

Este Regulamento Técnico não fornece formulação de projeto ou lista tensões e esforços admissíveis, 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 neste 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 termoeplástica ou termoplástica. Exemplos de materiais adequados à matriz de compostos são o epóxi, o epóxi modificado, o poliéster e o viniléster entre os plásticos termoeplásticos, polietileno e a poliamida entre os materiais termoplásticos.

A temperatura de transição vítrea dos materiais de resina será determinada 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 seja utilizado o reforço em fibra de carbono, o projeto deve incorporar recursos para prevenir a corrosão galvânica dos componentes metálicos do cilindro.

O fabricante deve manter, em arquivo e disponíveis, as especificações publicadas dos materiais compostos, as recomendações dos fabricantes quanto à 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 Liner fabricados em plástico

Materiais poliméricos devem ser compatíveis com as condições de serviço especificadas no item 4.

##### 9.2.5 Bocais metálicos

Os bocais metálicos conectados aos revestimentos 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 30 MPa (1,5 vezes a pressão de serviço).

##### 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 composto 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 GNV-4, o coeficiente de tensão é igual ao coeficiente de ruptura.

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 Apêndice G.

Tabela 9 - Valores mínimos de pressão de ruptura real e o coeficiente de tensão para cilindros tipo GNV-4

| Tipo de fibra | Razão de tensão | Pressão de ruptura (Mpa) |
|---------------|-----------------|--------------------------|
| Vidro         | 3,65            | 73                       |
| Aramida       | 3,10            | 62                       |
| Carbono       | 2,35            | 47                       |
| Hibrida       | a)              |                          |

a) 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 justificar a espessura mínima de parede do projeto. Isto inclui a determinação das tensões nos revestimentos e fibras dos compostos utilizados.

As tensões nas direções tangencial e longitudinal do cilindro de composto e do revestimento 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 devem 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 deve 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, DAPs 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 o Regulamento Técnico MERCOSUL correspondente.

##### 9.4 Construção e acabamento

##### 9.4.1 Geral

Os cilindros compostos devem ser fabricados a partir de um revestimento envolto por filamentos contínuos. A operação de enrolamento das fibras deve ser controlada mecanicamente ou por computador. As fibras devem ser aplicadas sob tensão controlada durante o enrolamento. Após finalizado o enrolamento, as resinas termoeplásticas devem ser transição vitreadas 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 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.

##### 9.4.3 Transição vítrea das resinas termoeplásticas

A temperatura de transição vítrea das resinas termoeplásticas deve ser pelos menos 10°C inferior à temperatura de amolecimento do revestimento 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 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 revestimento de proteção (por exemplo, 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 à aplicação do revestimento 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.

##### 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. O OAC deve selecionar os cilindros ou liner e testemunhar os ensaios realizados de acordo com o item 9.5.2. Se forem testadas mais unidades do que as requeridas por este Regulamento Técnico, 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 OAC selecionará o número apropriado de cilindros ou liners e deve testemunhar os seguintes ensaios:

- ensaio especificado em 9.5.2.2 (ensaio de material), em um liner;

- ensaio especificado no item 9.5.2.3 (ensaio hidrostático de pressão de ruptura), em três cilindros;

- ensaio especificado em 9.5.2.4 (ensaio de pressurização cíclica à temperatura ambiente), em dois cilindros;

- ensaio especificado em 9.5.2.5 (ensaio escoamento antes do colapso), em três cilindros;

- ensaio especificado em 9.5.2.6 (ensaio de fogueira), em um ou dois cilindros como apropriado;

- ensaio especificado em 9.5.2.7 (ensaio de penetração), em um cilindro;

- ensaio especificado em 9.5.2.8 (ensaio de ambiente ácido), em um cilindro;

- ensaio especificado em 9.5.2.9 (ensaio de tolerância a fenda), em um cilindro;

- ensaio especificado em 9.5.2.10 (ensaio de fluência a alta temperatura), quando apropriado, em um cilindro;

- ensaio especificado em 9.5.2.11 (ensaio de tensão de ruptura acelerada), em um cilindro;

- ensaio especificado em 9.5.2.12 (ensaio de pressurização cíclica em temperatura extrema), em um cilindro;

- ensaio especificado em 9.5.2.13 (ensaio de resistência da resina ao cisalhamento), em uma amostra representativa do composto de revestimento;

- ensaio especificado em 9.5.2.14 (ensaio de dano por queda), em pelo menos um cilindro;

- ensaio especificado em 9.5.2.15 (ensaio de torque do bocal), em um cilindro;

- ensaio especificado em 9.5.2.16 (ensaio de permeabilidade), em um cilindro;

- ensaio especificado em 9.5.2.17 (ensaio de ciclagem com GNV), em um cilindro.

##### 9.5.2.2 Ensaio de material para revestimentos 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 hidrostaticamente 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 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 atingirem 45.000 ciclos devem ser destruídos; seja por continuar sendo ciclados até que a falha ocorra, seja por pressurização hidrostática até sua ruptura. Cilindros que excederem 45.000 ciclos podem romper. 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 aos 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 aos requisitos lá contidos.

##### 9.5.2.7 Ensaio de penetração

Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.16 e deve atender aos requisitos lá apresentados.

##### 9.5.2.8 Ensaio de ambiente ácido

Um cilindro deve cumprir os requisitos descritos em A.14 ou ensaiado conforme descrito no Apêndice F.

##### 9.5.2.9 Ensaio de tolerância a defeitos

Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.17 e deve atender aos 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 aos requisitos lá contidos.

##### 9.5.2.11 Ensaio de tensão de ruptura acelerada

Um cilindro ser ensaiado em conformidade com A.19 e deve atender aos requisitos lá contidos.

##### 9.5.2.12 Ensaio de pressurização cíclica em temperatura extrema

Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.7 e deve atender aos requisitos lá contidos.

##### 9.5.2.13 Ensaio de resistência da resina ao cisalhamento

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

##### 9.5.2.14 Ensaio de impacto 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 aos requisitos lá contidos.

##### 9.5.2.15 Ensaio de torque do bocal

Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.25 e deve atender aos requisitos lá contidos.

##### 9.5.2.16 Ensaio de permeabilidade

Um cilindro deve ser ensaiado à permeabilidade em conformidade com A.21 e deve atender aos requisitos lá contidos.

##### 9.5.2.17 Ensaio de ciclagem com GNV

Um cilindro deve ser ensaiado em conformidade com A.27 e deve atender aos 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.

