

 PETROBRAS	NOTA TÉCNICA		Nº. 001-2025-SUB-ES-EESUB			
	CLIENTE: E&P			FOLHA 1 DE 6		
	PROGRAMA: —			Diagrama de rede		
	ÁREA: Instalações Submarinas					
—	TÍTULO: REVISÃO DE MATERIAIS PARA FIXADORES SUBMARINOS NA CONDIÇÃO EXPOSED BOLTING				SUB/ES/EESUB	
					INTERNA	
ÍNDICE DE REVISÕES						
REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS					
0	Emissão Original					
<p>GRUPO:</p> <p>Daniel Correia Freire Ferreira - CENPES/PDIDP/TIA/TMI</p> <p>Francisco Francelino Ramos - CENPES/PDIDP/TIA/TMI</p> <p>Jefferson Rodrigo de Souza - SUB/ES/EESUB/EPB</p> <p>Júnior dos Santos Silva - SUB/ES/EESUB/EPB</p> <p>Luciano Andre Piana - CENPES/PDIDP/TIA/TMI</p> <p>Marcelo Torres Piza - CENPES/PDIDP/TIA/TMI</p> <p>Neilon de Souza da Silva - CENPES/PDIDP/TIA/TMI</p> <p>Paulo Tasso Diniz Filho - SUB/ES/EESUB/EMS</p>						
	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E
DATA	04/02/2025					
PROJETO	EESUB					
EXECUTOR	GRUPO					
VERIFICADOR	CTT7					
APROVADOR	BF51					
<small>AS INFORMAÇÕES DESTES DOCUMENTOS SÃO DE PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO VEDADA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE. FORMULÁRIO PERTENCENTE À PETROBRAS N-0381 REV. M</small>						

Sumário

1. Objetivo	2
2. Introdução.....	2
3. Contexto e Histórico	2
4. Revisão do Gr. L7M como alternativa para <i>Exposed Bolting</i>	4
5. Fluxo de seleção de materiais para fixadores submarinos	6

1) Objetivo

Utilização do grau L7M, da norma ASTM A320 para fixadores de equipamentos submarinos na condição *exposed bolting*.

2) Introdução

Esta nota técnica busca responder questionamentos técnicos recentes via TQs de fornecedores solicitando autorização para utilização de fixadores ASTM A320 Gr. L7M na condição *exposed bolting* como estabelecido pela norma API 6A, onde de acordo com a ET-3000.00-1500-251-PEK-001, *exposed bolting* define-se como fixadores capazes de manter a estanqueidade de equipamentos pressurizados internamente (fixadores de contenção de pressão – *pressure containing bolts*). Trata-se de fixadores que possam se tornar “expostos” a um evento de vazamento de uma conexão pressurizada nas seguintes condições: a) diretamente expostos a fluidos (de produção ou injeção) contendo salmouras e gases ácidos (H₂S e/ou CO₂); b) enterrados ou imersos em lama marinha (*subsea mud*); c) cobertos por isolamento térmico ou selos externos. Logo, a presença de isolamento, que venha a cobrir a face de vedação da conexão, define a condição do fixador como “Fixador Exposto” (*exposed bolting*). Os fixadores de contenção de pressão que estejam próximos do isolamento e que inadvertidamente venham a ser cobertos pelo isolamento também devem ser considerados como “Fixadores Expostos”.

3) Contexto e Histórico

Em projeto submarino anterior foi registrada falha por fadiga nos estojos de ASTM A 320 Gr. L7M em flange de 2” sob isolamento térmico, em linha de injeção de gás. Essa falha foi provocada por uma combinação de fatores críticos, conforme descrito a seguir:

- **Baixa pré-carga dos estojos:** O material ASTM A 320 Gr. L7M possui limite de escoamento de 80 ksi, podendo acarretar uma baixa carga de aperto, considerando que a norma define a pré-carga em termos de percentuais do SMYS. Além disso, foi constatado que o procedimento de aperto utilizado era ineficiente e gerava valores de pré-carga baixos e não uniformes. Essa não uniformidade também é consequência de um baixo SMYS, já que em cargas de aperto maiores o flange estabelece o contato face a face, gerando uma maior uniformidade de valores de pré-carga entre os estojos.
- **Vibração da linha:** Decorrente de fluido multifásico turbulento e projeto mecânico inadequado da linha (reduções abruptas, curvas etc.) contribuindo para o surgimento de cargas de vibração.
- **Baixa frequência natural da estrutura:** Condição resultante de suporte estrutural insuficiente e da adição de massa significativa devido a presença de uma válvula. Isso acarreta uma estrutura com baixas frequências naturais, que se torna susceptível a entrar em ressonância com as cargas dinâmicas atuantes.

Esses fatores, combinados, culminaram na falha final por perda de pré-carga e fadiga dos estojos. A menor resistência mecânica do Gr. L7M, SMYS de 80 ksi, passa então a ser um fator contribuinte para a fadiga nesse cenário, devido à menor carga de aperto final e, conseqüente menor garantia de estanqueidade. Logo, para uso de fixadores com SMYS de 80 ksi são necessárias verificações estruturais mais rigorosas para evitar problemas de fadiga como elencadas no item 4 a seguir.

Adicionalmente, durante a investigação da falha foi observado em algumas das superfícies de fratura dos estojos de Gr. L7M um processo corrosivo intenso. Considerando que os estojos se encontravam sob isolamento térmico, foram avaliadas as possíveis condições de meio corrosivo na região. Simulações iniciais indicam que um microvazamento do fluido rico em CO₂ na água do mar confinada sob isolamento poderia gerar um meio ácido com pH de 3,6. A possibilidade de ocorrência de processos corrosivos sob isolamento levanta também a discussão sobre a capacidade da proteção catódica por anodos de sacrifício alcançar de maneira suficiente os estojos sob isolamento térmico, ou se eles estariam em uma condição distinta: de corrosão livre ou polarização catódica insuficiente.

Esta condição de vazamento de fluido interno rico em CO₂ se assemelha à condição definida na API 6A como *exposed bolting*, embora o foco das normas seja nos riscos para serviço ácido (*sour service*), com fluidos contendo H₂S – logo, para o modo de falha de trincamento sob tensão por sulfetos. No entanto, considerando que ainda não há garantia técnica de que a proteção catódica atue sob isolamento térmico e que um microvazamento possa gerar um meio corrosivo especialmente agressivo para aços baixa-liga, foi definida a preferência na ET-3000.00-1500-251-PEK-001 por uma liga resistente à corrosão para a condição *exposed bolting "sweet"* – rica em CO₂. A liga definida foi UNS S66286 (ASTM A453 Grau 660 Classe D), já sugerida e adotada nas normas API para a condição de *exposed bolting* em serviço ácido com H₂S. A adoção do ASTM A453 Grau 660 Classe D com SMYS de 105 ksi gera ganhos também do ponto de vista estrutural, como indicado anteriormente.

É importante notar que de acordo com a ISO 15156, a utilização do UNS S66286 é restrita a temperaturas máximas de operação de até 66 °C e pH₂S de 100 kPa (15 psi). Entendemos que o cenário de operação possa exceder este limite de temperatura, especialmente em meios levemente ácidos (fH₂S de 1,5 psia e pH de 4,0), chegando a 135°C. A literatura publicada (NACE-06156, CORROSION 2006) sugere que o material em temperatura de até 149°C é resistente à corrosão sob tensão em pH₂S = 1,5 e pH = 5,5, mas não quando a pH₂S = 15 psia e o pH 4,5. Os dados disponíveis em literatura não refletem exatamente a condição estimada de pH 4,0 para o caso de um microvazamento rico em CO₂. Logo, a expansão da faixa de temperaturas de aplicação do UNS S66286 ainda carecem de ensaios adicionais de qualificação.

Uma alternativa de liga resistente à corrosão para uso sob isolamento térmico como *exposed bolting* citada nas normas API 6A é o UNS N07718 (API 6ACRA). Devido a relatos recentes de falhas com UNS N07718 por fratura assistida por hidrogênio em equipamentos submarinos devido à proteção catódica, não optamos pela

adoção desta liga neste momento, até que mais informações sobre os limites de utilização deste material estejam disponíveis.

4) Revisão do Gr. L7M como alternativa para *Exposed Bolting*

Diante das limitações apresentadas por algumas das soluções de ligas acima e frente aos pleitos pela reintrodução do Gr. L7M como solução viável, foram definidas uma série de melhores práticas mandatórias que devem ser implementadas para mitigar os riscos de perda de estanqueidade e vazamento por fadiga ou corrosão.

a) Realizar estudos para mitigar risco de perda de pré-carga por vibração:

- As fontes de vibração podem ser oriundas de vibração induzida pelo escoamento (*flow induced vibration – FIV*) ou de outras fontes, como operação de válvulas *choke*;
- As linhas e conexões flangeadas de aplicação do Gr. L7M devem ser avaliadas para o risco de FIV de acordo com as melhores práticas estabelecidas no documento *EI 3370 Guidelines for the avoidance of vibration-induced fatigue failure in subsea systems* do Energy Institute;
- Adicionalmente, deve ser confirmado que a linha e a estrutura possuam suporte adequado e que não operem em frequências naturais baixas, minimizando o impacto das vibrações.

b) Garantia da pré-carga alvo e aperto uniforme nos estojos:

- Utilizar sempre que possível tensionadores para assegurar a aplicação homogênea da pré-carga, reduzindo o risco de fadiga.
- No caso da não utilização de tensionadores, considerando a aplicação de pré-carga nos fixadores mediante aplicação de torque, deverão ser apresentadas evidências que demonstrem que o coeficiente de atrito entre fixadores e componentes foi devidamente especificado e não sofrerá variações significativas dentro do intervalo possível de variação das propriedades, principalmente considerando cenários com aplicação de revestimento nos fixadores.
- Os procedimentos de torque devem ser qualificados com medição da pré-carga final aplicada aos estojos através de medição direta (ex.: ultrassom para medir o alongamento dos estojos ou *strain gauges* para medição da deformação) comprovando pré-carga média nos estojos igual ou superior à pré-carga alvo;

- Os procedimentos de montagem de flanges devem incluir a confirmação do *face-to-face* após o torque dos estojos;
- Não pode haver pintura nas áreas dos flanges que fazem contato após montagem, tampouco nas áreas de contato das porcas com os flanges;
- Não pode ser utilizada graxa como meio de fixação do anel na montagem dos flanges, devendo ser utilizados dispositivos próprios para isso e que não interfiram com o processo de energização do anel e torqueamento dos estojos;
- No caso de fixadores montados com o uso de tensionador hidráulico, deverá ser registrado o modelo do tensionador utilizado e a pressão de atuação do tensionador;

c) Avaliação do sistema de proteção catódica e riscos de corrosão

- Deve garantir a continuidade elétrica do sistema de proteção catódica até os fixadores como prescrito pela ET-3000.00-1500-251-PEK-001;
- Havendo a presença do isolamento térmico na conexão flangeada deve ser demonstrado que o tipo de isolamento utilizado não bloqueia ou reduz a proteção catódica e que o potencial catódico na região dos estojos é adequado para proteção contra corrosão por perda de massa.

d) O material L7M deverá atender a especificação API 20E nível mínimo BSL-2.

Conforme mencionado anteriormente, a norma API 6A indica o Gr. L7M como opção para *exposed bolting* sob isolamento térmico, assumindo resistência ao modo de falha trincamento sob tensão por sulfetos, em presença de um micro vazamento de fluido de produção contendo H₂S. Entretanto, em uma situação de microvazamento, especialmente de fluido rico em CO₂ e redução de pH, estojos de Gr. L7M estariam sujeitos a corrosão por perda de massa generalizada, com consequente perda de pré-carga e, possivelmente, também da estanqueidade da conexão flangeada. Adicionalmente, não estão disponíveis informações suficientes normativas ou de literatura para garantir alcance da proteção catódica sob isolamento térmico. Logo, mesmo a condição de água do mar poderia ser suficiente para acarretar corrosão por perda de massa no Gr. L7M caso este se encontre com potencial catódico inadequado ou isolado da proteção catódica. Sugere-se que este cenário de aplicação seja mais bem estudado e avaliado pelos fornecedores, trazendo as melhores práticas disponíveis atualmente.

5) Fluxo de seleção de materiais para fixadores submarinos

As recomendações adicionais desta nota técnica, em conjunto com a ET-3000.00-1500-251-PEK-001 em sua atual revisão indicam o seguinte fluxo de seleção de materiais para fixadores submarinos fixadores de contenção de pressão (*pressure containing bolts*).

Para o caso de fixadores *non-exposed bolting*, ou seja, submetidos garantidamente à proteção catódica e sem risco de contato confinado com fluido de produção, devem ser adotados o Gr. L7 ou o Gr. L43 da ASTM A320, atendendo integralmente a todos os requisitos descritos na ET-3000.00-1500-251-PEK-001 vigente.

Para o caso de fixadores em configuração *exposed bolting*, são definidas duas únicas opções de materiais:

- UNS S66286 (ASTM A453 Grau 660 Classe D), SMYS 105 ksi, temperatura limite de 66°C. Para temperaturas mais elevadas devem ser realizados testes de corrosão sob tensão no meio corrosivo de interesse;
- ASTM A320 Gr. L7M, SMYS 80 ksi.

Especialmente para a aplicação do ASTM A320 Gr. L7M, todos os requisitos mandatórios listados na seção 4 anterior devem ser atendidos integralmente.