ISSN:2594-6153

Análise Termo-estrutural de um Queimador de flare

Pedro Pereira Torga, Vitor da Silva Rosa

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

E-mail: pedrotorga@yahoo.com.br

Resumo: Flares são equipamentos essenciais para a segurança de plantas industriais. Falhas nestes dispositivos são críticas por operarem continuamente. Um modelo de acoplamento fluido-estrutura foi elaborado para análise termo-estrutural da influência da injeção de gás de assistência para resfriamento e garantia da integridade de um queimador. Foram realizadas análises de tensões e de gradientes térmicos. Os resultados demonstram que, apesar de benéfico, o gás de assistência, nas vazões consideradas, não é suficiente para garantir a integridade do equipamento. Sugere-se a alteração da geometria do queimador, de forma a permitir dilatação diferencial entre suas partes e reduzir os níveis de tensões.

Palavras-chave: Flare; Queimador; Gás de assistência; Análise por elementos finitos.

Thermo-structural analysis of a flare burner

Abstract: Flares are essential equipment for the safety of industrial plants. Failures in these devices are critical due to their continuous operation. A fluid-structure coupling model was developed for thermo-structural analysis of the influence of assist gas injection on cooling and ensuring the integrity of a burner. Stress and thermal gradient analyses were performed. The results show that, although beneficial, the assist gas at the considered flow rates is not sufficient to ensure the integrity of the equipment. It is suggested to modify the geometry of the burner to allow differential expansion between its parts and reduce stress levels.

Keywords: Flare; Burner; Assist gas; Finite elements analysis.

Introdução

Plataformas de petróleo apresentam elevada complexidade, com diversos equipamentos estáticos e dinâmicos, além de uma extensa rede de tubulações. Para garantir uma operação segura, são utilizadas válvulas de segurança que, em situações de emergência, despressurizam para o sistema de alívio da unidade. Este, na maioria das plataformas, contém um flare, ou tocha, instalado em uma torre elevada.

Flare é um dispositivo ou sistema usado para descartar com segurança fluidos de alívio por meio da combustão, de maneira ambientalmente responsável [1]. Isso implica que as vazões descartadas devem ser queimadas de forma eficiente, mantendo a radiação dentro dos limites admissíveis para os trabalhadores e equipamentos [2].

Os queimadores de flare devem ser capazes de queimar as vazões de gás descartadas e manter sua integridade durante as campanhas de operação entre paradas programadas para manutenção. Em geral, a manutenção dos queimadores ocorre a cada 3 a 5 anos. Alguns modelos utilizam fluidos auxiliares, que podem ser vapor d'água, ar ou mesmo gás combustível, que é uma fração tratada do próprio petróleo produzido. Estes fluidos visam melhorias na eficiência de combustão e redução dos gradientes térmicos nos equipamentos. O uso de vapor d'água tem sido amplamente estudado, especialmente em relação à redução da eficiência de combustão em situações de excesso de vazão de vapor [3,4]. Há, no entanto, carência de estudos quanto à utilização de gás de assistência.

Este estudo analisa a eficácia da utilização de gás de assistência no resfriamento interno e garantia de integridade de um modelo de queimador.

Objetivos

O presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da utilização de gás de assistência na integridade do queimador, analisada por meio de uma análise termo-estrutural com acoplamento fluido-estrutura, utilizando o método dos elementos finitos.

Material e Métodos

Um modelo foi elaborado no software Ansys Workbench para simulação de um acoplamento fluido-estrutura. A malha do modelo foi gerada utilizando elementos sólidos. A geometria, relação de simetria e malha utilizadas podem ser vistas na figura 1.

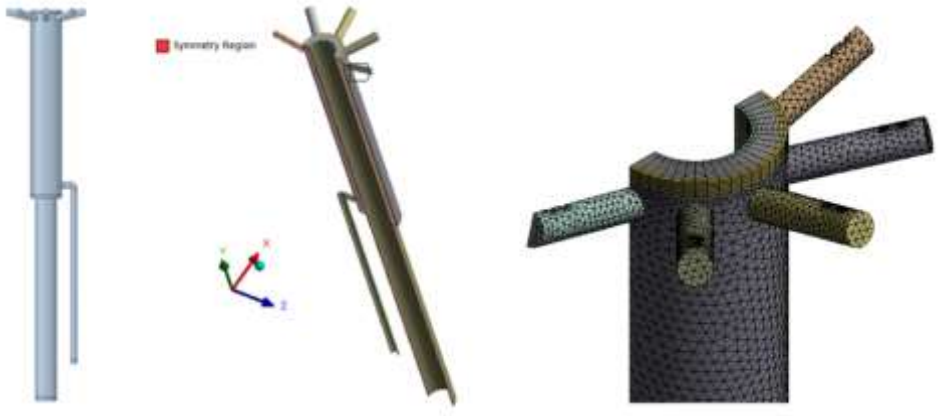

Figura 1. Geometria elaborada com simetria (eixo X) e malha.

Foi considerado o material ASTM A312 TP310H (UNS S31009) [5], comumente utilizado em flares, que possui tensão de escoamento de 205 MPa à temperatura ambiente. Um

modelo bi-linear de material (com módulo tangente de 1800 MPa), levando em conta a variação da tensão de escoamento em função da temperatura, conforme o código ASME II, Parte D [6], foi utilizado.

As condições de contorno para a análise fluídica são apresentadas na figura 2.

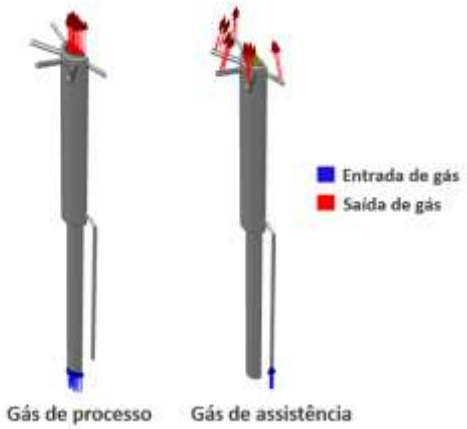

Figura 2. Condições de contorno – CFD.

Como fluidos, foram considerados propano para o gás de processo e metano para o gás de assistência. Para análise térmica, as temperaturas foram importadas do modelo de CFD. Adicionalmente, foram inseridos um fluxo térmico atribuído às superfícies externas, representando a radiação oriunda da combustão, e convecção externa devido ao vento.

A tabela 1 apresenta os cenários de combustão avaliados. Os dois primeiros consideram uma vazão contínua relativamente baixa de gás de processo. Os cenários 3 e 4 apresentam a mesma variação de gás de assistência para uma vazão de processo maior. Os cenários 5 a 7 apresentam o limite de queima de gás de processo do flare avaliado, com uma variação de gás de assistência que simula a ausência do gás (cenário 5), a vazão definida para resfriamento (cenário 6) e a vazão máxima esperada para o modelo (cenário 7). A velocidade de vento foi mantida constante e o fluxo térmico foi definido em função da vazão de queima.

Tabela 1. Vazão de gás de assistência recomendada para o flare.

Cenários	Gás de Processo	Gás de assistência	Condições de contorno	
	Vazão Flare [Sm³/dia]	Vazão Flare [Sm³/dia]	Fluxo térmico [W/m²]	Velocidade de Vento [m/s]
1	10.000	0	3.155	9 m/s
2	10.000	22.100	3.155	9 m/s
3	65.000	0	3.155	9 m/s
4	65.000	22.100	3.155	9 m/s
5	335.000	0	7.886	9 m/s

6	335.000	22.100	7.886	9 m/s
7	335.000	110.000	7.886	9 m/s

*Valores de vazão para o flare com 12 queimadores

Resultados e Discussão

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os cenários avaliados. São apresentados os gradientes térmicos (temperatura máxima menos a temperatura mínima), tensão equivalente de Von-Mises máxima e deformação plástica máxima. Os valores de vazão apresentados representam o valor total para o flare, com seus doze queimadores.

Tabela 2. Resultados dos cenários 1 a 7.

Cenários	**Resultados**			
	Temp. Máx (ºC)	**Gradiente Térmico (ºC)**	**Tensão VM máx. (MPa)**	**Deformação Plástica máx.**
1	110,1	63,7	**197,2**	**0,006**
2	96,1	69,2	**206,8**	**0,003**
3	109,4	82,3	**216,6**	**0,012**
4	94,1	68,2	**208,8**	**0,003**
5	227,8	204,8	**257,3**	**0,040**
6	188,9	164,4	**234,2**	**0,023**
7	142,7	121,6	**215,5**	**0,009**

Os resultados do cenário 4 são apresentados nas figuras 3 e 4 como forma de exemplificar os dados apresentados na Tabela 2.

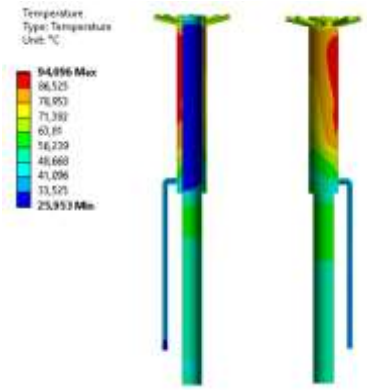

Figura 3. Comparativo de Gradiente térmico – cenário 4 (máximo: 94 ºC).

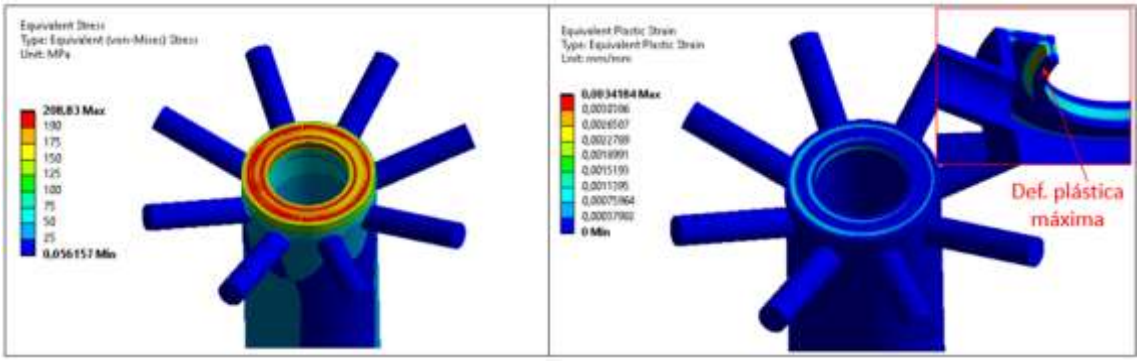

Figura 4. Tensões de Von-Mises (esq.) e def. plásticas (dir.) – Cenário 4.

Pelos resultados apresentados, é possível observar que, com exceção dos cenários 1 e 2, a injeção de gás de assistência resultou em redução no gradiente térmico no queimador e nas tensões equivalentes de Von-Mises calculadas. Além disso, contribuiu para a diminuição das deformações plásticas para todos os casos. No entanto, é importante observar que, com exceção do cenário 1, em todos os casos o limite de escoamento do material, na temperatura mensurada, foi superado, com ocorrência de deformação plástica, inclusive no caso 7, que utilizou a máxima vazão de gás de assistência prevista no projeto.

Os resultados permitem uma análise comparativa entre os cenários e perceber que a utilização de gás de assistência, nas vazões simuladas, não é suficiente para garantir a integridade dos queimadores. A geometria do queimador restringe a dilatação entre as superfícies internas e externas e o elevado gradiente de temperaturas observado gera tensões acima do limite de escoamento do material. Outras geometrias de queimador, que permitam a dilatação da câmara onde o gás de assistência é injetado e o tubo central do queimador são indicadas para reduzir o nível de tensões encontrado e prolongar a vida útil do equipamento.

Conclusões

As análises apresentadas permitem constatar que a injeção de gás de assistência traz benefícios ao queimador, com redução do gradiente térmico e nível das deformações plásticas. No entanto, não impede que o limite de escoamento do material seja excedido. Dessa forma, para os parâmetros estudados, não é possível garantir a integridade do queimador, mesmo que opere continuamente com injeção de gás de assistência. O modelo analisado possibilita tirar conclusões comparativas entre os cenários apresentados, mas os valores obtidos precisam ser validados por modelo experimental.

Referências

1. American Petroleum Institute. Flare details for petroleum, petrochemical, and natural gas industries. Washington, DC: API; 2024.

2. American Petroleum Institute. Pressure-relieving and depressuring systems. Washington, DC: API; 2020.
3. Shore D. Making the flare safe. J Loss Prev Process Ind. 1996 Nov;9(6):363-81.
4. United States Environmental Protection Agency (EPA). Evaluation of the efficiency of industrial flares. EPA-600/2-84-095. 1984.
5. ASTM International. Standard specification for seamless, welded, and heavily cold worked austenitic stainless steel pipes. West Conshohocken, PA: ASTM; 2024.
6. American Society of Mechanical Engineers. ASME II Part D - 2010 ASME Boiler & Pressure Vessel Code - Materials. New York, NY: ASME; 2025.