determinada de acordo com a ASTM D3418-99.

##### 8.2.3.2 Fibras

O material estrutural de reforço (filamentos) deve ser de fibra-de-vidro, fibra de aramida ou fibra de carbono. Se for usada a fibra de carbono, o projeto deve conter meios de prevenir a corrosão galvânica dos componentes metálicos do cilindro.

O fabricante deve manter em arquivo as especificações publicadas dos materiais compostos, as recomendações para armazenamento do fabricante, condições de armazenamento e a certificação de material de cada carregamento está conforme as mencionadas requisições de especificações. O fabricante da fibra deve certificar que as propriedades do material estão em conformidade com as especificações do fabricante para o produto.

#### 8.3 Requisitos de Projeto

##### 8.3.1 Pressão de Ensaio

A mínima pressão de ensaio, na fabricação, deve ser de 300 bar (1,5 vezes a pressão de serviço).

##### 8.3.2 Pressão de ruptura e razão de tensão da fibra

A pressão mínima efetiva de ruptura não pode ser inferior aos valores dados na tabela 7. O envoltório de compósito deve ser projetado para alta confiabilidade sob cargas contínuas e cargas cíclicas. Esta confiabilidade deve ser obtida pelo atendimento ou superação dos valores de razão de tensão do reforço do compósito de reforço dados na mencionada tabela. A razão de tensão é definida como a tensão na fibra à pressão mínima de ruptura especificada dividida pela tensão na fibra à pressão de serviço.

A razão de ruptura é definida como a efetiva pressão de ruptura do cilindro dividida pela pressão de serviço.

O cálculo da razão de tensão deve conter:

a) método de cálculo com capacidade de análise para materiais não-lineares (programa de análise por elementos finitos ou programa de computador para finalidades específicas);

b) modelagem correta da curva de tensão-deformação elástico-plástica para o selante do cilindro, que deve ser conhecida;

c) modelagem correta das propriedades mecânicas dos materiais do composto;

d) cálculos à pressão de auto-interferência, pressão nula depois da auto-interferência, pressão de serviço e pressão mínima de ruptura;

e) registro da pré-tensão da tração de bobinamento;

f) a mínima pressão de ruptura escolhida de tal forma que a tensão calculada à mínima pressão de ruptura dividida pela tensão calculada à pressão de serviço atenda os requisitos

de razão de tensão para a fibra utilizada;

g) considerações sobre a distribuição de cargas entre as diferentes fibras, baseadas nos diferentes módulos de elasticidade das fibras quando da análise dos cilindros com reforços híbridos ( dois ou mais tipos de fibras).

Os requisitos da razão de tensão para cada tipo individual de fibra devem estar de acordo com os valores da tabela 7.

A verificação da razão de tensão também pode ser verificada utilizando-se “strain-gauges”. Um método aceito está indicado no Anexo G.

TABELA 7 - Valores mínimos efetivos de ruptura e razão de tensões para os cilindros de tipo GMV-3

Tipo de fibra	Razão de tensão	Pressão de ruptura (bar)
Vidro	3,65	700 (a)
Aramida	3,10	600
Carbono	2,35	470
Híbrida	(b)	(b)

Pressão mínima efetiva de ruptura. Como complemento, cálculos devem ser realizados de acordo com 8.3.2 para confirmar que os requisitos mínimos de razão de tensão foram alcançados.

Razão de tensão e pressão de ruptura devem ser calculados de acordo com 8.3.2.

### 8.3.3 Análise de tensões

Deve ser realizada uma análise de tensões para justificar a espessura mínima de parede de projeto. Deve estar incluída a determinação de tensões nos projetos de selantes e fibras de compósito. As tensões nas direções tangencial e longitudinal do cilindro no composto e no selante, após pré tensionados, devem ser calculadas para 0 (zero) bar, 200 bar, pressão de teste a pressão de ruptura de projeto. Os cálculos devem utilizar análises adequadas, levando-se em conta o comportamento não-linear do material do selante quando se estiver estabelecendo as contribuições de tensão. Deve-se calcular os limites dentro dos quais a pressão de auto-interferência diminui.

### 8.3.4 Tamanho máximo da falha

O tamanho máximo de uma falha em qualquer área do selante metálico, tal que o cilindro alcance os requisitos de pressão cíclica e de VAC, deve ser especificado. O método de END deve ser capaz de detectar o tamanho máximo da falha admitido.

O tamanho de defeito admitido para END pode ser determinado por método apropriado, como por exemplo o Anexo D.

### 8.3.5 Aberturas

Aberturas somente são permitidos na parte superior do cilindro. A linha de centro do furo deve coincidir com a do eixo longitudinal do cilindro.

### 8.3.6 Proteção contra fogo

O cilindro, de acordo com seu projeto, deve contar com dispositivos de alívio de pressão (DAP). O cilindro, seus materiais, DAP's e qualquer isolamento ou material de proteção devem ser projetados conjuntamente para garantir a adequada segurança nas condições de fogo, no ensaio especificado em A.15. O fabricante pode especificar locais alternativos de DAP em instalações especiais no veículo para otimizar esquemas de segurança.

Os dispositivos de segurança devem ser aprovados de acordo com as normas aceitáveis pelo Inspetor do país de uso.

## 8.4 Construção e mão-de-obra

### 8.4.1 Geral

O cilindro de material composto deve ser fabricado a partir de um selante envolto por filamentos contínuos. As operações de bobinamento dos filamentos de fibra devem ser controlados mecanicamente ou por computador. As fibras devem ser aplicadas sob tensões controladas durante o bobinamento. Terminado o bobinamento, as resinas termofixas devem sofrer processo de transição vítrea por calor usando um pré-determinado e controlado perfil de tempo-temperatura.

### 8.4.2 Selante metálico

A fabricação do selante metálico deve atender os requisitos dos itens 8.2; 8.3.2 além do 8.5.2.2 ou 8.5.2.3 para o adequado tipo de fabricação de selante.

O esforço de compressão no selante, à pressão zero e 15 °C, não deve causar sua flambagem ou enrugamento.

### 8.4.3 Roscas no pescoço

As roscas devem ter bom acabamento, sem superfícies descontínuas, e devem estar em conformidade com as normas aceitas pelo Inspetor.

### 8.4.4 Bobinamento

#### 8.4.4.1 Bobinamento da fibra

Os cilindros devem ser fabricados segundo uma técnica de bobinamento de fibra. Durante o bobinamento as variáveis significativas devem ser monitoradas dentro das tolerâncias especificadas e documentadas em registros de bobinamento. Essas variáveis devem incluir, mas não estar limitadas a:

a) tipo da fibra, incluindo o dimensionamento;

- b) forma de impregnação;
- c) tensão de bobinamento;
- d) velocidade de bobinamento;
- e) número de voltas;
- f) largura da faixa;
- g) tipo de resina e composição;
- h) temperatura da resina;
- i) temperatura do selante;
- j) ângulo de bobinamento

#### 8.4.4.2 Transição vítrea da resina termofixa

Se forem usadas resinas termofixas, elas devem ser transição vítreadas após o bobinamento do filamento. Durante a transição vítrea, seu ciclo (histórico tempo-temperatura) deve ser documentado.

Os máximos tempos de transição vítrea e temperatura para cilindros com selantes de ligas de alumínio devem ser menores que os tempos e temperaturas que possam afetar negativamente as propriedades do metal.

#### 8.4.4.3 Auto-interferência

Se for usado o processo de auto-interferência, este deve ser levado a efeito antes do ensaio de pressão hidrostática. A pressão de auto-interferência deve ficar dentro dos limites estabelecidos em 8.3.3 e o fabricante deve estabelecer o método de verificação da pressão apropriada.

#### 8.4.5 Proteção ao meio externo

A parte externa dos cilindros deve atender aos requisitos do ensaio em solução ácida de acordo com A.14. A proteção externa deve ser conseguida da seguinte forma:

- a) dando acabamento superficial para uma adequada proteção (por ex., metalização no alumínio, anodização) ou
- b) utilizando a fibra adequada e a matriz do material (por ex. fibra de carbono na resina) ou
- c) usando revestimento de proteção (por ex. proteção orgânica, pintura). Se o revestimento externo for exigência de projeto, o requisito de A.9 deve ser atendido; ou
- d) revestimento

impermeável à solução ácida mencionada em A.14

Qualquer revestimento aplicado aos cilindros deve ser tal que seu processo de aplicação não prejudique as propriedades mecânicas do cilindro. O revestimento deve ser projetado para facilitar subsequente Inspeção em serviço e o fabricante deve prover instruções referentes a aplicação do revestimento durante essas inspeções para assegurar a integridade do cilindro.

Os fabricantes devem ter conhecimento que o ensaio de desempenho ambiental que avalia a adequação do revestimento deve ser conduzido conforme apresentado no Anexo F.

### 8.5 Procedimento de ensaios de protótipos

#### 8.5.1 Requisitos gerais

Ensaio de protótipos devem ser realizados em cada novo projeto, em cilindros acabados que sejam representativos de produção normal e com as devidas marcações. Os cilindros ou selantes de ensaio devem ser selecionados e seus Ensaio, detalhados em 8.5.2, testemunhados pelo Inspetor. Se forem testadas mais unidades do que as requeridas por Este Regulamento, todos os resultados devem ser documentados.

## 8.5.2 Ensaios de protótipos

### 8.5.2.1 Ensaios requeridos

No processo de aprovação dos tipos, o Inspetor deve selecionar os apropriados cilindros ou selantes e testemunhar os seguintes ensaios:

ensaios especificados em 8.5.2.2 ou 8.5.2.3 (ensaios de materiais), como apropriado, em 01 selante;

ensaios especificados em 8.5.2.4 (ensaio de pressão hidrostática de ruptura) em 03 cilindros;

ensaios especificados em 8.5.2.5 (ensaio de pressão cíclica à temperatura ambiente) em 02 cilindros;

ensaio especificado em 8.5.2.6 (ensaio de VAC) em 03 cilindros;

ensaio especificado em 8.5.2.7 (ensaio de fogo) em 01 ou 02 cilindros, como apropriado;

ensaio especificado em 8.5.2.8 (ensaio de penetração) em 01 cilindro;

ensaio especificado em 8.5.2.9 (ensaio em ambiente ácido) em 01 cilindro;

ensaio especificado em 8.5.2.10 (ensaio de tolerância de falha) 01 cilindro;

ensaio especificado em 8.5.2.11 (ensaio de deformação por alta temperatura), onde apropriado, em 01 cilindro;

ensaio especificado em 8.5.2.12 (ensaio de ruptura por solicitação acelerada) em 01 cilindro;

ensaio especificado em 8.5.2.13 (ensaio de pressão cíclica em temperatura extrema) em 01 cilindro;

ensaio especificado em 8.5.2.14 (ensaio de tensão de cisalhamento da resina) uma amostra representativa da camada envoltória de resina;

ensaio especificado em 8.5.2.15 (ensaio de impacto) em pelo menos 01 cilindro.

### 8.5.2.2 Ensaio de materiais para selantes de aço

Os ensaios de material devem ser executados em selantes de aço, segundo segue:

#### a) Ensaio de tração

As propriedades do aço num cilindro acabado ou selante devem ser determinadas em conformidade com A.1 e atender os requisitos lá especificados

#### b) Ensaio de impacto

As propriedades de impacto do aço num cilindro acabado ou selante devem ser determinadas em conformidade com A.2 e atender aos requisitos lá especificados

#### a) Ensaio de resistência a corrosão sob tensão induzida por sulfetos

Se o limite superior da solicitação de tração especificada para o aço exceder 950 MPa, o aço de um cilindro acabado deve ser submetido a um Ensaio de resistência a corrosão sob tensão induzida por sulfetos em conformidade com A.3 e atender aos requisitos lá especificados.

### 8.5.2.3 Ensaio de materiais para selantes de ligas de alumínio

Os ensaios de material devem ser executados em selantes de ligas de alumínio, segundo segue:

#### a) Ensaio de tração

As propriedades dos materiais das ligas de alumínio num cilindro acabado devem ser determinadas em conformidade com A.1 e atender aos requisitos lá especificados.

#### b) Ensaio de corrosão

Ligas de alumínio devem atender aos requisitos dos ensaios de corrosão em conformidade com A.4.

#### a) Ensaios de "Sustained-load-cracking Resistance"

Ligas de alumínio devem atender aos requisitos dos ensaios de fendas por carga contínua em

conformidade com A.5.

- 8.5.2.4 Ensaio de pressão hidrostática de ruptura  
Três cilindros devem ser pressurizados hidrostáticamente até sua ruptura, de acordo com A.12. A pressão de colapso do cilindro deve exceder a mínima pressão de ruptura especificada pelo estudo de análise de tensões do projeto, de acordo com a tabela 7 e, em nenhuma hipótese, deve ser inferior ao valor necessário para atender às especificações de razão de tensões de 8.3.2.
- 8.5.2.5 Ensaio de pressão cíclica à temperatura ambiente  
Dois cilindros devem ser pressurizados ciclicamente à temperatura ambiente de acordo com A.13 até o colapso ou até um mínimo de 45.000 ciclos. Os cilindros não devem entrar em colapso antes de alcançarem o equivalente à vida útil em serviço especificada em anos, multiplicada por 1.000 ciclos. Os que excederem este valor podem falhar por escoamento e não por ruptura. Cilindros que não falharem até os 45.000 ciclos devem ser destruídos pela continuação dos ciclos de ensaio até o colapso; ou pressurizando-os hidrostáticamente até que isto ocorra. O número de ciclos em que ocorrer o colapso e o local do início da falha devem ser registrados.
- 8.5.2.6 Ensaio de escoamento-antes-do-colapso (VAC)  
O ensaio de (VAC) deve ser realizado em conformidade com A.6 e deve atender os requisitos lá especificados.
- 8.5.2.7 Ensaio de fogueira  
Um ou dois cilindros, como apropriado, devem ser ensaiados em conformidade com A.15 e devem atender os requisitos lá especificados.
- 8.5.2.8 Ensaio de penetração  
Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.16 e deve atender os requisitos lá especificados.
- 8.5.2.9 Ensaio em ambiente ácido  
Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.14 e deve atender os requisitos lá especificados.  
Um ensaio ambiental opcional é apresentado no Anexo F.
- 8.5.2.10 Ensaio de tolerância a falhas  
Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.17 e deve atender os requisitos lá especificados.
- 8.5.2.11 Ensaio de fluência a alta temperatura (fluência)  
Em projetos em que a temperatura de transição do vidro da resina não exceda os 102 °C, um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.18 e deve atender os requisitos lá especificados.  
Ensaio de ruptura por solicitação acelerada  
Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.19 e deve atender os requisitos lá especificados.
- 8.5.2.13 Ensaio de pressão cíclica em temperatura extrema  
Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.7 e deve atender os requisitos lá especificados.
- 8.5.2.14 Ensaio de tensão de cisalhamento da resina  
Resinas devem ser ensaiadas em conformidade com A.26 e deve atender os requisitos lá especificados;
- 8.5.2.15 Ensaio de impacto  
Um (ou mais) cilindro acabado deve(m) sofrer ensaio de impacto, em conformidade com A.20 e deve(m) atender seus requisitos.
- 8.5.3 Modificações de projeto

Uma modificação de projeto é toda mudança na seleção de materiais estruturais ou modificação de dimensionamento não atribuídas às tolerâncias normais de fabricação.

Modificações menores de projeto podem ser permitidas para qualificação através de um programa reduzido de ensaios. Modificações de projeto especificadas na tabela 8 necessitam somente dos ensaios de protótipo, como especificado na tabela 8.

TABELA 8 – Modificações de projeto para os cilindros envolvidos totalmente - GMV-3

Tipos de Ensaio	Tipo de Ensaio									
	Ruptura Hidros-tática	Cíclico a temperatura ambiente	Fogueira	Penetração	Ambiental	Tolerância a defeitos	Fluência a alta temperatura	Ruptura Acelerada	Queda (Impacto)	
	Item									
	A.12	A.13	A.15	A.16	A.14	A.17	A.18	A.19	A.20	
Fabricação da fibra	X	X	-	-	-	-	X	X	X	
Material metálico do selante	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Material da fibra	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Material da resina	-	-	-	X	X	X	X	X	X	
Mudança de diâmetro $\leq 20\%$	X	X	-	-	-	-	-	-	-	
Mudança de diâmetro $>20\%$	X	X	X	X	-	X	-	-	X	
Mudança de comprimento $\leq 50\%$	X	-	X <sup>(a)</sup>	-	-	-	-	-	-	
Mudança de comprimento $>50\%$	X	X	X <sup>(a)</sup>	-	-	-	-	-	X	
Mudança de pressão de serviço $\leq 20\%$ <sup>(b)</sup>	X	X	-	-	-	-	-	-	-	
Forma da calota	X	X	-	-	-	-	-	-	-	
Tamanho do furo	X	X	-	-	-	-	-	-	-	
Mudança de revestimento	-	-	-	-	X	-	-	-	-	
Mudança de processo de fabricação	X	X	-	-	-	-	-	-	-	
Dispositivo de alívio de pressão	-	-	X	-	-	-	-	-	-	
(a) Ensaio somente apropriado quando do aumento do comprimento.										
(b) Somente quando a mudança de espessura for proporcional ao diâmetro e/ou à mudança de pressão.										

## 8.6 Ensaios de lote

### 8.6.1 Requisitos gerais

Ensaios de lote devem ser realizados em cilindros acabados, representativos da produção normal e que estejam com as devidas marcações. Os cilindros e selantes metálicos requisitados para ensaios devem ser escolhidos aleatoriamente em cada lote de produção. Se mais cilindros que os requisitados por este Regulamento forem submetidos aos ensaios, todos os resultados devem ficar registrados. Quando forem detectados defeitos no revestimento antes de qualquer auto-interferência ou ensaio de pressão hidrostática, o revestimento deve ser totalmente removido e, em seguida, repostos.

### 8.6.2 Ensaios requeridos

#### 8.6.2.1 Em cada lote de cilindros devem, no mínimo, ser realizados os seguintes ensaios:

##### a) Em um cilindro:

- Um ensaio de ruptura hidráulica, em conformidade com A.12.

Se a pressão de ruptura for menor que a mínima calculada, deve ser seguido o procedimento de 8.9.

##### b) Em um cilindro complementar, ou selante, ou amostra testemunha tratada termicamente, representativa de um cilindro acabado:

1. Verificação das dimensões críticas em relação ao projeto (ver 5.2.4.1);
2. Um ensaio de tração em conformidade com A.1. Os resultados do ensaio devem satisfazer os requisitos do projeto (ver 5.2.4.1);
3. Para selantes de aço, três ensaios de impacto de acordo com A.2. Os resultados do ensaio devem satisfazer os requisitos especificados em A.2.
4. Quando um revestimento de proteção for parte do projeto, um ensaio de revestimento de acordo com A.24. Quando o revestimento não atender os requisitos de A.24, o lote deve ser inspecionado em 100% das unidades para que sejam retirados cilindros com defeitos de revestimento similares. Os revestimentos em todos os cilindros defeituosos devem ser removidos utilizando um método que não afete a integridade do envoltório de compósito e em seguida refeito o revestimento. Então o ensaio de revestimento de lote deve ser repetido.

Todos os cilindros ou selantes representados por um ensaio de lote que falhou em atender os requisitos especificados devem seguir os procedimentos especificados em 8.9.

#### 8.6.2.2 Também deve ser realizado um ensaio de pressão cíclica periódico em cilindros acabados, de acordo com A.13 numa frequência de ensaio como definido a seguir:

a) Inicialmente, um cilindro de cada lote deve ser pressurizado ciclicamente por um total de 1.000 vezes a vida útil de serviço especificada em anos, totalizando, no mínimo, 15.000 ciclos;

b) Se em 10 lotes de produção seqüenciais de uma família de projeto (materiais e processos similares, segundo definição de modificações menores de projeto, como definido em 8.5.3), nenhum dos cilindros pressurizados ciclicamente, como em a) acima, romper ou vazarem antes de 1.500 ciclos vezes a vida útil, em anos, (no mínimo 22.500 ciclos), então o ensaio de pressão cíclica pode ser reduzido a um cilindro a cada 5 lotes de produção;

c) Se em 10 lotes de produção seqüenciais de uma família de projeto, nenhum dos cilindros pressurizados ciclicamente, como em a), romper ou vazarem antes de 2.000 ciclos vezes a vida útil, em anos, (no mínimo 30.000 ciclos), então o ensaio de pressão cíclica pode ser reduzido a um cilindro em cada 10 lotes de produção;

d) Se mais de três meses se passarem desde o último ensaio de pressão cíclica, então um cilindro do próximo lote de produção deve ser ensaiado à pressão cíclica a fim de manter a frequência reduzida de ensaios de lotes de b) ou c).

e) Se qualquer cilindro ensaiado à pressão cíclica na frequência reduzida, em b) ou c), não alcançar o requerido número de ciclos de pressão (mínimo de 22.500 ou

30.000, respectivamente), então é apropriado repetir a frequência de ensaios de pressão cíclica em a) para um mínimo de 10 lotes de produção para restabelecer a reduzida frequência de ensaios de pressão cíclica em b) ou c).

f) Se qualquer cilindro, em a), b) ou c), não atender os requisitos do número mínimo de ciclos de vida de 1.000 ciclos vezes a vida útil de serviço em anos especificada (mínimo 15.000 ciclos), então a causa da falha deve ser determinada e corrigida seguindo os procedimentos de 8.9. O ensaio de pressão cíclica deve ser então repetido em três cilindros de cada lote. Se qualquer dos três cilindros adicionais não atender os requisitos da pressão cíclica de 1.000 ciclos vezes a vida útil em serviço, em anos, especificada, então todo o lote deve ser rejeitado.

#### 8.7 Ensaios em cada cilindro

Verificação de produção e ensaios devem ser realizados em todos os cilindros de um lote. Inspeções não destrutivas devem ser realizadas de acordo com as normas aceitas pelo Inspetor.

Cada cilindro deve ser examinado durante a fabricação e após sua complementação, como segue:

a) Por END de selantes metálicos, de acordo com Anexo B ou equivalente método demonstrado, para verificar que o tamanho máximo de defeito especificado no projeto, como determinado em 8.3.4. O método de END deve ser capaz de detectar o tamanho máximo admitido;

b) Verificação das dimensões críticas e massa do cilindro completo, dos selantes e do revestimento para que estejam dentro das tolerâncias do projeto;

c) Verificação da conformidade com o acabamento superficial especificado, com atenção especial às superfícies curvas no pescoço ou colo fechamento das extremidades e aberturas;

d) Verificação da marcação;

e) Por ensaios de dureza em selantes metálicos, de acordo com A.8, realizadas após o tratamento térmico. Os valores então determinados devem estar em conformidade com a faixa especificada no projeto;

f) Por ensaios hidráulicos em cilindros acabados, em conformidade com A.11, opção 1. O fabricante deve estabelecer o adequado limite de expansão volumétrica permanente para a pressão de ensaio utilizada mas em nenhum caso esta deve exceder os 5% da expansão volumétrica medida durante o ensaio de pressão.

#### 8.8 Certificado de aceitação de lote

Se os resultados dos ensaios de lote, de acordo com 8.6 e 8.7, forem satisfatórios, o fabricante e o Inspetor devem assinar um certificado de aceitação. Um exemplo de aceitação de certificação (referido como "Relatório de fabricação e certificado de conformidade") é apresentado no Anexo E.

#### 8.9 Falha em alcançar os requisitos

Se os requisitos não forem atendidos, devem ser feitos novos ensaios ou tratamentos térmicos e subsequentes ensaios, para a concordância do Inspetor, como segue:

a) Se houver evidência de falhas na realização do ensaio, ou erros de medição, outro ensaio deve ser realizado. Se o resultado for satisfatório, o primeiro deve ser ignorado;

b) Caso o ensaio tenha sido realizado de maneira satisfatória, a causa da falha deve ser identificada.

I Se a falha for considerada como sendo de responsabilidade do tratamento térmico, o fabricante pode sujeitar todos os cilindros envolvidos em outro tratamento térmico, ou seja, se a falha for num ensaio que represente o protótipo ou cilindros de lote, a falha do Ensaio demandará o novo tratamento térmico de todos os cilindros representativos deste ensaio; todavia se a falha ocorrer esporadicamente num ensaio aplicado em cada cilindro, então somente os cilindros que falharem no ensaio devem ser novamente tratados termicamente e

re-ensaiados.

- Sempre que selantes sofrerem novo tratamento térmico, a mínima espessura de parede deve ser garantida.

- Somente protótipos relevantes ou ensaios de lote que precisarem provar a aceitabilidade do novo lote devem ser re-ensaiados. Se um ou mais ensaios demonstrarem, mesmo parcialmente, que não são satisfatórios, todos os cilindros do lote devem ser rejeitados

2) Se a falha for considerada como não sendo de responsabilidade do tratamento térmico aplicado, todos os cilindros defeituosos devem ou ser rejeitados ou reparados por método aprovado. Desde que todos os cilindros reparados passem pelos ensaios requeridos para o reparo, então podem ser re-integrados como parte do lote original

## 9 Requisitos de projeto para cilindros integralmente de material compósito - GMV- 4

### 9.1 Projeto

Este Regulamento não fornece formulação de projeto ou lista tensões e esforços permissíveis mas exige a adequação do projeto, estabelecido pelos cálculos apropriados e demonstrado consistentemente pelos Ensaios que os cilindros são capazes de suportar os Ensaios de material, qualificação de projeto, produção e lote especificados nesta Regulamento técnico.

O projeto deve assegurar um método de reprovação por “escoamento antes de colapso” por degradação das partes pressurizadas para as condições normais de operação.

### 9.2 Materiais

#### 9.2.1 Requisitos gerais

Os materiais utilizados devem ser apropriados às condições de serviço especificadas no item 4. O projeto não deve admitir que materiais incompatíveis entrem em contato.

#### 9.2.2 Resinas

O material para impregnação pode ser resina termoestável ou termoplástica. Exemplos de materiais adequados à matriz de compostos são o epoxi, o epoxi modificado, o poliéster e o vinilester entre os plásticos termoestáveis e o polietileno e a poliamida entre os materiais termoplásticos.

A temperatura de transição vítrea dos materiais de resina serão determinadas de acordo com a Norma ASTM D 3418-99.

#### 9.2.3 Fibras

Os tipos de material para filamento de reforço estrutural podem ser a fibra de vidro, a fibra de aramida ou fibra de carbono. Caso reforço em fibra de carbono seja utilizado, o projeto deve incorporar recursos para prevenir a corrosão galvânica dos componentes metálicos do cilindro.

O fabricante deve manter em arquivo e disponível as especificações publicadas dos materiais compósitos, as recomendações do fabricantes quanto a armazenagem, condições e período de armazenamento, e a certificação do fabricante do material para cada carregamento atestando sua conformidade com as especificações requeridas. O fabricante da fibra deve certificar que as propriedades do material da fibra estão em conformidade com a especificação fabricante do produto

#### 9.2.4 Selantes plásticos

Materiais poliméricos devem ser compatíveis com as condições de serviço especificadas na item 4

#### 9.2.5 Bocais metálicos

Os bocais metálicos conectados aos selantes não-metálicos devem ser de material compatível com as condições de serviço especificadas no item 4.

### 9.3 Requisitos de projeto

#### 9.3.1 Pressão de ensaio

A pressão mínima de ensaio usada na fabricação deve ser de 300 bar (1,5 vezes a pressão de trabalho).

### 9.3.2 Pressão de ruptura e coeficiente de tensão da fibra

A mínima pressão de ruptura real não deve ser menor que os valores especificados na tabela 9. O compósito de revestimento externo deve ser dimensionado para elevada segurança sob carga sustentada e ciclos de carregamento. Esta segurança e confiabilidade são obtidas com o coeficiente de tensão do composto de reforço atingindo ou superando os valores apresentados na tabela 9. O coeficiente de tensão é definido como a tensão da fibra na pressão mínima de ruptura dividida pela pressão na fibra na pressão de trabalho. O coeficiente de ruptura é definido como a real pressão de ruptura do cilindro dividida pela pressão de trabalho.

Para o dimensionamento do tipo GMV-4, o coeficiente de tensão é igual ao coeficiente de ruptura.

A verificação do coeficiente de tensão pode ser executada utilizando-se medidores de esforço. Um método aceito está indicado no Anexo G.

TABELA 9 – Valores mínimos de pressão de ruptura real e o coeficiente de tensão para cilindros tipo GMV-4

Tipo de Fibra	Coeficiente de Tensão	Pressão de Ruptura (bar)
Vidro	3,65	730
Aramida	3,10	620
Carbono	2,35	470
Híbrida	(a)	(a)

<sup>a</sup> Coeficiente de Tensão e Pressão de Ruptura serão calculadas em conformidade com o item 9.3.2

### 9.3.3 Análise de tensão

Uma análise de tensão deve ser executada para legitimar o dimensionamento mínimo da espessuras das paredes. Isto inclui a determinação das tensões nos selantes e fibras dos compósitos utilizados.

As tensões nas direções tangencial e longitudinal do cilindro de compósito e do selante devem ser calculadas. As pressões usadas para esses cálculos devem ser 0 bar, 200 bar, pressão de Ensaio e pressão de ruptura projetada. Os cálculos deve usar técnicas de análise adequadas para estabelecer a distribuição de tensão através do cilindro.

### 9.3.4 Aberturas

Aberturas devem ser permitidas apenas nos bocais da extremidade principal. A linha de centro das aberturas devem coincidir com o eixo longitudinal do cilindro.

### 9.3.5 Proteção contra fogo

O cilindro, de acordo com seu projeto, deve contar com dispositivos de alívio de pressão (DAP). O cilindro, seus materiais, DAP's e qualquer isolamento ou material de proteção devem ser projetados conjuntamente para garantir a adequada segurança nas condições de fogo, no ensaio especificado em A.15. O fabricante pode especificar locais alternativos de DAP em instalações especiais no veículo para otimizar esquemas de segurança.

Os dispositivos de segurança devem ser aprovados de acordo com as normas aceitáveis pelo Inspetor.

## 9.4 Fabricação e acabamento

### 9.4.1 Geral

Os cilindros compósitos devem ser fabricados a partir de um selante recoberto com filamentos enrolados continuamente. A operação de bobinamento das fibras deve ser controlada mecanicamente ou por computador. As fibras devem ser aplicadas sob tensão controlada durante o bobinamento. Após finalizado o bobinamento as resinas termoestáveis devem ser transição vítreadas por aquecimento, submetendo-as a um perfil pré-determinado de tempo e temperatura.

### 9.4.2 Roscas no pescoço

As roscas devem ter bom acabamento, sem superfícies descontínuas, e devem estar em conformidade com as normas aceitas pelo Inspetor.

### 9.4.3 Transição vítrea das resinas termoestáveis

A temperatura de transição vítrea das resinas termoestáveis deve ser pelos menos 10 °C inferior à temperatura de amolecimento do selante plástico.

### 9.4.4 Proteção ao ambiente externo

A parte externa dos cilindros deve atender aos requisitos do ensaio em solução ácida de acordo com A.14. A proteção externa deve ser conseguida da seguinte forma:

- a) dando acabamento superficial para uma adequada proteção (por ex.: metalização no alumínio, anodização) ou
- b) utilizando a fibra adequada e a matriz do material (por ex.: fibra de carbono na resina) ou
- c) usando revestimento de proteção (por ex.: proteção orgânica, pintura). Se o revestimento externo for exigência de projeto. o requisito de A.9 deve ser atendido; ou
- d) revestimento impermeável à solução ácida mencionada em A.14.

Qualquer revestimento aplicado aos cilindros deve ser tal que seu processo de aplicação não prejudique as propriedades mecânicas do cilindro. O revestimento deve ser projetado para facilitar subseqüente Inspeção em serviço e o fabricante deve prover instruções referentes a aplicação do revestimento durante essas inspeções para assegurar a integridade do cilindro.

Os fabricantes devem ter conhecimento que o ensaio de desempenho ambiental que avalia a adequação do revestimento deve ser conduzido conforme apresentado no Anexo F.

## 9.5 Procedimento de ensaio de protótipo

### 9.5.1 Geral

Ensaio de protótipos devem ser realizados em cada novo projeto, em cilindros acabados que sejam representativos de produção normal e com as devidas marcações. Os cilindros ou selantes de ensaio devem ser selecionados e seus Ensaio, detalhados em 9.5.2, testemunhados pelo Inspetor. Se forem testadas mais unidades do que as requeridas por Este Regulamento, todos os resultados devem ser documentados.

### 9.5.2 Ensaio do protótipo

#### 9.5.2.1 Ensaio exigido

No decurso da aprovação do tipo o Inspetor selecionará o número apropriado de cilindros ou selantes e deve testemunhar os seguintes Ensaio:

- Ensaio especificado no item 9.5.2.2 (ensaio de material), em 1 selante;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.3 (ensaio hidrostático de pressão de ruptura), em 3 cilindros;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.4 (ensaio de pressurização cíclica à temperatura ambiente), em 2 cilindros;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.5 (ensaio escoamento antes do colapso), em 3 cilindros;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.6 (ensaio de fogueira), em 1 ou 2 cilindros como apropriado;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.7 (ensaio de penetração), em 1 cilindro;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.8 (ensaio de ambiente ácido), em 1 cilindro;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.9 (ensaio de tolerância a fenda), em 1 cilindro;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.10 (ensaio de fluência a alta temperatura), quando apropriado, em 1 cilindro;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.11 (ensaio de tensão de ruptura acelerada), em 1 cilindro;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.12 (ensaio de pressurização cíclica em temperatura extrema), em 1 cilindro;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.13 (ensaio de resistência da resina ao cisalhamento), em uma amostra representativa do compósito de revestimento;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.14 (ensaio de dano por queda), em pelo menos 1 cilindro;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.15 (ensaio de torque do bocal ), em 1 cilindro;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.16 (ensaio de permeabilidade), em 1 cilindro;
- Ensaio especificado no item 9.5.2.17 (ensaio de ciclagem com GMV), em 1 cilindro.

#### 9.5.2.2 Ensaio de material para selantes plásticos

A tensão limite de escoamento e o alongamento final devem ser determinados de acordo com A.22, e devem atender os requisitos lá contidos.

A temperatura de amolecimento deve ser determinada de acordo com A.23, e deve atender os requisitos lá contidos.

A resistência a fluência em alta temperatura deve ser determinada de acordo com A.18, e deve atender os requisitos lá contidos.

#### 9.5.2.3 Ensaio hidrostático de pressão de ruptura

Três cilindros devem ser pressurizados hidrostáticamente até a falha, em conformidade com o A.12. A pressão de ruptura do cilindro deve exceder a pressão mínima de ruptura estabelecida pela análise de tensão do projeto, de acordo com a tabela 9 e, em nenhum caso inferior ao valor apropriado para atender ao requisito do coeficiente de tensão do item 9.3.2.

9.5.2.4 Ensaio de pressurização cíclica à temperatura ambiente

Dois (02) Cilindros devem ser pressurizados ciclicamente à temperatura ambiente de acordo com A.13 até falhar, ou até o mínimo de 45.000 ciclos. Os cilindros não podem falhar antes de atingirem o período de vida, em anos, multiplicado por 1.000 ciclos. Cilindros que excederem o período de vida, em anos, multiplicado por 1.000 ciclos devem vazar, e não romper. Cilindros que não falharem quando atingir 45.000 ciclos devem ser destruídos; seja por continuar sendo ciclados até que a falha ocorra, seja por pressurização hidrostática até sua ruptura. O número de ciclos até a falha e o local que a mesma se iniciou devem ser registrados.

9.5.2.5 Ensaio de escoamento antes do colapso (V.A.C)

O Ensaio de escoamento antes do colapso deve ser conduzido em conformidade com A.6 e deve atender os requisitos lá contidos.

9.5.2.6 Ensaio de fogueira

Um ou dois cilindros, como apropriado, deve(m) ser submetido(s) ao Ensaio de fogueira conduzido em conformidade com A.15 e deve(m) atender os requisitos lá contidos.

9.5.2.7 Ensaio de penetração

Um cilindro deve ser testado em conformidade com A.16 e deve atender os requisitos lá apresentados.

9.5.2.8 Ensaio de ambiente ácido

Um cilindro deve ser testado em conformidade com A.14 e deve atender os requisitos lá contidos. Um Ensaio opcional de ambiente ácido é apresentado no Anexo F.

9.5.2.9 Ensaio de tolerância a defeitos

Um cilindro deve ser testado em conformidade com A.17 e deve atender os requisitos lá apresentados.

9.5.2.10 Ensaio de fluência a alta temperatura (fluência)

Nos projetos em que a temperatura de transição vítrea da resina não ultrapasse 102 °C, um cilindro deve ser testado em conformidade com A.18 e deve atender os requisitos lá contidos.

9.5.2.11 Ensaio de tensão de ruptura acelerada

Um cilindro deve ser testado em conformidade com A.19 e deve atender os requisitos lá contidos.

9.5.2.12 Ensaio de pressurização cíclica em temperatura extrema

Um cilindro deve ser testado em conformidade com A.7 e deve atender os requisitos lá contidos.

9.5.2.13 Ensaio de resistência da resina ao cisalhamento

O material de resina deve ser testado em conformidade com A.26 e deve atender os requisitos lá contidos.

9.5.2.14 Ensaio de dano por queda

Um ou mais cilindros acabados deve(m) ser testado(s) a dano por queda em conformidade com A.20 e deve(m) atender os requisitos lá contidos.

9.5.2.15 Ensaio de torque do bocal

Um cilindro deve ser testado em conformidade com A.25 e deve atender os requisitos lá

contidos.

9.5.2.16 Ensaio de permeabilidade

Um cilindro deve testado à permeabilidade em conformidade com A.21 e deve atender os requisitos lá contidos.

9.5.2.17 Ensaio de ciclagem com GMV

Um cilindro deve ser testado em conformidade com A.27 e deve atender os requisitos lá contidos.

9.5.3 Mudanças de projeto

Considera-se uma mudança de projeto qualquer modificação na seleção do material estrutural ou no dimensionamento não atribuíveis às tolerâncias normais de fabricação.

Modificações menores de projeto podem ser permitidas para qualificação através de um programa reduzido de ensaios. Modificações especificadas no projeto conforme a tabela 10 , necessitam somente dos ensaios de protótipo, como indicado tabela 10.

TABELA 10 – Modificações de Projeto para Cilindros do Tipo GMV-4

Modificação no Projeto	Tipo de Ensaio												
	Ruptura Hidrostática	Pressurização Cíclica à Temperatura Ambiente	Fogueira	Penetração	Ambiente	Tolerância à Defeito	Fluência a Alta Temperatura	Tensão de Ruptura	Danos por Queda	Torque no Bocal	Permeabilidade	Ciclagem com GMV	
	Item	A.12	A.13	A.15	A.16	A.14	A.17	A.18	A.19	A.20	A.25	A.21	A.27
Fabricante da fibra	X	X	—	—	—	—	X	X	X	X	X	X	X
Material do selante	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Material da fibra	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Material da resina	—	—	—	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—
Modif. no diâmetro ≤ 20%	X	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Modif. no diâmetro > 20%	X	X	X	X	—	X	—	—	X	—	—	—	—
Modificação no comprimento ≤ 50%	X	—	X <sup>a</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Modificação no comprimento > 50%	X	X	X <sup>a</sup>	—	—	—	—	—	X	—	—	—	—
Modific. na pressão serviço ≤ 20% <sup>b</sup>	X	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Forma das extremidades	X	X	—	—	—	—	—	—	—	X	X	X	X
Tamanho da abertura	X	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Modificação no revestimento	—	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	—
Projeto do bocal	—	—	—	—	—	—	—	—	—	X	X	X	X
Processo de fabricação	X	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Modificação no Projeto	Tipo de Ensaio											
	Ruptura Hidrostática	Pressurização Cíclica à Temperatura Ambiente	Fogueira	Penetração	Ambiente	Tolerância à Defeito	Fluência a Alta Temperatura	Tensão de Ruptura	Danos por Queda	Torque no Bocal	Permeabilidade	Ciclagem com GMV
	Item											
	A.12	A.13	A.15	A.16	A.14	A.17	A.18	A.19	A.20	A.25	A.21	A.27
Dispositivo de alívio de pressão	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<sup>a</sup> Ensaio requerido apenas quando o houver aumento do comprimento. <sup>b</sup> Apenas quando a espessura Mudar proporcionalmente ao diâmetro e/ou à pressão.												

## 9.6 Ensaios de lotes

### 9.6.1 Requisitos gerais

Os Ensaios de lotes devem ser realizados em cilindros acabados que sejam representativos da produção normal e que estejam finalizados com as marcas de identificação. O(s) cilindro(s) e selante(s) requeridos para o ensaio devem ser selecionados aleatoriamente em cada lote. Se mais cilindros que o obrigatório forem submetidos aos ensaios, todos os resultados devem ser documentados.

### 9.6.2 Ensaios requeridos

#### 9.6.2.1 No mínimo os seguintes ensaios devem ser realizados em cada lote de cilindros:

##### a) Em um cilindro:

##### 1) Um Ensaio hidráulico de ruptura em conformidade com A.12.

Se a pressão de ruptura for inferior à pressão mínima de ruptura calculada os procedimentos especificados no item 9.9 devem ser seguidos.

##### b) Em um cilindro ou selante ou amostra de testemunho representativa de um cilindro finalizado:

##### 1) Uma medição de controle das dimensões críticas em comparação com o projeto (ver 5.2.4.1);

##### 2) Um Ensaio de tensão do selante plástico em conformidade com A.22; os resultados do Ensaio devem satisfazer os requisitos do projeto (ver 5.2.4.1);

##### 3) A temperatura de fusão do selante plástico deve ser testada em conformidade com A.23 e alcançar os requisitos do projeto.

##### 4) Quando um revestimento de proteção configurar-se como parte do projeto um ensaio de revestimento de lote deve ser realizado em conformidade com A.24 e deve atender os requisitos lá apresentados. Onde o revestimento falhar em atender os requisitos de A.24, o lote deve ser 100 % inspecionado para remover os cilindros revestidos que apresentem defeito similar. Os revestimentos de todos os cilindros revestidos defeituosos podem ser retirados segundo um método que não afete a integridade do revestimento compósito e então estes podem ser novamente revestidos. O ensaio de revestimento de lote deve ser então repetido.

Todos os cilindros ou selantes representados por um lote de ensaios que apresentar falha em atingir os requisitos especificados devem seguir os procedimentos especificados no item 9.9.

#### 9.6.2.2 Adicionalmente, um ensaio de pressão cíclica periódico deve ser realizado em cilindros acabados em conformidade com A.13 na frequência de ensaios definida a seguir:

##### a) Inicialmente, em um cilindro de cada lote de fabricação, o bocal deve sofrer um ensaio de torque

em conformidade com A.25. O cilindro deve passar, então, por um ensaio de pressurização cíclica com um total de 1.000 ciclos vezes a vida útil do cilindro, em anos, com um mínimo de 15.000 ciclos. Seguindo o ciclo de pressurização requerido o cilindro deve ser testado a escoamento em conformidade com o método descrito em A.10 e deve atender os requisitos lá contidos;

b) Se numa produção seqüencial de 10 lotes de mesma família de projeto (p. ex.: materiais e processos similares dentro das definições de mudanças menores do projeto, visto no item 9.5.3), nenhum dos cilindros submetidos ao ciclo de pressurização descrito em a) vazarem ou romperem em menos de 1.500 ciclos multiplicado pela vida útil, em anos, do cilindro, (num mínimo de 22.500 ciclos), então o ensaio de pressurização cíclica pode ser reduzido para um cilindro de cada 05 (cinco) lotes de produção;

c) Se numa produção seqüencial de 10 lotes de mesma família de projeto nenhum dos cilindros submetidos ao ciclo de pressurização descrito em a) vazarem ou romperem em menos de 2.000 ciclos multiplicado pela vida útil, em anos, do cilindro, (num mínimo de 30.000 ciclos), então o ensaio de pressurização cíclica pode ser reduzido para um cilindro de cada 10 (dez) lotes de produção;

d) Ao expirar o prazo de 3 meses desde a realização do último ensaio de pressurização cíclica, um cilindro do próximo lote de fabricação deve ser submetido ao ensaio de pressurização cíclica, a fim de manter a freqüência reduzida de ensaio de lotes definidas em b) e c) ;

e) Se algum ensaio de pressurização cíclica de cilindro com freqüência reduzida descritos em b) ou c) falhar antes de atingir o número requerido de ciclos de pressurização (mínimo de 22.500 ou 30.000 ciclos de pressurização, respectivamente), então é apropriado repetir o ensaio de pressurização cíclica de lote na freqüência descrita em a) por um mínimo de 10 lotes de produção, a fim de restabelecer a freqüência reduzida de ensaio de pressurização cíclica de lotes descritas em b) e c) .

f) Se algum cilindro descritos em a), b) ou c) falhar antes de completar o período de ciclagem mínimo requerido de 1.000 ciclos multiplicado pela vida útil do cilindro, em anos (mínimo de 15.000 ciclos), então a causa da falha deve ser determinada e corrigida seguindo os procedimentos descritos no item 9.9. O ensaio de pressurização cíclica deve ser repetido em mais três cilindros de cada lote. Se algum destes três cilindros adicionais falhar antes de completar o período de ciclagem mínimo requerido de 1.000 ciclos multiplicado pela vida útil do cilindro, em anos, o lote deve ser rejeitado.

#### 9.7 Ensaio em todos os cilindros

Exames de produção e ensaios devem ser realizados em todos os cilindros de cada lote.

Cada cilindro deve ser examinado durante a fabricação e depois de concluído como descrito a seguir:

a) Por Inspeção dos selantes, para confirmar que o tamanho de defeito máximo apresentado é inferior à tolerância dimensional especificada no projeto;

b) Para verificar as dimensões críticas e a massa do cilindro finalizado e de algum selante ou revestimento com respeito às tolerâncias de projeto;

c) Para verificar a obediência ao acabamento superficial com o especificado;

d) Para verificar as marcações;

e) Para ensaio hidráulico em cilindros finalizados em conformidade com A.11, opção 1. O fabricante deve definir o limite de expansão elástica apropriado para o ensaio de pressão aplicado, mas em nenhum caso o limite de expansão elástica de algum cilindro pode exceder o valor médio do lote em mais de 10 %;

f) Por ensaio de escoamento em conformidade com A.10 e deve atender os requisitos lá apresentados

#### 9.8 Certificado de aceitação do lote

Se os resultados dos ensaios de lote realizados de acordo com 9.6 e 9.7 forem satisfatórios, o fabricante e o Inspetor devem assinar um certificado de aceitação. Um exemplo de certificado de aceitação (referido como "Relatório do fabricante e Certificado de Conformidade") é apresentado no anexo E.

## 9.9 Falha em atender os requisitos dos ensaios

Na eventualidade de ocorrer a incapacidade de atendimento aos requisitos de ensaio, pode ser realizado novo ensaio ou novo tratamento térmico e novo ensaio deve ser executado como descrito a seguir:

- a) Se houver evidência de uma falha de execução durante a realização de um ensaio ou um erro de medição, um ensaio adicional deve ser executado. Se o resultado deste ensaio for satisfatório, o primeiro ensaio pode ser ignorado;
- b) Caso o ensaio tenha sido realizado de maneira satisfatória, a causa da falha deve ser identificada
  - Todos os cilindros defeituosos devem ser rejeitados ou reparados por um método aprovado. Contudo que os cilindros reparados sejam aprovados pelo ensaio(s) requerido para reparo, eles podem retornar ao lote original;
  - Novo lote deve ser retestado. Todos os ensaios relevantes de protótipos ou de lotes apropriados para provar a aceitabilidade do novo lote devem ser novamente realizados. Se um ou mais ensaios indicarem uma insatisfação, mesmo que parcial, todos os cilindros do lote devem ser rejeitados.

## 10 Marcações

O fabricante deve providenciar que em cada cilindro seja feita uma marcação clara e permanente; os dígitos não podem ser menores que 6 mm de altura. A marcação pode ser feita por rótulos incorporados à resina, rótulos presos por adesivos, ou dígitos marcados em baixo relevo nas espessas extremidades dos cilindros tipo GMV-1 e GMV-2 ou, ainda, combinações das alternativas citadas. Rótulos adesivos e suas aplicações devem estar em conformidade com a ISO 7225 ou norma equivalente aceita pelo Inspetor. Rótulos múltiplos são permitidos e devem ser posicionados de modo a não ficarem obstruídos pelas cintas de montagem.

Os cilindros fabricados em conformidade com este Regulamento devem ter as seguintes marcações:

- a) As palavras “SOMENTE GMV”
- b) As palavras “NÃO UTILIZAR DEPOIS DE XX/XXXX” onde XX/XXXX identifiquem o mês e ano de expiração da validade. O período compreendido entre a data de fabricação e a data final de validade não deve exceder a vida útil de serviço especificada. A data de validade deve ser aplicada ao cilindro no momento do despacho, provendo que os cilindros tenham sido armazenados em lugares secos e sem pressão interna;
- c) Identificação do fabricante
- d) Identificação do cilindro (número de série único para cada cilindro);
- e) Pressão de serviço numa dada temperatura;
- f) Número da norma de fabricação, juntamente com o tipo de cilindro e número de registro da certificação (se aplicável);
- g) As palavras “usar somente DAP aprovados pelo fabricante”;
- h) Quando forem usados rótulos, um único número de identificação e a identificação do fabricante estampado numa parte exposta da superfície metálica para permitir seu rastreamento em caso de danificação do rótulo;
- i) Data de fabricação (mês e ano);
- j) Outras marcas adicionais, como requisitado pelo Inspetor.

As marcações devem ser localizadas na ordem apresentada, na relação acima mas arranjos particulares podem ser utilizados para atender ao espaço disponível. Uma forma aceitável seria:

SOMENTE GMV

NÃO USAR APÓS 03/2009

Fabricante / Número de identificação

200 bar/15°C

ISO 11439:2000 GMV-2 (número de registro)

“Usar somente DAP aprovado pelo fabricante”

Data de fabricação 06/99

11

#### Preparação para despacho

Antes de ser despachado pelo fabricante, cada cilindro deve ser internamente limpo e seco. Cilindros não fechados imediatamente pela instalação da válvula, e dispositivos de segurança, se aplicáveis, devem ser tampados, para prevenir a entrada de umidade e proteger a rosca. Um inibidor de corrosão (p. ex.: fluidos com óleo) deve ser borrifado em todos os cilindros e selantes antes do despacho.

A relação de serviços do fabricante e toda necessária informação e instruções para assegurar o correto manuseio, utilização e inspeções de serviço do cilindro deve ser fornecida ao comprador. A relação de serviços deve estar em conformidade com 5.2.3. Orientações sobre o conteúdo das instruções são dadas no Anexo H.

## Anexo A

### Métodos e critérios de ensaio

#### A.1 Ensaio de tração para cilindros de aço, de alumínio e selantes

O ensaio de tração deve ser realizado em materiais a partir da parte cilíndrica de cilindros acabados ou recobertos, usando um corpo-de-prova na forma retangular de acordo com as normas ISO 9809-1, para aços e ISO 7866, para alumínio. As duas faces do corpo-de-prova, representando o lado externo e interno da parede cilíndrica, não devem ser usinadas.

O ensaio de tração deve ser realizado de acordo com a norma ISO 6892.

A resistência à tração deve ser determinada segundo as especificações do projeto do fabricante do aço ou alumínio.

Para cilindros de aço e selantes, o alongamento deve ser de, pelo menos, 14%.

Para cilindros de liga de alumínio e selantes dos tipos de construção 1 ou 2, o alongamento deve ser de, pelo menos, 12%.

Para selantes de liga de alumínio do tipo de construção 3, o alongamento deve ser determinado segundo as especificações de projeto (fabricante).

NOTA Atenção deve ser tomada para o método de medida do alongamento, descrita na norma ISO 6892, especialmente em regiões, onde o corpo-de-prova de tração gera a forma cônica, podendo resultar em um ponto de fratura fora do meio do comprimento útil (“gauge length”).

#### A.2 Ensaio de impacto para cilindros de aço e de selantes de aço

ensaio de impacto deve ser realizado a partir de três corpos-de-provas retirados da parte cilíndrica de um cilindro acabado ou recoberto, seguindo as especificações contidas na norma ISO 148.

Para realização do ensaio de impacto, devem ser retirados corpos-de-prova (parede cilíndrica) nas direções, especificadas na Tabela A.1. O entalhe deve ser perpendicular a superfície da parede cilíndrica. Para ensaios longitudinais, o corpo-de-prova deve ser usinado nas 6( seis) faces. Se a espessura não permitir corpos-de-prova com largura final de 10mm, a largura deve ser tão próxima quanto possível do valor da espessura da parede do cilindro. Os corpos-de-prova retirados na direção transversal devem ser usinados sobre os quatro lados somente, a face interna e externa da parede do cilindro não deve ser usinada.

Os valores do ensaio de impacto não podem ser inferiores aos especificados na Tabela A.1.

TABELA A.1 – Valores aceitáveis para o ensaio de impacto

Diâmetro do cilindro D, mm		>140			≤140
Direção do ensaio		Transversal			Longitudinal
Largura do corpo-de-prova, mm		3 a 10	>5 a 7,5	>7,5 a 10	3 a 10
Temperatura, °C		-50			-50
Resistência ao impacto J/cm <sup>2</sup>	Média de 3 corpos-de-prova	30	35	40	60
	CP individual	24	28	32	48

#### A.3 Ensaio de resistência a corrosão sob tensão induzida por sulfeto para aço

Exceto como identificado a seguir, o ensaio deve ser conduzido de acordo com o Método A-NACE Standard Tensile Test, como descrito na norma NACE TM.0177-96.

O ensaio deve ser executado em pelo menos 3 corpos-de-prova de tração com “gauge” de diâmetro 3,81mm (0,150”), usinados da parede de um cilindro ou selante acabado.

Os corpos-de-prova devem ser colocados sob uma carga de tensão constante igual a 60% da

tensão mínima de escoamento especificada do aço, imersa em solução de água destilada com 0,5% (fração de massa) de acetato trihidratado de sódio e ajustada para um pH inicial de 4,0 , usando ácido acético. A solução deve ser continuamente saturada a temperatura ambiente e pressurizada com 0,414kPa (0,06 psia) de sulfeto de hidrogênio (balanceado no nitrogênio). Os corpos-de-prova testados não devem falhar dentro de um período de teste de 144 horas.

A.4 Ensaio de corrosão para ligas de alumínio

O ensaio de corrosão para ligas de alumínio deve ser desenvolvido de acordo com o anexo A da norma ISO 7866:1999, atendendo os requisitos nela exigidos.

A.5 Ensaio de fratura por carregamento contínuo (sustained load cracking (SLC)) para alumínio

O ensaio para determinação da resistência à SLC para ligas de alumínio deve ser desenvolvido de acordo com o anexo B da norma ISO 7866:1999, atendendo os requisitos nela exigidos.

A.6 Ensaio de determinação de escoamento antes do colapso (VAC)

Três cilindros acabados devem ser ensaiados com ciclos de pressão entre 20 bar e 300 bar, cuja taxa não pode exceder a 10 ciclos por minuto, de acordo com A.13.

Todos cilindros devem falhar por escoamento e exceder 45.000 ciclos de pressão.

A.7 Ciclagem de pressão a temperatura extrema

Cilindros acabados, com cobertura de compósito e vazio de qualquer revestimento protetivo, deve ser submetido a ensaio cíclico, com se segue:

- a) condicionar por 48 horas na pressão zero, temperatura de 65°C ou maior, e 95% ou maior de umidade relativa.
- b) pressurizar hidrostáticamente por 500 ciclos, multiplicado pelo tempo de serviço especificado, em anos, e usando pressões entre 20 bar e 260 bar ou maior, com uma umidade relativa de 95% ou maior e temperatura de 65°C ou superior.
- c) condicionar o cilindro e fluido a temperatura de - 40°C ou menor, sendo monitorada a temperatura sob a superfície do cilindro e o fluido no interior deste;
- d) pressurizar na faixa de 20 bar a 200 bar por 500 ciclos, multiplicado pelo tempo de serviço em anos para temperatura de - 40°C ou menor. Instrumentos adequados de medição devem ser fornecidos para assegurar a temperatura mínima do fluido durante o ciclo de baixa temperatura.

A taxa do ciclo de pressurização de b) não pode exceder a 10 ciclos por minuto. A taxa do ciclo de pressurização de d) não pode exceder a 3 ciclos por minuto, a menos que um transdutor de pressão seja instalado diretamente dentro do cilindro.

Durante esse ensaio cíclico, o cilindro não deve mostrar sinais de ruptura, escoamento ou desenrolamento da fibra

Seguindo o ensaio de pressão a temperaturas extremas, os cilindros devem ser pressurizados hidrostáticamente para falhar de acordo com a A.12, e alcançar a pressão mínima de rompimento de 85% do mínimo especificado em projeto. Para o projeto GMV-4, antes do ensaio de ruptura hidrostática, o cilindro deve ser testado quanto a escoamento, conforme A.10.

A.8 Ensaio de dureza Brinell

O ensaio de dureza Brinell deve ser realizado sob a parede paralela (sentido longitudinal) de todo o cilindro ou selante, segundo o especificado na norma ISO 6506-1, na razão de um ensaio (indentação) por metro de comprimento da parede paralela. O ensaio deve ser realizado após o tratamento térmico final e os valores de dureza determinados devem estar na faixa especificada no projeto.

A.9 Ensaio de revestimento

Os revestimentos devem ser avaliados usando os seguintes métodos de ensaio, ou usando normas equivalentes aceitáveis para o Inspetor no país:

- a) ensaio de adesão, segundo a norma ISO 4624 , usar método A ou B como aplicável. O revestimento deve exibir valores de adesão compatíveis com classe 4A ou 4B, como aplicável;
- b) flexibilidade, segundo a norma ASTM D522-93, usar o método B com mandril de  $\varnothing=12,7\text{mm}$  (0,5in)

para a temperatura de -20°C, na espessura especificada. Amostras para ensaio de flexibilidade devem ser preparadas de acordo com a norma ASTM D522-93. Não devem ocorrer trincas visualmente aparentes;

- c) resistência ao impacto, segundo a norma ASTM D2794-93. O revestimento na temperatura ambiente deve ser aprovado quando o valor de ensaio de impacto for 18J (13,3 ft.lbs);
- d) resistência química, segundo a norma ASTM D1308-87, exceto quando for determinado uma norma específica. O ensaio deve ser conduzido usando o método de ponto aberto e exposição de 100h a solução de 30% de ácido sulfúrico (ácido de bateria com uma densidade específica 1,219) e exposição por 24h a glicol polialcalino (equivalente a fluido de freio). Não deve ser evidenciado levantamento, empelotamento ou amolecimento do revestimento. A adesão deve alcançar a classe 3, quando o ensaio for realizado segundo a norma ISO 4624;
- e) exposição mínima de 1.000h, segundo as especificações da norma ASTM G 154-00. Não deve ser evidenciado empelotamento e a adesão deve se enquadrar no grau 3, quando ensaiado segundo a norma ISO 4624. O máximo de brilho perdido permitido deve ser de 20%;
- f) mínimo de 500h de exposição, segundo as especificações da norma ISO 9227. A profundidade da marca de risco não deve exceder a profundidade de 2 mm, não deve ser evidenciada ocorrência do tipo empelotamento e a adesão deve se enquadrar no grau 3, quando o ensaio for realizado de acordo com a norma ISO 4624;
- g) resistência ao arrancamento na temperatura ambiente, segundo as especificações contidas na norma ASTM D3170-87. O revestimento deve ser da classe 7A ou superior e não pode expor o substrato.

#### A.10 Ensaio de escoamento

O tipo GMV-4 deve ser ensaiado para determinação de escoamento seguindo as etapas de procedimento a seguir (ou uma alternativa aceitável pelo Inspetor):

- a) cilindros totalmente secos;
- b) pressurizar os cilindros a pressão de serviço com ar seco ou nitrogênio contendo gás detetor como o gás hélio.

Qualquer escoamento detectado deve ser motivo para rejeição.

Nota Escoamento é o alívio de gás através de um trinca, poro, falta de união ou defeito similar. Permeabilidade através da parede em conformidade com A21 não é considerada como escoamento.

#### A.11 Ensaio hidráulico

Qualquer pressão aplicada ao cilindro após a auto-interferência e antes do ensaio hidrostático não deve exceder a 90% da pressão do ensaio hidrostático.

Uma das seguintes opções a seguir deve ser aplicada:

Opção 1 – Ensaio de expansão volumétrica

- a) cilindro deve ser hidrostaticamente ensaiado com uma pressão de, pelo menos, 1,5 X a pressão de trabalho. Em nenhum caso a pressão de teste deve exceder a pressão de auto-interferência;
- b) A pressão deve ser mantida durante 30 segundos, suficiente para garantir a completa expansão. Qualquer pressão interna aplicada após auto-interferência antes do teste hidrostático não excederá 90% da pressão de ensaio hidrostático. Se a pressão de ensaio não puder ser mantida, devido à falha no aparato de ensaio, é permitido repetir o ensaio com aumento de pressão de 7 bar. Não são permitidos mais do que 2 ensaios.
- c) Qualquer cilindro que não alcançar o limite de rejeição especificado, deve ser rejeitado e classificado como desqualificado para o uso.

Opção 2 – Ensaio de comprovação de pressão

Gradual e regularmente a pressão hidrostática dentro do cilindro deve ser aumentada, até a pressão de ensaio, pelo menos 1,5 X a pressão de trabalho ser alcançada. A pressão de ensaio deve ser mantida por pelo menos 30 segundos para certificação de que não exista escoamento.

#### A.12 Ensaio de pressão hidrostática de rompimento

A taxa de pressurização não deve exceder a 14bar/s a pressões acima de 80% da pressão de ruptura de projeto exceder 3,5 bar/s, então o cilindro deve ser sistematicamente colocado entre a pressão fonte e a pressão do medidor, ou deve permanecer 5s fixados na pressão mínima de rompimento.

A pressão mínima de rompimento exigida (calculada) deve ser pelo menos de 450 bar e, em nenhum caso, menor do que o valor apropriado para os requisitos da razão de tensão. A pressão de rompimento deve ser registrada. A ruptura pode ocorrer na região cilíndrica ou no domo do cilindro.

#### A.13 Ciclando pressão na temperatura ambiente

A ciclagem deve ser desenvolvida de acordo com o procedimento a seguir:

- a) encher o cilindro com fluido não corrosivo tal como óleo, água com inibidor ou glicol;
- b) ciclo de pressão no cilindro deve ser entre 20 bar e 260 bar não excedendo 10 ciclos/min.

O número de ciclo até a falha deve ser registrado, assim com a descrição e localização da região de fratura e o ponto de iniciação da mesma.

#### A.14 Ensaio em ambiente ácido

Sobre um cilindro acabado deve ser executado o seguinte procedimento:

- a) expor uma área de 150 mm de diâmetro da superfície do cilindro durante 100 h em solução de ácido sulfúrico a 30% (ácido de bateria com densidade específica de 1,219), manter o cilindro pressurizado hidrostaticamente a pressão de 260 bar;
- b) pressurizar o cilindro para rompimento, segundo o procedimento definido no item A.12.

A pressão de rompimento deve exceder 85% do valor mínimo da pressão de rompimento definida em projeto.

#### A.15 Ensaio de resistência a fogueira

##### A.15.1 Geral

O ensaio de resistência ao fogo foi desenvolvido para demonstrar que cilindros acabados, completos com sistema de proteção ao fogo (válvula do cilindro, dispositivo de alívio de pressão e / ou isolamento térmico integral) especificado em projeto, evitará a ruptura do cilindro quando ensaiado sob condições específicas de fogo.

Devem ser tomadas precauções, durante o ensaio com fogo, quanto a possibilidade de ruptura do cilindro.

##### A.15.2 Ajuste do cilindro

O cilindro deve ser colocado horizontalmente com aproximadamente 100 mm do fundo acima da fonte de fogo.

Uma blindagem metálica deve ser usada para evitar chamas diretas sobre as válvulas do cilindro, montagem, e / ou dispositivo de alívio de pressão. A blindagem metálica não deve estar em contato direto com o sistema específico de proteção do cilindro (dispositivo de alívio de pressão ou a válvula do cilindro).

Qualquer falha durante o ensaio de uma válvula, montagem ou tubo, que não seja parte do sistema de proteção especificado no projeto, deve invalidar o ensaio.

##### A.15.3 Fonte de fogo

A fonte de fogo deve ser um comprimento uniforme de 1,65 m e deve fornecer uma chama que deve colidir sobre toda a superfície do cilindro.

Qualquer combustível pode ser usado para fornecer a uma chama ao ensaio, desde que possua calor uniforme suficiente para manter o ensaio na temperatura específica, até o cilindro estar vazio. A seleção do combustível deve levar em consideração a poluição do ar no ambiente de ensaio. A disposição da chama deve ser registrada em detalhes suficientes para assegurar que a taxa de calor transferida ao cilindro possa ser reproduzida.

Qualquer falha ou inconsistência na fonte de calor durante o ensaio, deve invalidar o resultado.

#### A.15.4 Medição de temperatura e pressão

As temperaturas devem ser monitoradas utilizando-se pelo menos três termopares, dispostos ao longo da parede cilíndrica e espaçados não mais do que 0,75m.

Uma blindagem deve ser usada para evitar o contato da chama diretamente sobre os termopares. Uma alternativa pode ser a inserção de termopares em blocos de metal medindo não mais do que 25mm quadrados.

A temperatura e a pressão do cilindro deve ser registrada em intervalos de 30 s ou menos durante o ensaio.

#### A.15.5 Exigências gerais de ensaio

O cilindro deve ser pressurizado a pressão de serviço com GMV ou ar comprimido e ensaiado na posição horizontal na pressão de trabalho e, a 25% da pressão de trabalho se a atividade térmica DAP não for usada.

Imediatamente após a ignição, deve ser produzida uma chama que deve colidir com a superfície do cilindro ao longo de um comprimento de 1,65m e através do diâmetro do cilindro.

Dentro do intervalo de 5 minutos a temperatura de pelo menos um termopar deve indicar  $\geq 590$  °C. Esta temperatura mínima deve ser mantida para o resto do ensaio.

Para cilindros com comprimento de 1,65m ou menor, o centro do cilindro deve ser posicionado sobre centro da fonte de fogo.

Para cilindros com comprimento maior do que 1,65m, o cilindro deve ser posicionado como se segue:

- a) se o cilindro estiver montado com dispositivo de alívio de pressão em uma das extremidades, a fonte de fogo deve iniciar na extremidade oposta ao dispositivo.
- b) se o cilindro estiver montado com dispositivo de alívio de pressão em ambas as extremidades, ou em mais de uma localização ao longo do comprimento do cilindro, o centro da fonte de calor deve ser centrado no meio entre os dispositivos de alívio de pressão que são separados pela maior distância horizontal).
- c) se o cilindro estiver adicionalmente protegido por uma camada de isolante térmico, então dois ensaios de fogo na pressão de trabalho devem ser desenvolvidos, um com fogo centrado no meio do comprimento do cilindro, e a outra com o fogo iniciando na extremidade de um segundo cilindro.

#### A.15.6 Resultados aceitáveis

O cilindro deve ser aliviado através do dispositivo de alívio de pressão.

#### A.16 Ensaio de penetração

Um cilindro pressurizado com GMV a 200 bar  $\pm$  10 bar, deve ser penetrado com uma bala perfurante de blindagem com diâmetro de 7,62mm ou maior. A bala deve atravessar completamente pelo menos uma das paredes do cilindro. Para os projetos GMV-2, GMV-3 e GMV-4, o projétil deve colidir com o lado da parede em um ângulo de aproximadamente 45°. O cilindro não deve romper.

#### A.17 Ensaio de tolerância para imperfeição

Somente para os projetos GMV-2, GMV-3, GMV-4, um cilindro acabado, com revestimento protetivo completo, deve ter imperfeições de corte no compósito na direção longitudinal. As falhas devem ser maiores do que os limites estabelecidos pelo fabricante para Inspeção visual. Com um mínimo, uma falha deve ser de 25mm de comprimento e 1,25mm de profundidade, e uma outra falha deve ser de 200mm de comprimento com uma profundidade de 0,75mm, cortado na direção longitudinal a parede do cilindro.

O cilindro ensaiado deve ser então ciclando entre 20 a 260 bar na temperatura ambiente, inicialmente por 3.000 ciclos, seguido por processo adicional de 12.000 ciclos.

O cilindro não pode vaziar ou romper dentro dos primeiros 3.000 ciclos, mas pode falhar por escoamento durante 12.000 ciclos posteriores. Todos os cilindros que completarem o ensaio devem ser destruídos.

- A.18 Ensaio de fluência a alta temperatura
- Este ensaio deve ser exigido para todos os tipos GMV-4, e todos os tipos GMV-2 E GMV-3 em que a temperatura de transição vítrea da matriz (resina) não exceda a 102°C. Um cilindro acabado deve ser ensaiado como descrito abaixo:
- a) cilindro deve ser pressurizado até 260 bar e aquecido e mantido a temperatura de 100 °C, por pelo menos 200 h;
  - b) seguindo procedimento de ensaio, o cilindro deve alcançar os requisitos de teste expansão hidrostática definida em (A.11), o de ensaio de escoamento no item (A.10) e de pressão hidrostática de rompimento (A.12).
- A.19 Ensaio acelerado de tensão de ruptura
- Somente para os tipos GMV-2, GMV-3, GMV-4, um cilindro deve ser pressurizado hidrostaticamente a 260 bar na temperatura de 65 °C. O cilindro deve ser mantido a essa temperatura e pressão por 1.000 h. O cilindro então deve ser pressurizado para rompimento seguindo o procedimento A.12, exceto se a pressão de rompimento exceder a 85% do mínimo especificado em projeto para pressão de rompimento.
- A.20 Ensaio de dano por impacto
- Um ou mais cilindros acabados devem ser ensaiados em queda, na temperatura ambiente sem pressurização interna ou válvula acoplada. A superfície sobre a qual os cilindros devem cair deve ser horizontal e lisa (cimento ou estrado). Um cilindro deve ser deixado cair na posição horizontal com o fundo a uma altura de 1,8 m acima da superfície sobre a qual foi deixado cair. Um cilindro deve ser deixado cair verticalmente sobre umas extremidades do cilindro de uma altura suficiente da superfície de modo que a energia potencial seja de 488J, mas em nenhum caso a altura de parte inferior do cilindro deve ser superior a 1,8 m. Um cilindro deve ser deixado cair de um ângulo de 45° com relação ao domo, de uma altura, tal que o centro de gravidade fique a 1,8 m, entretanto, se a extremidade inferior estiver a menos de 0,6 da superfície, o ângulo de queda deve ser mudado para manter uma altura mínima de 0,6 m do centro de gravidade de 1,8 m.
- Após as operações descritas acima, os cilindros devem ser ciclados entre 20 e 260 bar, a temperatura ambiente, inicialmente por 3.000 ciclos, seguidos por 12.000 ciclos adicionais.
- Os cilindros não devem romper ou vaziar dentro dos 3.000 ciclos iniciais mas, podem falhar por vazamento durante os 12.000 ciclos adicionais. Todos os cilindros utilizados neste ensaio devem ser destruídos.
- A.21 Ensaio de permeabilidade
- Este ensaio somente deve ser exigido para os tipos GMV-4. Um cilindro deve ser preenchido com GMV comprimido na pressão de trabalho, colocado em câmara selada na temperatura ambiente, e monitorado quanto a escoamento por 500h. A taxa de Permeabilidade deve ser menor que 0,25 ml do GMV por hora litro da capacidade de água do cilindro. O cilindro deve ser seccionado e as superfícies internas inspecionadas para determinar evidências de trincas ou deterioração.
- A.22 Propriedades de tração do plástico
- A resistência ao escoamento e o alongamento do material plástico do selante deve ser determinado na temperatura de -50°C de acordo com a norma ISO 527-2.
- Os resultados do ensaio demonstrarão a ductilidade do material plástico do selante na temperatura de -50°C ou menores, alcançando-se os valores especificados pelo fabricante.
- A.23 Temperatura de amolecimento do plástico
- Materiais poliméricos de selantes acabados devem ser ensaiados segundo as especificações contidas na norma ISO 306.
- A temperatura de amolecimento deve ser de, pelo menos, 100 °C.
- A.24 Ensaio de continuidade de revestimento
- A.24.1 Espessura do revestimento
- A espessura do revestimento deve ser medida segundo as especificações da norma ISO 2808, e

deve atender os requisitos de projeto.

A.24.2 Adesão do revestimento

A resistência de adesão do revestimento deve ser medida segundo as especificações da norma ISO 4624:-, e deve ter um grau mínimo de 4 quando medida a partir dos métodos A ou B, como adequado.

A.25 Ensaio de torque em hélice

O corpo do cilindro deve ser fixado contra rotação e um torque de duas vezes o valor especificado pelo fabricante de válvula ou DAP deve ser aplicado às extremidades do cilindro. O torque deve ser aplicado primeiro na direção de desaperto e, finalmente, de na direção de aperto.

A.26 Ensaio de cisalhamento da resina

Material do tipo resina devem ser ensaiados a partir de uma amostra representativa do material como um todo, seguindo as especificações contidas na norma ISO 14130, ou uma norma equivalente aceitável pelo Inspetor. A amostra deve ser colocada por 24h em água em ebulição e deve, após esta fase, apresentar uma resistência mínima ao cisalhamento de 13,8 MPa.

A.27 Ensaio ciclando GMV

Consideração especial deve ser dada à segurança durante a realização deste ensaio. Condição prévia para realização deste ensaio, os cilindros desse projeto devem ter passado com sucesso nas especificações contidas no item A.10 (ensaio de escoamento), A.12 (ensaio de pressão hidrostática de rompimento), A.13 (ensaio de ciclagem de pressão à temperatura ambiente) e A.21 (ensaio de Permeabilidade).

Um cilindro acabado tipo GMV-4 deve ser ciclado com GMV, usando uma pressão de pelo menos 20bar e a pressão de trabalho por 1.000 ciclos. O tempo de enchimento deve ser de no máximo 5 minutos. A menos que de outra forma seja especificado pelo fabricante, cuidado deve ser tomado para assegurar que a da temperatura durante a vazão não ultrapasse as condições de serviço especificadas.

O cilindro deve ser ensaiado quanto o escoamento segundo as especificações contidas no item A.10 e atingir os requisitos lá contidos. Seguindo-se a complementação da ciclagem de GMV, o cilindro deve ser seccionado. O selante e o selante/interface externa deve ser inspecionado para evidenciar qualquer deterioração, tais como, trinca por fadiga ou descarga eletrostática.

## Anexo B

### Inspeção ultra-sônica

#### B.1 Objetivo

Esta seção baseia-se nas técnicas utilizadas pelos fabricantes de cilindros. Desde que adequadas aos métodos de fabricação, outras técnicas podem ser usadas.

#### B.2 Requisitos gerais

O equipamento de Inspeção ultra-sônica deve permitir, no mínimo, a detecção dos padrões de referência, como descritas em B.3.2. Devem prestar serviço regular, em conformidade com as instruções de operação do fabricante para assegurar que sua precisão está sendo mantida. Os registros de Inspeção e certificados de aprovação devem ser mantidos. Este equipamento de ensaio deve ser operado por pessoal treinado e supervisionado por pessoas experientes e com certificação de nível 2 da ISO 9712:1999.

As faces internas e externas dos cilindros a serem ensaiados devem estar nas condições próprias à produção deste ensaio.

Para a detecção de falhas, deve ser usado o sistema do método pulse-echo. Para medições de espessura, pode ser usado tanto o método de ressonância quanto de pulse-echo. Técnicas de imersão ou de contato também podem ser utilizadas.

Para assegurar a devida transmissão da energia ultra-sônica entre a sonda de ensaio e o cilindro, deve ser utilizado um método de acoplamento adequado.

#### B.3 Detecção de falhas das partes do cilindro

##### B.3.1 Procedimento

Os cilindros a serem inspecionados e a unidade de sondagem deve ter movimento de rotação e translação, um em relação ao outro, de forma que possa ser descrita uma varredura helicoidal do cilindro. A velocidade de rotação e translação deve ser constante, dentro de uma faixa de  $\pm 10\%$ . O passo da hélice deve ser menor que a espessura coberta pela sonda (ao menos 10% de sobreposição deve ser garantida) e que esteja relacionada com a efetiva espessura do feixe, tal que possa assegurar 100% de cobertura à velocidade de rotação e translação usada durante o processo de calibração.

Um método alternativo de varredura pode ser utilizado para a detecção de defeitos transversais, onde a varredura ou o movimento relativo das sondas e a peça de trabalho seja longitudinal, o movimento de varredura seja tal que possa assegurar 100% de cobertura da superfície com cerca de 10% de sobreposição das trajetórias da varredura. A parede do cilindro deve ser verificada para defeitos longitudinais com a energia ultra-sônica transmitida em ambas direções circunferenciais e para os defeitos transversais, em ambos sentidos longitudinais.

Nesse caso, ou quando for executado um ensaio opcional nas regiões de transição entre a parede e o gargalo e/ou entre parede e base, a operação pode ser manual, se não for executada automaticamente.

A eficácia do equipamento deve ser periodicamente verificada comparando o padrão de referência com o procedimento de ensaio. Esta verificação deve ser realizada pelo menos no início e no fim de cada turno. Se, durante a verificação, não for detectada a presença da marca de referência, todos os cilindros ensaiados após a última verificação de aceitação devem ser reensaiados, após a reparação do equipamento.

##### B.3.2 Padrão de referência

Um padrão de referência de comprimento apropriado deve ser preparado, a partir de um cilindro de diâmetro e espessura semelhantes, com material de mesmas características acústicas e cuja superfície tenha acabamento igual ao que será inspecionado. Este padrão de referência não deve ter descontinuidades que interfiram com a detecção das marcas de referência.

As marcas de referência, longitudinais e transversais, devem ser usinadas nas partes interna e externas do padrão. Elas devem ficar separadas de tal forma que cada uma possa ser claramente identificada.

As dimensões e o forma das marcas são de crucial importância para o ajuste do equipamento (ver figuras B.1 e B.2).

- O comprimento das marcas (E) não pode ser maior que 50 mm.

- A largura (W) não pode ser maior do que o dobro da profundidade nominal (T). Contudo, onde esta condição não puder ser satisfeita, uma largura de 1,0 mm é aceitável.

- A profundidade das marcas (T) deve ser  $5\% \pm 0,75\%$  da espessura nominal (S), com um mínimo de 0,2 mm e um máximo de 1,0 mm, ao longo de todo o comprimento da marca. Prolongamentos em cada extremidade são permitidos.

- A marca deve ter as bordas com cantos vivos na sua interseção com a superfície da parede do cilindro. A seção da marca deve ser retangular, exceto quando for utilizado o método de usinagem ("spark erosion"); neste caso estará confirmado que a base do cilindro é arredondada.

- A forma e as dimensões da marca devem ser demonstradas por método adequado.

#### B.4 Calibração do equipamento

Utilizando-se o padrão de referência descrito em B.3.2, o equipamento deve ser ajustado para produzir indicações claramente identificadas dos entalhes de referência internos e externos. A amplitude as indicações devem ser tão idênticas quanto possíveis. A indicação da menor amplitude deve ser utilizada como nível de rejeição e para o ajuste de dispositivos visuais, auditivos, de registro ou distribuição. O equipamento deve ser calibrado com padrão de referência ou cabeçote, ou ambos, movimentando-se da mesma maneira, na mesma direção e velocidade daquelas que serão utilizadas durante a inspeção do cilindro. Todos dispositivos visuais, auditivos, de registro ou distribuição devem operar satisfatoriamente à velocidade de teste.

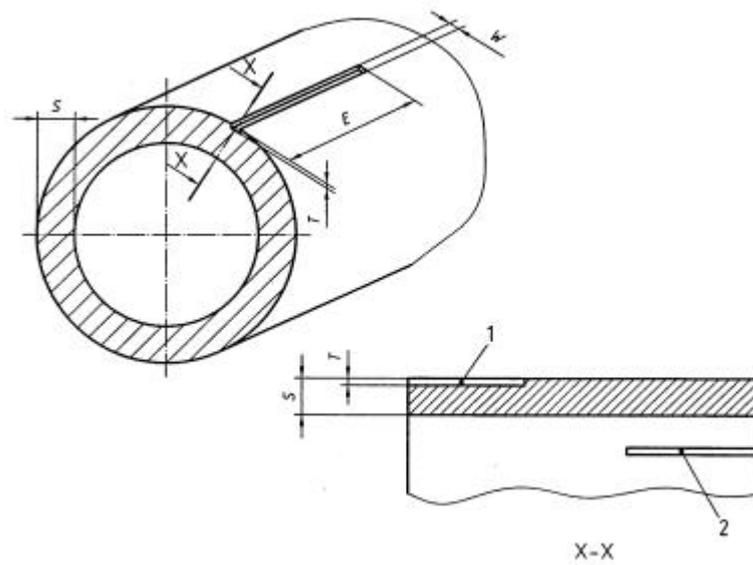
#### B.5 Medição de espessura de parede

Caso a medição de espessura de parede não seja efetuada em outro estágio de produção, a parte cilíndrica do cilindro deve ser 100% examinada para assegurar que a espessura não seja menor do que o valor mínimo de espessura garantido pelo projeto.

#### B.6 Interpretação dos resultados

Cilindros com indicação que sejam iguais ou maiores que as indicações inferiores dos entalhes devem ser segregados. Defeitos de superfície devem ser removidos; após a remoção os cilindros devem ser reinspecionados quanto a detecção de falhas por ultra-som e medições de espessura.

Qualquer cilindro que apresente valores de espessura de parede abaixo da mínima garantida em projeto, devem ser rejeitados.



1- Entalhe de referência externo

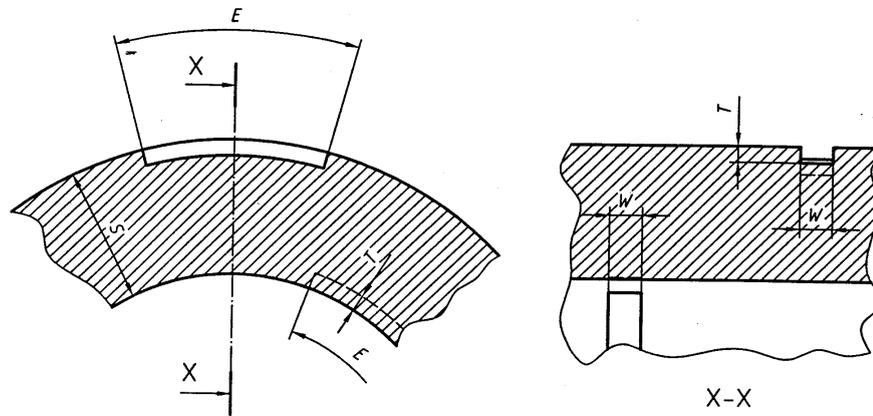
2- Entalhe de referência interno

Nota:  $T \leq (5 \pm 0,75)\% S$  mas  $0,2 \text{ mm} \leq T \leq 1 \text{ mm}$

$W \leq 2T$ , mas, se não for possível, então  $W \leq 1 \text{ mm}$

$E \leq 50 \text{ mm}$

FIGURA B.1 – Detalhes de projeto e dimensões dos entalhes de referência para defeitos longitudinais.



Nota:  $T \leq (5 \pm 0,75)\% S$  mas  $0,2\text{mm} \leq T \leq 1\text{mm}$

$W \leq 2T$ , mas, se não for possível, então  $W \leq 1\text{mm}$

$E \leq 50\text{mm}$

FIGURA B.2 – Representação esquemática dos entalhes de referência para defeitos circunferenciais.

#### B.7 Certificação

O ensaio de ultra-som deve ser certificado pelo fabricante de cilindros.

Todo cilindro que tenha passado pelo ensaio ultra-sônico de acordo com essa especificação, deve ser marcado / estampado com o símbolo "UT".

## ANEXO C

### Procedimentos de aprovação e certificação

#### C.1 Geral

A Certificação do fabricante, aprovação do cilindro e monitoramento do controle de qualidade / procedimento de controle são tipicamente realizados ou pela autoridade reguladora ou pela autoridade de Inspeção Independente aprovada e designada pela autoridade reguladora. Este anexo descreve o processo que envolve tais procedimentos. Pode haver mais de uma autoridade de Inspeção independente num país e esta autoridade pode ser de outro país.

#### C.2 ificação do fabricante

Para obter a certificação num país, o fabricante deve recorrer à autoridade reguladora para certificação. O recurso deve conter a documentação do projeto, processos e controle de qualidade / Inspeção, como prescrito no item 5.

A Autoridade Reguladora certifica o fabricante através das ações a seguir e edita um “certificado de aprovação” :

- A autoridade reguladora executa ou provê a execução por uma autoridade de Inspeção independente, um exame do local de fabricação, incluindo equipamento e controle de qualidade. Isto inclui observações da fabricação, ensaios e operações de Inspeção. Serve para verificar se o local, equipamento, pessoal e sistemas estão adequados para a produção de cilindros conforme este Regulamento.

- A Autoridade Reguladora executa ou provê a execução de testes em cilindros do lote de produção protótipo. Esses testes devem cumprir os requerimentos dos testes de qualificação de projeto descritos neste Regulamento, referentes ao tipo de projeto de cilindro sob consideração.

#### C.3 rovação de tipo de cilindro

##### C.3.1 Seguindo um recurso para aprovação de tipo de cilindro, a Autoridade Reguladora ou a Autoridade de Inspeção Independente:

- examina a documentação técnica para verificar se o cilindro foi fabricado em sua conformidade e que o projeto está de acordo com as relevantes disposições deste Regulamento.

- concorda com o recorrente sobre os meios com os quais serão levados a efeito as inspeções e ensaios.

- executa ou manda executar as inspeções e ensaios especificados para determinar que este Regulamento foi aplicada e que os procedimentos adotados pelo fabricante atendem os requisitos deste Regulamento.

##### C.3.2 Quando o tipo de cilindro atender aos requisitos deste Regulamento, a Autoridade Reguladora deve emitir um certificado de aprovação ao recorrente. O certificado deve conter o nome e endereço do fabricante, resultados e conclusões da Inspeção e os apropriados dados para identificação do cilindro aprovado. Uma relação das partes relevantes da documentação técnica deve ser anexada ao certificado e uma cópia deve ser mantida pela Autoridade Reguladora e pelo fabricante.

Cada fabricante deve ter seu número/símbolo de identificação, o qual deve ser estampado ou marcado no cilindro.

##### C.3.3 Caso ao fabricante seja negada a aprovação ISO para cilindros, a Autoridade Reguladora deve fornecer as razões detalhadas, por escrito, desta negativa.

##### C.3.4 O fabricante deve informar à Autoridade Reguladora que emitiu a certificação de aprovação de cilindros, sempre que forem feitas as modificações dos equipamentos ou procedimentos aprovados. Uma aprovação adicional deve ser requerida onde tais modificações afetem a conformidade dos cilindro em relações a aprovação original, e é dada na forma de uma emenda ao certificado de aprovação original.

##### C.3.5 Caso solicitado, a Autoridade Reguladora pode comunicar a qualquer outra Autoridade Reguladora as informações relevantes que dizem respeito a aprovação de cilindro ISO, modificações aprovadas

e aprovações canceladas.

#### C.4 Relatórios e certificados

##### C.4.1 Geral

O fabricante de cilindros deve manter o certificado de aprovação e um arquivo da documentação técnica. Este relatório adequa-se a este anexo e deve ser assinado pelo representante autorizado do fabricante. O relatório deve ser guardado por não menos que 15 (quinze) anos ou pelo tempo de vida útil do cilindro.

Caso solicitado informações sobre o cilindro, o fabricante deve fornecer ao comprador, no mínimo, aquelas contidas no Modelo 1 do Anexo E.

##### C.4.2 Certificado de aprovação do Fabricante

O certificado de aprovação do fabricante, deve incluir os seguintes dados, em adição aos dados de ensaio para os requisitos de aprovação de projeto:

- a) desenhos de projeto e cálculos;
- b) identificação do material do cilindro e certificado de análise e resultado de todos os ensaio não-destrutivos cobrindo os lotes de material dos quais os cilindros foram fabricados;
- c) resultados de ensaios mecânicos, químicos ou não-destrutivos dos cilindros ou selante, e do envoltório;
- d) Capacidade hidráulica de cada cilindro em litros (l) ;
- e) resultados dos teste de pressões, indicando (se aplicável) que a expansão volumétrica registrada para o cilindro está abaixo do valor máximo permitido;
- f) espessura de mínima parede (de projeto e real) do cilindro, ou selante e envoltório.
- g) tara real (kg).

##### C.4.3 Relatório do fabricante

O relatório do fabricante deve fornecer, no mínimo, as informações contidas no modelo 1 do Anexo E.

## Anexo D

### Tamanho de defeito END

O seguinte procedimento pode ser utilizado para determinar o tamanho de falha END para os projetos dos tipos GMV-1, GMV-2 e GMV-3

- a) Para os projetos tipo GMV-1 com local sensível à fadiga na parte cilíndrica, introduzir defeitos externos na parede lateral;
- b) Para os projetos tipo GMV-1 com local sensível à fadiga fora da parede lateral e para os tipos GMV-2 e GMV-3, introduzir defeitos internos. Os defeitos internos podem ser feitos (usinados) antes do tratamento térmico e do fechamento das extremidades do cilindro.
- c) Dimensionar esses defeitos artificiais para exceder a capacidade de detecção de comprimento e profundidade de defeito do método de inspeção END.
- d) Pressurizar ciclicamente, até a falha, 3 (três) cilindros contendo esses defeitos artificiais, de acordo com método de ensaio especificado em A.13 .

Caso os cilindros não vazem ou não se rompam com menos do que 1.000 ciclos multiplicados pela vida de serviço especificada em anos, então o tamanho do defeito permitido é menor ou igual ao tamanho da falha artificial naquela localização.

## Anexo E

### Modelos de relatórios

#### E.1 Geral

Este anexo provê orientação quanto às informações a serem incluídas nos arquivos de documentação técnica relativa à aprovação do cilindro. Exemplos de formatos apropriados estão relacionados desde o Modelo 1 ao Modelo 7. Os Modelos de 2 a 6 devem ser desenvolvidos pelo fabricante para identificar completamente os cilindros e seus requisitos. Cada relatório deve ser assinado pela autoridade de Inspeção independente e pelo fabricante.

#### E.2 Relação de modelos

A documentação deve incluir os seguintes formulários:

- Modelo 1) Relatório de fabricação e Certificado de conformidade – deve ser claro e legível. Um exemplo é apresentado na Figura E.1
- Modelo 2) Relatório de análise química para cilindros metálicos, selantes ou extremidades – incluir elementos essenciais, identificação, etc.
- Modelo 3) Relatório de propriedades mecânicas para cilindros metálicos ou selantes – relatar todos os ensaios requeridos por este Regulamento.
- Modelo 4) Relatório de propriedades físicas e mecânicas de materiais para selantes não-metálicos - relatar todos os ensaios e informações requeridos por este Regulamento.
- Modelo 5) Relatório de análise do compósito - para relatar todos os ensaios e dados requeridos por este Regulamento.
- Modelo 6) Relatório de ensaios hidrostáticos, ensaios periódicos de pressão cíclica e ensaios de ruptura - relatar ensaios e dados requeridos por este Regulamento.
- Modelo 7) Certificado de aprovação de tipo - Um exemplo é apresentado na Figura E.2.

Fabricado por: \_\_\_\_\_

Localizado em: \_\_\_\_\_

Número do registro regulador: \_\_\_\_\_

Número e símbolo do fabricante: \_\_\_\_\_

Número de série: \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_ inclusive

Descrição do cilindro: \_\_\_\_\_

Tamanho: Diâmetro externo \_\_\_\_\_ mm; Comprimento \_\_\_\_\_ mm

As marcas estampadas na calota ou em etiqueta são:

a) SOMENTE GMV: \_\_\_\_\_

b) NÃO USAR APÓS: \_\_\_\_\_

c) Marca do fabricante: \_\_\_\_\_

d) Número de série: \_\_\_\_\_

e) Pressão de serviço, em bar: \_\_\_\_\_ bar

f) Norma ISO: \_\_\_\_\_

g) Proteção contra fogo: \_\_\_\_\_ tipo

h) Data do ensaio de fabricação (mês e ano): \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_

i) Peso do cilindro vazio: \_\_\_\_\_ kg

j) Marca do inspetor ou entidade autorizada: \_\_\_\_\_

k) Capacidade hidráulica (l): \_\_\_\_\_

l) Pressão de ensaio, em bar: \_\_\_\_\_

m) Instruções especiais: \_\_\_\_\_

Cada cilindro foi fabricado em conformidade os requisitos da norma ISO \_\_\_\_\_ e de acordo com a descrição do cilindro acima. Relatórios exigidos do resultado dos ensaios estão anexados.

Eu, desta forma, certifico que todos esses resultados de teste provaram satisfatoriamente, em todas as formas e estão em conformidade com os requisitos da norma ISO para os tipos listados acima

Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

_____	
_____	
Entidade Autorizada ou Agência de Inspeção:	
_____	
Assinatura do Inspetor:	
_____	
Assinatura do fabricante:	
_____	
Local _____	Data _____
_____	

FIGURA E.1 – Exemplo de Modelo 1: Relatório de fabricação e certificação de Conformidade

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO DE TIPO**

Emitido por:

.....

(Organismo de Inspeção Autorizado)

Aplicando norma ISO:

.....

Relativo a

.....

.....

(TIPO DE CILINDRO)

Aprovação nº: ..... Data: .....

Tipo de cilindro:

.....

(Descrição da família de cilindros (desenho nº) que recebeu aprovação de tipo)

Pressão de serviço:.....bar

Fabricante ou representante:

.....

(Nome e endereço do fabricante ou representante)

Toda informação pode ser obtida de:

.....

(Nome e endereço da entidade de aprovação)

.....

.....

.....

.....

Data: ..... Local:

.....

.....

(Assinatura do Inspetor)

FIGURA E.2 – Exemplo de modelo 7 : Certificado de aprovação de tipo

Anexo F  
Ensaio ambiental

F.1 Geral

Este ensaio opcional é aplicável somente aos cilindros dos tipos GMV-2, GMV-3 e GMV-4.

F.2 Preparação e ajuste do cilindro

Dois cilindros devem ser ensaiados na condição representativa de geometricamente instalados, incluindo o revestimento (se aplicável), suportes e juntas, e instalações de pressão usando adequada configuração de selagem (p. ex.: O-rings) como que usado em serviço. Os suportes, caso sejam pintados ou revestidos quando da instalação no veículo, devem ser pintados ou revestidos antes da de sua instalação para o ensaio de imersão.

Os cilindros devem ser sujeitos a pre-condições segundo o estabelecido no item F.3 e, então, expostos a uma seqüência de ambientes, pressões e temperaturas segundo as especificações do item F.5.

Embora uma exposição a fluido e um pré-condicionamento sejam feitos sobre a seção cilíndrica do cilindro, todo o cilindro, incluindo a seção das calotas, deve ser tão resistente para exposição ambiental quanto a áreas de exposição.

Como alternativa, pode-se ensaiar apenas um cilindro, o qual deve ser submetido a ambos os ensaios (ensaio de imersão em ambiente e ensaio de exposição a outros fluidos). Neste caso, deve ser tomado cuidado para evitar contaminação entre os fluidos.

F.3 Pré condicionamento

F.3.1 Aparelhagem

Os seguintes tipos de sistemas são apropriados para pré-condicionar o cilindro de ensaio para impacto por pêndulo ou cascalho.

a) impacto com pêndulo deve compreender:

- um corpo de impacto de aço tendo a forma piramidal com faces de triângulo equilátero e uma base quadrada, o topo e as arestas devem ter raio de arredondamento de 3 mm.

- um pêndulo, com centro de percussão que coincida com o centro de gravidade da pirâmide, isto é a distância do eixo de rotação do pêndulo sendo de 1 metro e a massa total do pêndulo referida para o centro de percussão sendo de 15 kg;

- um meio de determinar se a energia do pêndulo, no momento do impacto, não é menor do que 30 N.m e se está tão próximo deste valor quanto possível.

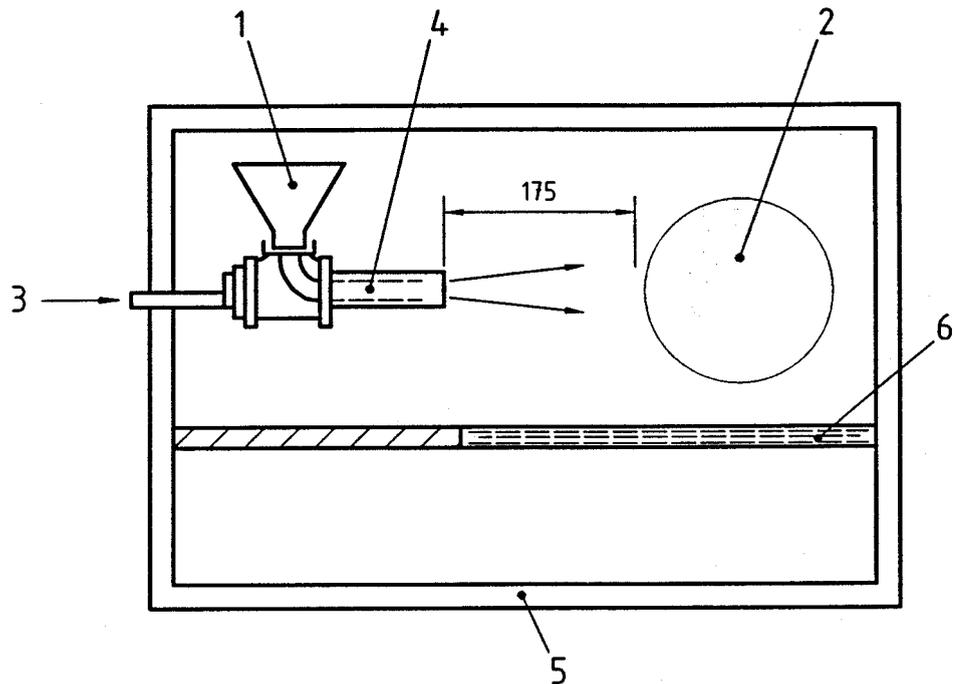
- um meio de segurar o cilindro na posição, durante o impacto, pela extremidade ou pelos suportes de montagem.

b) O impacto com cascalho deve compreender:

- uma máquina de impacto, construída segundo as especificações de projeto mostrada na Figura F.1 e capaz de ser operada de acordo com a especificações contidas na norma ASTM D 3170-87, exceto no que o cilindro deva ser ensaiado a temperatura ambiente durante o impacto com cascalho;

- cascalho, compreende pedra aluvial capaz de passar através de uma tela de 16 mm (tamanho dos aberturas da grade), mas que deve ser retida sobre uma tela de 9,5 mm (tamanho dos aberturas da grade). Para cada aplicação são necessários 550 ml de cascalho (aproximadamente 250 a 300 pedras).

Unid.: mm



- 1 - Funil
- 2 - Cilindro
- 3 - Entrada de ar
- 4 - Tubo 50 mm
- 5 - Cabine de aproximadamente 500 mm de largura
- 6 - Tela

FIGURA F.1 – Máquina de impacto por abrasivo

### F.3.2 Procedimento de pré condicionamento

#### F.3.2.1 Condição prévia para o ensaio em ambiente de imersão

A parte do cilindro a ser usada para o ensaio de imersão em ambiente (ver item F.4.1) deve ser previamente submetida ao impacto por pêndulo e ao o impacto com cascalho.

Com o cilindro despressurizado, pré condicione a parte central do cilindro que será submersa, por um impacto do corpo do pêndulo em três localizações espaçadas de, aproximadamente, 150 mm. Após o impacto, pré condicione cada uma das 3 (três) localizações pela aplicação de impacto com cascalho.

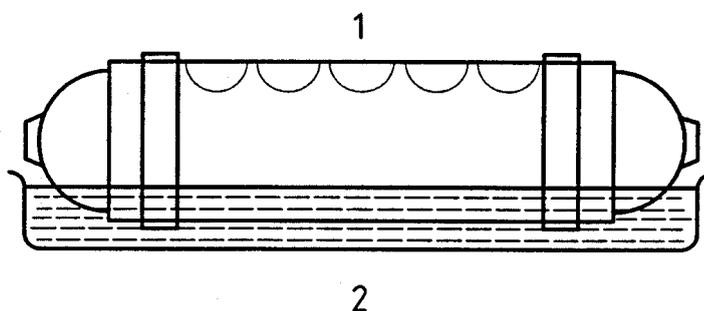
Adicionalmente, pré-condicione uma localização dentro da parte submersa de cada calota e 50 mm (medido axialmente) a partir da tangente, através de um simples impacto do corpo do pêndulo.

#### F.3.2.2 Pré condicionando para o teste de exposição a outro fluido

A parte do cilindro a ser utilizada para o “Ensaio de exposição a outro fluido” (ver F.4.2) deve ser pré-condicionada somente por impacto com cascalho.

Divida a seção superior do cilindro usado no ensaio, em cinco área distintas com diâmetro nominal de 100 mm e marque essas áreas para pré-condicionamento e exposição a fluido (ver Figura F.2). As áreas demarcadas na superfície do cilindro não podem estar sobrepostas e, quando for ensaiado apenas um cilindro, não podem se sobrepor a seção imersa do cilindro.

Com o cilindro despressurizado, pré-condicione cada uma das cinco áreas identificadas na Figura F.2 para exposição a outro fluido no cilindro, pela aplicação de impacto por com cascalho



1 - Áreas de exposição a outros fluidos

2 - Área de imersão ( terço inferior )

FIGURA F.2 - Orientação do cilindro e layout das áreas de exposição

F.4 Ambientes

F.4.1 Imersão em ambiente

No estágio apropriado da seqüência do ensaio (ver Tabela F.1), deve-se dispor o cilindro na posição horizontal de forma que o terço inferior de seu diâmetro fique imerso em uma solução de água salgada/chuva ácida (simulada), sendo esta solução composta dos elementos descritos abaixo:

- água deionizada;

- cloreto de sódio: 2,5% (fração de massa)  $\pm$  0,1%;

- cloreto de cálcio: 2,5% (fração de massa)  $\pm$  0,1%;

- ácido sulfúrico: suficiente para a solução alcançar o pH de  $4.0 \pm 0,2$ .

- Ajustar previamente o nível da solução e pH para todos os passos de ensaio que usem esta solução.

- Manter a temperatura de banho a  $21 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ . Durante a imersão do cilindro, deve-se manter a seção não submersa em contato com o ar ambiente.

F.4.2 Exposição a outros fluido

No estágio apropriado da seqüência do ensaio (ver Tabela F.1), deve-se expor cada área demarcada para uma das cinco soluções, durante 30 min. Use o mesmo ambiente para toda a realização do ensaio. As soluções são:

- ácido sulfúrico: 19% (fração volumétrica) em solução aquosa;

- hidróxido de sódio: 25% (fração de massa) em solução aquosa;

- Metanol / gasolina: 30/70% de concentração;

- nitrato de amônia: 28% (fração de massa) em solução aquosa.

- Fluido de limpeza de parabrisas.

Durante a exposição, deve-se orientar o cilindro de forma a área de exposição fique na parte de cima. Deve-se colocar um chumaço de lã de vidro (com espessura de aproximadamente 0,5 mm) e ajustado para dimensões adequadas sobre a área de exposição. Com uma pipeta, aplicar 5 ml do fluido de ensaio sobre a lã de vidro. Deve-se assegurar que o chumaço de lã de vidro esteja completamente molhado. Pressurizar o cilindro e, após 30min de pressurização, remover o

chumaço de lã de vidro.

#### F.5 Condições de ensaio

##### F.5.1 Ciclo de pressão

No estágio apropriado da seqüência do ensaio (ver Tabela F.1), deve-se submeter o cilindro a um ciclo de pressão hidráulica entre 20 bar e 260bar, para temperatura ambiente e alta temperatura; e no entre 20 bar e 160 bar, para baixa temperatura. Deve-se manter a pressão máxima por, no mínimo, 60 s, sendo que cada ciclo deve ser completado em não menos que 66 s.

##### F.5.2 Exposição a alta e baixa Temperatura

No estágio apropriado da seqüência do ensaio (ver Tabela F.1), levar a superfície do cilindro a alta temperatura ( $82\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) ou a baixa temperatura (menor ou igual a  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) no ar. A temperatura deve ser de medida na superfície do cilindro.

#### F.6 Procedimento de ensaio

O ensaio deve ser conduzido da seguinte forma:

- pré-condicionar os cilindros (ou o cilindro, no caso de ambos os ensaios serem executados no mesmo) de acordo com F.3.2;
- realizar uma seqüência de exposições ambientais, ciclagem de pressão e exposição à temperatura como definido na Tabela F.1; não lavar ou esfregar a superfície do cilindro entre os estágios;
- segundo a complementação, submeter os cilindros (ou cilindro) ao ensaio de pressão hidrostática para rompimento com destruição conforme item A.12.

#### F.7 Resultados aceitáveis

O resultado é considerado satisfatório se a pressão de rompimento dos cilindros (ou cilindro) for maior ou igual a 1,8 vezes a pressão de serviço.

TABELA F.1 Seqüência e condições de ensaio

Passos do ensaio			Ambientes	Número de ciclos de pressão	Temperatura
Quando forem utilizados dois cilindros		Quando for utilizado apenas um cilindro			
Imersão	Outros fluidos				
-	1	1	Outros fluidos (40 min)	-	Ambiente
1	-	2	Imersão	500 x tempo de serviço (anos)	Ambiente
-	2	-	Ar	500 x tempo de serviço (anos)	Ambiente
-	3	3	Outros fluidos (40 min)	-	Ambiente
2	4	4	Ar	250 x tempo de serviço (anos)	Baixa
-	5	5	Outros fluidos (40 min)	-	Ambiente
3	6	6	Ar	250 x tempo de serviço (anos)	Alta

## Anexo G

### Verificação das razões de tensão utilizando medidores de tensão (“strain gauges”)

Este Anexo descreve os procedimentos que podem ser usados para verificar as razões de tensão utilizando medidores de tensão.

- a) A relação tensão-deformação para as fibras é sempre elástica por isso as razões de tensão e de deformação são iguais.
- b) São requeridos medidores de tensão de grande alongamento.
- c) Os medidores de tensão devem ser orientados na direção das fibras nas quais estão montados (p. ex.: com fibras anulares na parte externa do cilindro, montar os medidores na direção anular).
- d) Método 1 (aplicável em cilindros que não utilizam tensões de bobinamento elevadas)
  - 1) Aplicar e calibrar os medidores de tensão antes da auto-interferência;  
Medir as deformações na auto-interferência, na pressão zero depois da auto-interferência, na pressão de serviço e na mínima pressão de ruptura;
  - 2) Confirmar se a deformação à pressão de ruptura dividida pela deformação à pressão de serviço atende à razão de tensão prescrita. Para construção híbrida, a deformação à pressão de serviço é igualada com a deformação de ruptura de cilindros reforçados com um tipo único de fibra.
- e) Método 2 (aplicável a todos os cilindros)
  - 1) Aplicar e calibrar os medidores de tensão à pressão zero depois do bobinamento e auto-interferência;  
Medir as deformações às pressões: zero, de serviço e mínima de ruptura;
  - 3) À pressão zero, depois das medições das deformações terem sido efetuadas às pressões de serviço e à mínima de ruptura, e com os medidores de tensão monitorados, seccionar o cilindro de tal forma que a região que contém o medidor de tensão seja de, aproximadamente, 125 mm de comprimento. Remover o selante sem danificar o compósito. Medir as deformações depois que o selante for removido;
  - 4) Ajustar as leituras das deformações às pressões: zero, de serviço e mínima de ruptura pelo total de deformações medidas à pressão zero com e sem o selante;
  - 5) Confirmar se a deformação à pressão de ruptura dividida pela deformação à pressão de serviço atende à razão de tensão prescrita. Para construção híbrida, a deformação à pressão de serviço é igualada com a deformação de ruptura de cilindros reforçados com um tipo único de fibra.

## Anexo H

### Instruções do fabricante para manuseio, uso e inspeção dos cilindros

#### H.1 Geral

A função principal das instruções do fabricante é para prover orientação ao comprador, distribuidor, instalador e usuário do cilindro para a sua utilização segura durante a pretendida vida útil em serviço.

#### H.2 Distribuição

O fabricante deve notificar o comprador para fornecer estas instruções a todas as partes envolvidas na distribuição, manuseio, instalação e utilização dos cilindros.

O documento deve ser reproduzido para prover cópias suficientes para esse propósito; no entanto deve conter referências aos cilindros entregues.

#### H.3 Referências para códigos, normas e regulamentos existentes

Instruções específicas devem ser estabelecidas por referência a códigos reconhecidos ou nacionais, normas e regulamentos.

#### H.4 Manuseio de cilindro

Procedimentos de manuseio devem ser descritos de tal forma que assegurem que os cilindros não irão sofrer danos inaceitáveis ou contaminações durante o manuseio.

#### H.5 Instalação

Instruções de instalação devem ser fornecidas de tal forma que assegurem que os cilindros não irão sofrer danos inaceitáveis durante a instalação e durante operação normal na pretendida vida útil em serviço.

Onde a montagem for especificada pelo fabricante, as instruções devem, onde relevantes, conter detalhes como projetos de montagem, o uso de juntas de materiais flexíveis, o torque de aperto correto e a não exposição direta do cilindro a contato com ambientes químicos ou contatos mecânicos. As locações e montagens do cilindro devem estar em conformidade com as normas de instalação.

Onde a montagem não for especificada pelo fabricante, este deve chamar a atenção do comprador para possíveis impactos a longo prazo do sistema de montagem do veículo, isto é, movimentos do veículo e as expansões / contrações do cilindro sob as condições de serviço de pressão e temperatura.

Onde aplicável, a atenção do comprador deve ser dirigida para a necessidade de prover instalações tais que líquidos ou sólidos não causem danos ao material do cilindro.

O dispositivo de alívio de pressão a ser instalado deve ser especificado.

Válvulas do cilindro, dispositivos de alívio de pressão e conexões devem ser protegidas contra ruptura no caso de colisões. Se essas proteções forem montadas no cilindro, o projeto e método de fixação deve ser aprovado pelo fabricante do cilindro. Fatores a serem considerados incluem a capacidade do cilindro de suportar qualquer carga de impacto transferida e o efeito de deformações localizadas nas tensões do cilindro e na vida à fadiga.

#### H.6 Operação dos cilindros

O fabricante deve chamar a atenção do comprador para as pretendidas condições de serviço especificadas neste Regulamento, em particular ao número permitido de ciclos de pressão do cilindro, sua vida útil em anos, os limites de qualidade do gás e as pressões máximas permitidas.

#### H.7 Inspeções durante o tempo de serviço

O fabricante deve especificar claramente as obrigações do usuário em observar as inspeções obrigatórias do cilindro (p. ex., intervalo de reinspeções por pessoal autorizado). Esta informação deve estar de acordo com os requisitos de aprovação do projeto e deve cobrir os seguintes aspectos:

a) requalificação periódica

Inspeção e/ou ensaios devem ser realizados em conformidade com as exigências dos países onde o cilindro é utilizado.

Devem ser providenciadas pelo fabricante do cilindro, com base nas condições de serviço aqui especificadas, recomendações para requalificações periódicas por Inspeção visual ou ensaios durante a vida útil em serviço. Cada cilindro deve ser visualmente inspecionado pelo menos a cada 36 meses e por ocasião de qualquer reinstalação quanto a dano externo e deterioração, inclusive sob os suportes de fixação. A Inspeção visual deve ser executada por organismo competente, aprovado e reconhecido pela Autoridade Reguladora, de acordo com as especificações do fabricante.

Cilindros sem as marcações contendo as informações obrigatórias, ou que estas estejam ilegíveis, de qualquer forma devem ser retirados de serviço. Se o cilindro possuir a identificação do fabricante e do seu número de série, pode ser recolocada nova etiqueta ou a marcação pode ser refeita, permitindo que o cilindro permaneça em serviço.

b) Cilindros envolvidos em colisões

Cilindros que forem envolvidos em colisões devem ser reinspecionados por uma Agência autorizada de inspeção. Cilindros que não tiverem sofrido nenhum dano de impacto com a colisão podem voltar ao serviço, de outra forma, o cilindro deve ser enviado ao fabricante para avaliação.

c) Cilindros envolvidos em incêndios

Cilindros que houverem sido submetidos à ação de fogo devem ser reinspecionados por uma Agência autorizada de inspeção ou serem condenados e removidos do serviço.