

8. Requisitos para cilindros totalmente envoltos tipo GNV-3

8.1 Generalidades

Este Regulamento Técnico não prevê fórmulas de projeto nem tensões admissíveis, mas requer que a adequação do projeto seja estabelecida por cálculos apropriados e demonstrados por ensaios que indiquem a capacidade dos cilindros em atender às especificações de projeto, materiais, produção e ensaios de lotes especificados neste Regulamento Técnico.

Durante a pressurização, este tipo de cilindro comporta-se de tal forma que o deslocamento do revestimento externo e do liner estão sobrepostos. Tendo em vista as diferentes técnicas de fabricação, este Regulamento Técnico 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 liner, 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 no 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 acaalmados 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%
	fósforo	0,020%	0,020%
	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 Técnico e tenham, no máximo, quantidades de chumbo e bismuto que não excedam 0,003%.

8.2.3 Materiais compostos

8.2.3.1 Resinas

O material para impregnação pode ser termofixo ou resinas termoplásticas. Exemplos de materiais adequados à matriz de compostos 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 norma ASTM D3418-99.

8.2.3.2 Fibras

O tipo de material dos filamentos para o reforço estrutural 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 pressão mínima de ensaio usada na fabricação deve ser de 30 MPa (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 revestimento externo 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 material do composto mencionada tabela 7. 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 liner do cilindro, que deve ser conhecida;

c) modelagem correta das propriedades mecânicas dos materiais do revestimento externo;

d) cálculos à pressão de autointerferência, pressão nula depois da autointerferência, pressão de serviço e pressão mínima de ruptura;

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

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 aos 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 realizada utilizando-se medidores de tensão ("strain-gauges"), neste caso deve ser aplicado o método indicado no anexo G.

Tabela 7 - Valores mínimos efetivos de ruptura e razão de tensões para os cilindros de tipo GNV-3

Tipo de fibra	Razão de tensão	Pressão de ruptura (Mpa)
Vidro	3,65	70 a)
Aramida	3,10	60
Carbono	2,35	47
Híbrida	b)	

a) 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.

b) Razão de tensão e pressão de ruptura devem ser calculadas de acordo com 7.3.2.

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 do liner e fibras de composto. As tensões nas direções tangencial e longitudinal do cilindro no composto e no revestimento, após pré-tensionados, devem ser calculadas para 0 MPa, 20 MPa, pressão de teste e pressão de ruptura de projeto. Os cálculos devem utilizar análises adequadas, levando-se em conta o comportamento não-linear do material do liner, quando se estabelecerem as contribuições de tensão. Deve-se calcular os limites, dentro dos quais a pressão de autointerferência diminui.

8.3.4 Tamanho máximo da falha

O tamanho máximo de uma falha em qualquer área do liner, 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 mencionado no Apêndice D.

8.3.5 Aberturas

Aberturas somente são permitidas na parte superior do cilindro. A linha de centro das aberturas deve coincidir com o 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 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 alívio de pressão devem ser aprovados de acordo com os requisitos técnicos estabelecidos de acordo com o Regulamento Técnico MERCOSUL correspondente.

8.4 Construção e acabamento

8.4.1 Geral

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

8.4.2 Liner

A fabricação do liner 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 revestimento.

O esforço de compressão no revestimento, 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 descontinuas, e devem atender aos requisitos estabelecidos neste Regulamento Técnico. A rosca no pescoço do cilindro, que tiver a forma cônica, deverá atender aos requisitos técnicos estabelecidos na norma ISO 10920. A rosca no pescoço do cilindro que tiver a forma paralela, deverá atender aos requisitos técnicos estabelecidos na norma ISO 15245-1.

8.4.4 Revestimento externo

8.4.4.1 Enrolamento da fibra

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

a) tipo da fibra, incluindo o dimensionamento;

b) forma de impregnação;

c) tensão de enrolamento;

d) velocidade de enrolamento;

e) quantidade de fios da fibra;

f) largura da faixa;

g) tipo de resina e composição;

h) temperatura da resina;

i) temperatura do revestimento;

j) ângulo de enrolamento.

8.4.4.2 Transição vítrea da resina termofixa

Se forem usadas resinas termofixas, elas devem ser de transição vítreadas após o enrolamento 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 revestimentos 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 autointerferência, este deve ser levado a efeito antes do ensaio de pressão hidrostática. A pressão de autointerferência 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 externa ao meio ambiente

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 exemplo, metalização no alumínio, anodização); ou

b) utilizando a fibra adequada e a matriz do material (por exemplo, fibra de carbono na resina); ou

c) usando uma proteção externa (por exemplo, proteção orgânica, pintura). Se a proteção externa for exigência de projeto, o requisito de A.9 deve ser atendido; ou

d) proteção externa impermeável à solução ácida mencionada em A.14.

Qualquer proteção externa aplicada aos cilindros deve ser tal que seu processo de aplicação não prejudique as propriedades mecânicas do cilindro. A proteção externa deve ser projetada para facilitar subsequente inspeção em serviço e o fabricante deve prover instruções referentes a aplicação a proteção externa durante essas inspeções para assegurar a integridade do cilindro.

O ensaio de desempenho ambiental que avalia a capacidade da proteção externa deve ser conduzido conforme apresentado no Apêndice 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. O OAC deve selecionar os cilindros ou liner e testemunhar os ensaios realizados de acordo com o item 8.5.2. Se forem testadas mais unidades do que as requeridas por este Regulamento Técnico, 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 OAC deve selecionar aleatoriamente cilindros ou liner apropriados e testemunhar os seguintes ensaios:

- ensaios especificados em 8.5.2.2 ou 8.5.2.3 (ensaio de materiais), como apropriado, em um revestimento;

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

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

- ensaio especificado em 8.5.2.6 (ensaio de VAC) em três cilindros;

- ensaio especificado em 8.5.2.7 (ensaio de resistência ao fogo) em um ou dois cilindros, como apropriado;

- ensaio especificado em 8.5.2.8 (ensaio de penetração) em um cilindro;

- ensaio especificado em 8.5.2.9 (ensaio em ambiente ácido) em um cilindro;

- ensaio especificado em 8.5.2.10 (ensaio de tolerância de falha) em um cilindro;

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

