

Identificação e Tratativa de Cenários de Fratura Frágil por Auto-Refrigeração na Indústria Petroquímica

Rosemeire Santana S. de Abreu, Jussara da Rocha Duarte, Niara E. Uhlein e Ivo Andrei O. L. Lima, DSc.

Braskem S.A.

OBJETIVOS DO TRABALHO

Neste trabalho serão apresentadas formas de identificação de cenários de fratura frágil em linhas e equipamentos e algumas possíveis tratativas para mitigar os riscos de tais eventos.

Ao longo do tempo, observou-se por diversas vezes a ocorrência de grandes acidentes na indústria, que levaram a perdas materiais e humanas significativas. Parte destes eventos acidentais tiveram origem na falha da percepção de risco ou desconhecimento do mesmo, ainda que algumas vezes tenham sido utilizadas ferramentas de avaliação dos riscos de processo.

Historicamente, utilizando as técnicas de análise de risco, os cenários envolvendo fratura frágil por auto-refrigeração não têm tido a relevância adequada ou não são comumente identificados pelas equipes dos estudos.

DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

Conceito de Fratura Frágil

As fraturas podem ser definidas basicamente como dúcteis ou frágeis. Sendo que a fratura dúctil envolve grande absorção de energia, o que leva a deformação plástica intensa antes da ruptura final. Ela é também caracterizada pela lenta propagação de trincas, resultantes da nucleação e crescimento de minúsculas cavidades no material. Já a fratura frágil envolve grande liberação de energia, com pouca ou nenhuma deformação plástica, ocorre “sem aviso” e de forma quase instantânea na propagação de trincas. A fratura frágil leva a ruptura do componente em uma ou mais partes, quando o material é submetido a esforço mecânicos acima da resistência do material e em condições de baixa tenacidade.

Aço carbono e outros aços ferríticos se tornam susceptíveis à fratura frágil com o decréscimo da temperatura, pois perdem tenacidade (capacidade de absorver impacto) e mudam seu comportamento de dúctil (temperatura ambiente) para frágil (temperatura abaixo da ambiente). A fratura frágil é um modo de falha indesejável, pois ocorre sem aviso prévio, onde a ruptura ocorre antes de qualquer vazamento (*break-before-leakage*), podendo levar a uma falha catastrófica. [1]

Para que a fratura frágil ocorra, três elementos devem estar presentes simultaneamente, sendo eles:

- a) Aço susceptível a perda de tenacidade por redução da temperatura (aço inox austeníticos, série 300, estão fora deste risco pois não transitam de dúctil para frágil com a redução de temperatura);
- b) Trinca ou defeito (geralmente linear) no material;
- c) Tensão trativa acima de 7.000 psi.

Na figura 1 podemos verificar os elementos necessários para ocorrência da fratura frágil.

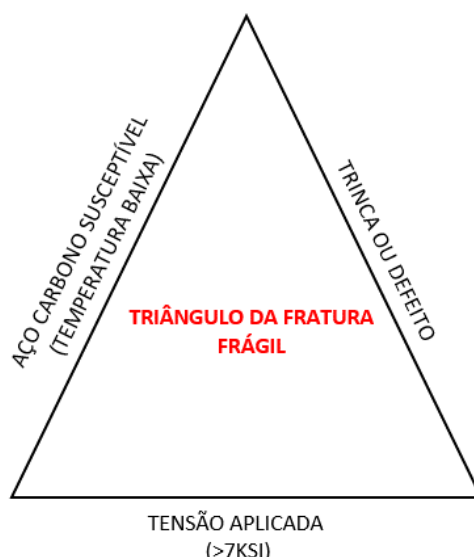


Figura 1 - Triângulo da Fratura Frágil [1]

Histórico de ocorrências

Um dos primeiros cenários de fragilização por frio no processo da indústria petroquímica foi reportado em 1975 na DSM Naphta Cracker, em Beek – Netherlands. Neste evento ocorreu um desvio operacional na coluna desetanizadora, a qual enviou indevidamente, para o vaso de alimentação da coluna depropanizadora, uma corrente líquida com alto teor de hidrocarbonetos do corte C2, o que levou à redução brusca de temperatura e à fragilização numa conexão do vaso de alimentação da depropanizadora, próxima à válvula de segurança, ocasionando incêndio, seguido de explosão, com 14 mortos e 106 feridos. [2]

No final da década de 90 também ocorreu um evento importante de fragilização na Esso Longford Gas Plant em Victoria - Austrália, Exchanger Failure (Nat Gas Plant). O acidente ocorreu em função da perda de fluxo de óleo leve levando a uma maior redução na temperatura do refeedor da coluna, resultando em fragilização do casco do mesmo, o qual era de aço carbono. Este evento levou a 2 fatalidades, 8 feridos, e um impacto financeiro de U\$1,2BI. [3]

Em 2002 ocorreu um evento de fratura frágil na Planta 1 da Westlake Petro em New Orleans – Louisiana – USA. Houve a perda de especificação do conversor de acetileno, levando à contaminação da fracionadora de etileno com alto teor de acetileno e o envio de grande quantidade da corrente C2 contaminada para o vaso de flare seco. Porém, o mau funcionamento do sistema de aquecimento e vaporização do vaso de flare permitiu que a temperatura de saída do vaso atingisse valores muito baixos, devido à vaporização do eteno na linha. A temperatura na linha de saída do vaso de flare seco atingiu valores inferiores à temperatura de projeto, que era de -10°F (-23°C), levando à fragilização da mesma, com liberação de hidrocarbonetos, seguido de incêndio e explosão. Este evento não teve vítimas, porém a Planta ficou parada por um mês para reparos na Unidade. [4]

Identificação dos cenários de fragilização

Para os parques industriais mais antigos, não é incomum durante as análises qualitativas recentes verificar-se que os cenários de fratura frágil não foram identificados ou foram subestimados em seus projetos.

A identificação dos cenários de fragilização primeiramente deve utilizar as ferramentas qualitativas de análises de riscos, como HAZOP (*Hazard and Operability*) ou APP de Processos (Análise Preliminar de Perigos de Processos). Estas análises são ferramentas importantes e essenciais na identificação e prevenção de cenários acidentais em vários ramos da indústria, e tem sido largamente utilizado nas últimas décadas. Porém, faz-se necessário que estes estudos sejam realizados por equipes multidisciplinares e, sobretudo, por profissionais conhecedores, não somente da técnica, como também do processo a ser analisado, possibilitando assim identificar todos os principais riscos possíveis de ocorrer na instalação avaliada.

HAZOP e APP

As técnicas de HAZOP (*Hazard and Operability Studies*) e APP de Processo (Análise Preliminar de Perigo de Processo) são essencialmente ferramentas analíticas e qualitativas, nas quais a equipe examina um processo, gerando perguntas sobre o mesmo, de maneira indutiva e sistemática. As perguntas, embora sejam estimuladas por uma lista de palavras-guia, surgem naturalmente através da interação entre os membros da equipe multidisciplinar (especialistas de operação, segurança, manutenção, processo, etc.).

Para a aplicação da técnica de APP de Processo, a equipe identifica os perigos gerados pela ocorrência accidental de liberação de energia, por exemplo: liberação de substância inflamável e/ou tóxica.

A técnica de HAZOP permite um maior detalhamento dos desvios operacionais, sendo atualmente aplicada em maior escala em plantas petroquímicas. Essa técnica de identificação de perigos consiste, fundamentalmente, numa busca estruturada das causas de possíveis desvios em variáveis de processo, ou seja, na temperatura, pressão, vazão ou composição, em diferentes pontos do sistema (denominados “Nós de estudo” ou simplesmente “Nós”), durante a operação do mesmo ou em transientes (parada, partida, regeneração e etc).

O cenário de risco para um dado “Nó” é composto pelo desvio gerado por uma causa, provocando um efeito. Este cenário é classificado quanto ao Risco através da combinação de dois parâmetros, Severidade e Frequência, com base em uma Matriz de Aceitabilidade de Risco, a qual definirá o nível de risco: baixo, médio ou alto.

Na fase inicial deste estudo, para uma planta industrial, é recomendável o levantamento dos acidentes ocorridos em plantas similares. Tais informações são obtidas através de literatura, fóruns, como Seminários e Congressos de Segurança de Processo e bancos de dados internacionais.

Desta forma é obtida uma lista de tipologias accidentais relativas à frequência com que se manifestam e/ou magnitude de suas consequências.

A técnica de HAZOP permite também a identificação de outras tipologias accidentais específicas da planta em avaliação, mesmo que estas não tenham ocorrido no passado, em instalações similares. Para tanto, é fundamental eleger a equipe multidisciplinar que irá conduzir o estudo, incluindo participantes com experiência na planta industrial a ser avaliada.

Para cada cenário ou hipótese de acidente identificado, é estimada a sua probabilidade de ocorrência. A avaliação da magnitude de suas consequências ou Severidade também ocorre de forma qualitativa, nesta etapa.

Sempre que os riscos são relevantes, a depender da Matriz de Aceitabilidade de Riscos utilizada, são requeridas recomendações, tecnicamente possíveis e economicamente viáveis, para minimizar o risco ou estudos complementares que irão confirmar ou alterar a classificação de severidade e frequência definida na etapa qualitativa, para o cenário.

Vulnerabilidade

O Estudo de Vulnerabilidade é composto por um conjunto de modelos e técnicas usados para estimar as áreas potencialmente sujeitas aos efeitos danosos de liberações accidentais de substâncias perigosas (tóxicas e/ou inflamáveis) ou de energia, de forma descontrolada. Estas liberações descontroladas são conhecidas como efeitos físicos (ex: sobrepressão, fluxo térmico, nuvens de gases tóxicos e etc.) que potencialmente podem gerar danos às pessoas e/ou instalações. O alcance dos possíveis danos é avaliado pela intensidade do efeito físico que o provocou.

A avaliação da área vulnerável é feita primeiramente caracterizando-se o cenário do acidente, que consiste no levantamento das condições para a determinação dos efeitos físicos possíveis de ocorrer, tais como: a localização do ponto do vazamento com as condições ambientais (ponto de liberação, temperatura do ambiente, classe de estabilidade de vento, etc.), o produto envolvido e as suas condições (estado físico, pressão e temperatura) no momento do vazamento. Como resultado deste estudo pode se obter os alcances dos efeitos físicos, e consequentemente determinar a severidade do cenário.

LOPA

Para a avaliação da frequência de ocorrência de cenários de risco accidental, uma ferramenta bastante utilizada atualmente, na indústria química e petroquímica é o estudo de LOPA (*Layers of Protection Analysis*) ou análise de camada de proteção. Esta é uma técnica semi-quantitativa desenvolvida para avaliar o risco de cenários de acidente, considerando as camadas independentes de proteção pertinentes, e determinar se existem camadas suficientes e efetivas para a proteção dos cenários de acidente em análise.

Entre os objetivos principais para a utilização do LOPA está a possibilidade de responder a questões relativas ao número e eficiência das camadas de proteção existentes, através de uma abordagem sistemática. Outro resultado importante do estudo de LOPA é a determinação do nível de SIL (*Safety Integrity Level*) requerido dos intertravamentos de proteção. Questões de subjetividade de classificação de frequência dos cenários a que as análises qualitativas estão sujeitas são minimizadas com esta técnica.

Diversos tipos de camadas são considerados, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2: Representação de camadas de proteção

Os cenários de fragilização podem acontecer em operação normal, porém ocorrerão mais comumente durante os transientes operacionais. Faz-se necessário a identificação de todos os cenários que podem resultar em uma queda significativa de temperatura, considerando operação normal, paradas, partidas dos sistemas e os seus transientes.

Alguns dos principais cenários de fragilização de equipamentos que operam com hidrocarbonetos líquidos leves (C1 a C3), são:

- Abertura seguida de falha em não fechamento de válvulas de alívio de pressão;
- Falha durante despressurização/repressurização de sistemas;
- Alinhamento indevido de correntes frias para sistemas não especificados para baixas temperaturas;
- Falha em inventariar equipamentos com hidrocarbonetos líquidos leves (C1 a C3), especialmente na presença de nitrogênio.

Avaliação Complementar dos cenários de fragilização

Após avaliação qualitativa, para identificação dos possíveis cenários de fratura frágil em equipamentos

e linhas, podem ser utilizados dois métodos para ratificar a existência dos cenários, sendo eles:

- **Avaliação Mecânica:** nesta avaliação é analisado o potencial de ocorrência de fratura frágil no sistema, utilizando a norma API 579. O resultado esperado desta avaliação é a geração da curva *MAT* (*Minimum Allowable Temperature*) que representa a menor temperatura que o material do equipamento pode estar submetido para uma determinada condição de pressão. No caso de tubulações deve-se considerar ainda as tensões térmicas provocadas pela contração e não somente a pressão interna. Existem 3 níveis de análise para prevenção de fratura frágil pela API-579, que são os Níveis 1, 2 e 3.

Nível 1: é o mais simples e seguro, mas tem um fator de segurança maior levando a temperatura limite inferior maior do que os outros 2 níveis de análise. Este critério não requer cálculo de tensões e basicamente leva em consideração apenas o material, controle de qualidade, processo de fabricação e a espessura do componente para definir o limite inferior de temperatura. Mantendo-se a temperatura do equipamento dentro do limite encontrado nesta análise, não deve haver qualquer dano no equipamento.

Nível 2: é uma análise complementar ao nível 1 e exige uma engenharia mais aprofundada, com cálculos de tensões e etc. A análise neste nível tenta basicamente evitar o colapso catastrófico do equipamento, mas não garante isenção de danos que possam levar a vazamentos. Mantendo-se a temperatura do equipamento dentro do limite encontrado nesta análise, não deve haver danos catastróficos no equipamento (*break-before-leakage*), mas podem ocorrer danos menores, que levem a perda de contenção (vazamentos).

Nível 3: esta análise requer uma análise de tensões computacional mais avançada que a do nível 2, além de necessitar de informações mais precisas dos materiais, controle de qualidade adicionais, e etc. Esta é uma análise mais difícil de ser realizada para equipamentos em plantas industriais mais antigas, por limitação de informações técnicas pois, requer em muitos casos a determinação das propriedades do material através de ensaios destrutivos. Pode-se adotar premissas conservadoras de simular computacionalmente trincas em tamanhos relevantes para avaliar qual o potencial do risco em uma determinada pressão e temperatura, mas ainda assim requer maior profundidade na análise e nos riscos envolvidos.

- **Análise de risco de processo:** esta análise avalia o processo para incursão de possível auto-refrigeração no sistema, tendo como objetivo a geração de uma Curva Real de Processo ou *CET* (*Critical Exposure Temperature*) para variações de temperaturas submetidas às pressões inferiores à PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível) do equipamento avaliado. Esta avaliação deve abranger condições normais de operação, parada, partida e possíveis transientes e distúrbios operacionais. Para cada cenário identificado uma *CET* deve ser determinada.

Para consolidar a avaliação de cada cenário identificado é necessário que sejam colocadas as curvas *MAT* e *CET* num mesmo gráfico, de modo que em todas as condições de processo possíveis, as curvas não se cruzem, isto é a curva de operação deve ter temperaturas superiores à *MAT* para todas as pressões que o equipamento pode ser submetido.

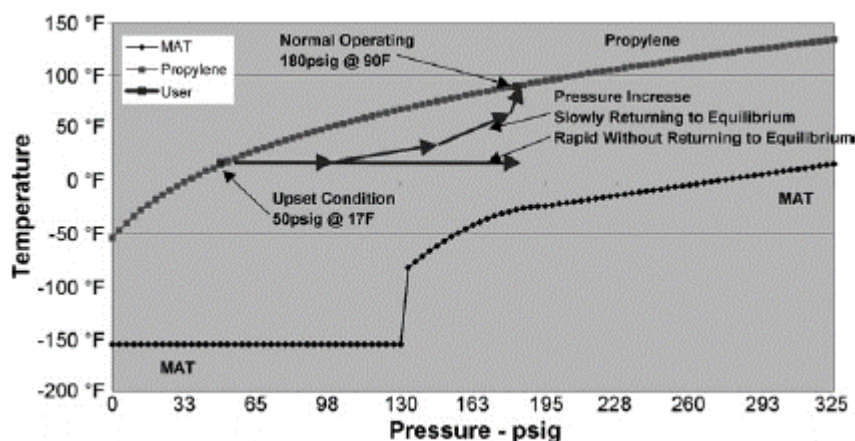


Figura 3 - Análise de fratura frágil para vaso de propileno aprovado para todas as condições que pode ser submetido [1]

Mitigação do Risco de Fragilização [5]

As alternativas para seleção e aplicação de medidas mitigatórias variam de acordo com o cenário e as causas da falha, identificadas nos estudos de risco. Estas medidas envolvem desde a ação humana até mudanças nas instalações, sistemas de proteção e substituição de equipamentos. Alguns exemplos destas alternativas estão listados a seguir.

Ação Operacional e Alarme

A atuação do operador, em função da ativação de alarme no processo, é uma camada preventiva muito aplicada em mitigação de risco. Cenários de auto-refrigeração estão frequentemente associados a condições anormais de operação, situação em que a demanda do operador aumenta pela intensa atuação de alarmes. Alarmes associados à auto-refrigeração devem ser anunciados, preferencialmente, em sistema prioritário e independente.

Adicionalmente, as condições operacionais atualizadas podem estar disponíveis na forma gráfica, com as respectivas curvas MAT dos equipamentos, permitindo ao operador a interpretação adequada do evento, e das limitações do equipamento frente ao cenário, facilitando a tomada das ações de mitigação do risco.

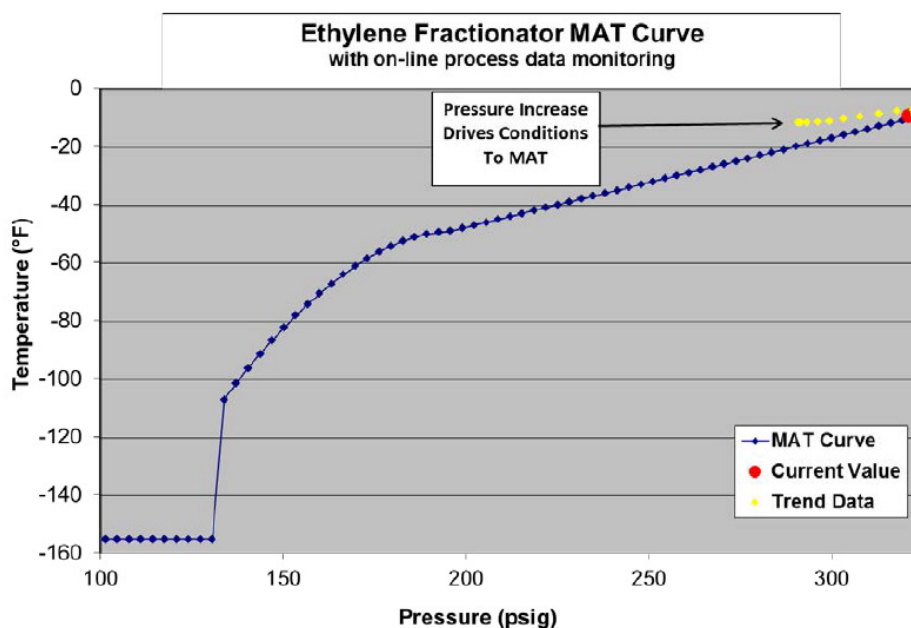


Figura 4 – Monitoramento da MAT x CET no Painel de Controle [5]

Intertravamentos e Controle de Override

Malhas de intertravamento e *override* são barreiras efetivas para muitos cenários de auto-refrigeração, em sistemas com ciclos de despressurização e pressurização. O iniciador para ativação do intertravamento pode ser a redução da pressão ou da temperatura, parada de compressor ou a combinação de mais de um sensor ativado. A lógica de atuação 2oo3 é muito aplicada, a partir de três sensores idênticos, com votação de 2 dos 3 para ativação do intertravamento, minimizando a atuação por falha espúria.

Nem sempre é possível prevenir as condições de risco. Se a despressurização ocorreu, gerando um cenário de auto-refrigeração, a mitigação é possível prevenindo a repressurização do sistema até que a temperatura retorne aos valores seguros de acordo com a curva MAT. O sistema de intertravamento pode ser utilizado para evitar a falha humana na repressurização, através dos sensores de temperatura, pressão ou combinação destes. Pode-se também utilizar o desvio da curva de temperatura MAT ou até mesmo incluir um condicionante para repartida de um compressor na malha de intertravamento.

A instalação de um novo intertravamento deve ser criteriosamente avaliada, especialmente quanto aos requisitos necessários para o restabelecimento (*reset*) do mesmo. Deve ser evitada a chave de by-pass manual do intertravamento, que aumenta a sua vulnerabilidade.

Modificações em Equipamentos

A mudança de equipamentos possivelmente é mais onerosa do que a instalação de intertravamento, embora seja a mais efetiva. A avaliação dos materiais do equipamento comparado com a curva MAT pode identificar determinados pontos vulneráveis como: bocais e flanges, seções do costado, internos do equipamento, que requerem substituição por material mais adequado (ex: aço inox austenítico). Tratamento térmico parcial ou total nas soldas do equipamento, assim como ensaios complementares também pode ser uma alternativa em alguns casos.

Substituição de equipamentos

A substituição do equipamento pode ser a única alternativa viável para a mitigação do cenário de fragilização. Esta decisão decorre tanto pela falta de melhor alternativa, como por restrições de processo a outras possíveis soluções técnicas. A MDMT (*Minimum Design Material Temperature*) do novo equipamento deve ser especificada para evitar a ocorrência de fragilização na temperatura de equilíbrio à pressão atmosférica, considerando a sua operação com hidrocarbonetos leves.

RESULTADOS OBTIDOS

Estudo de Caso

A avaliação realizada em uma coluna desetanizadora, a qual é responsável pela separação das correntes de etileno e etano (corte C2) dos demais hidrocarbonetos, seguiu o fluxo apresentado na figura 5.

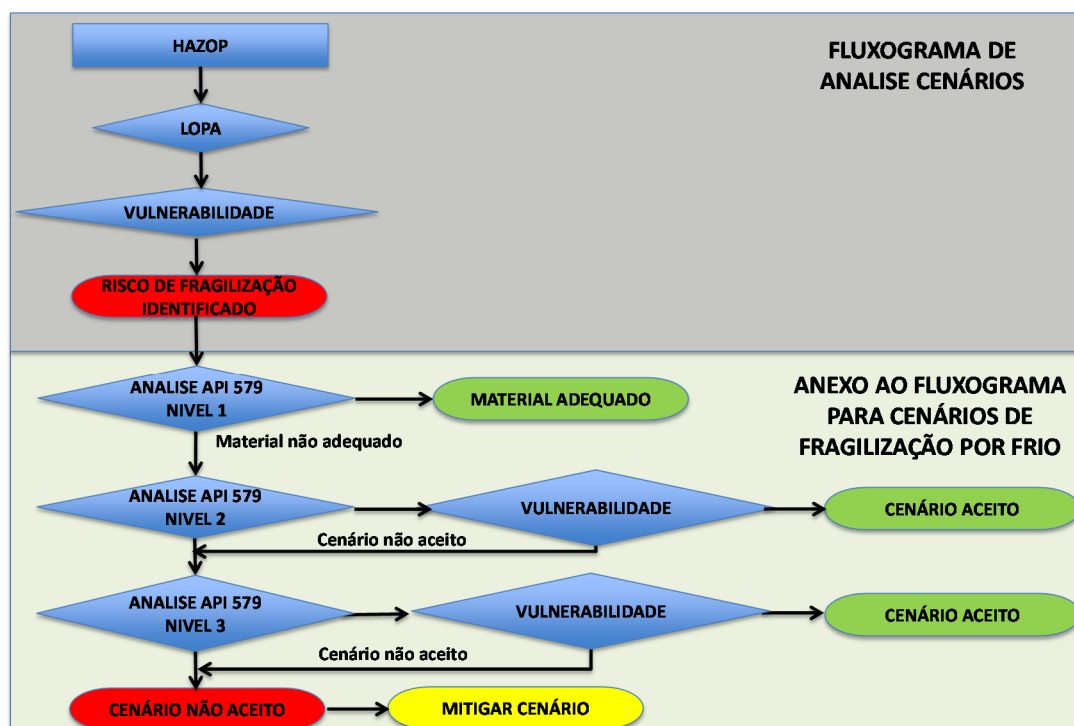


Figura 5 - Análise de abrangência simplificada e completa para cenários de fragilização por frio.

Durante o Hazop foi identificado o cenário de falha da válvula de segurança da coluna desetanizadora, abrindo de forma espúria e não fechando, levando à despressurização do equipamento. Neste cenário, a temperatura mínima no topo da torre pode atingir até -101°C . Foram realizados estudos complementares de LOPA e Vulnerabilidade, confirmando o risco elevado do cenário. Para validação do cenário, foi utilizada a metodologia definida pela API-579.

Estudo Nível 1

A temperatura mínima de operação do equipamento foi determinada pelo maior MDMT (*Minimum Design Metal Temperature*, ou Temperatura Mínima de Projeto do Metal na pressão de projeto ou PMTA do equipamento) de todos os componentes que garantem a estanqueidade ou que têm função estrutural no equipamento. Para determinação da MDMT, foi utilizado o código ASME Seção VIII Div.1 (UCS-66). Para tal, foram necessárias a identificação da especificação do material, da espessura nominal e do tratamento térmico (quando existente) de cada componente do equipamento.

Neste estudo de caso foi elaborada a Tabela 1 com base na espessura e material de cada componente do equipamento.

Tabela 1 - Avaliação Nível 1- MDMT dos componentes da Coluna Desetanizadora.

Temperatura de operação de projeto: -16 a 95°C				
Componente	Material	Curva	Espessura	MDMT (°C)
Corpo				
Tampo Superior	SA-516-70	B	38,00	11
Tampo Inferior	SA-516-70	B	43,00	13
Costado Superior	SA-516-70	B	38,00	11
Costado Cone	SA-516-70	B	43,00	13
Costado Inferior	SA-516-70	B	43,00	13
Conexão 31B				
Pescoço	SA-350-LF1	B	42,16	12
Conexões 37, 41, 43B e C, 38B				
Pescoço auto-reforçante	SA-350-LF1	B	43,00	13
Conexões 38A e 43A				
Pescoço auto-reforçante	SA-350-LF1	B	38,00	11
Conexões 35, 45, 46				
Pescoço auto-reforçante	SA-350-LF1	B	43,00	13
Conexão 17				
Pescoço auto-reforçante	SA-350-LF1	B	34,80	8
Conexão 12				
Pescoço	SA-350-LF1	B	12,70	-24
Conexão 14				
Pescoço	SA-350-LF1	B	12,70	-24
Conexão 7				
Pescoço auto-reforçante	SA-350-LF1	B	38,00	11
Conexão 10				
Pescoço	SA-350-LF1	B	10,97	-27
Conexão 31A				
Pescoço	SA-350-LF1	B	30,23	4
Conexões 15 A/B				
Pescoço auto-reforçante	SA-350-LF1	B	43,00	13
Bocas de visita 1 A/B				
Pescoço auto-reforçante	SA-350-LF1	B	38,00	11
Flange Cego	SA-350-LF1	B	17,02	-12
Boca de visita 1C				
Pescoço auto-reforçante	SA-350-LF1	B	38,00	11
Flange Cego	SA-350-LF1	B	17,02	-12
Bocas de visita 1D e 1E				
Pescoço auto-reforçante	SA-350-LF1	B	43,00	13
Flange Cego	SA-350-LF1	B	17,02	-12
Conexão 11				
Pescoço	SA-350-LF1	B	10,97	-27
MDMT do equipamento: 13°C				

Foi determinada a temperatura de 13°C como a MDMT da coluna, sendo então esta a menor temperatura que este equipamento poderia ser submetido. Porém, com base nas condições operacionais, em que as temperaturas podem variar de -16°C à 95°C, verificou-se a necessidade de realização do estudo de Nível 2.

Estudo Nível 2

Este estudo é aplicado para redução do valor MDMT com base na relação de tensões (*Stress Ratio*), isto é, calcula-se a curva MAT, considerando-se a tensão nominal devido à pressão atuante e a PMTA do equipamento. Algumas das curvas obtidas para este estudo de caso podem ser vistas a seguir:

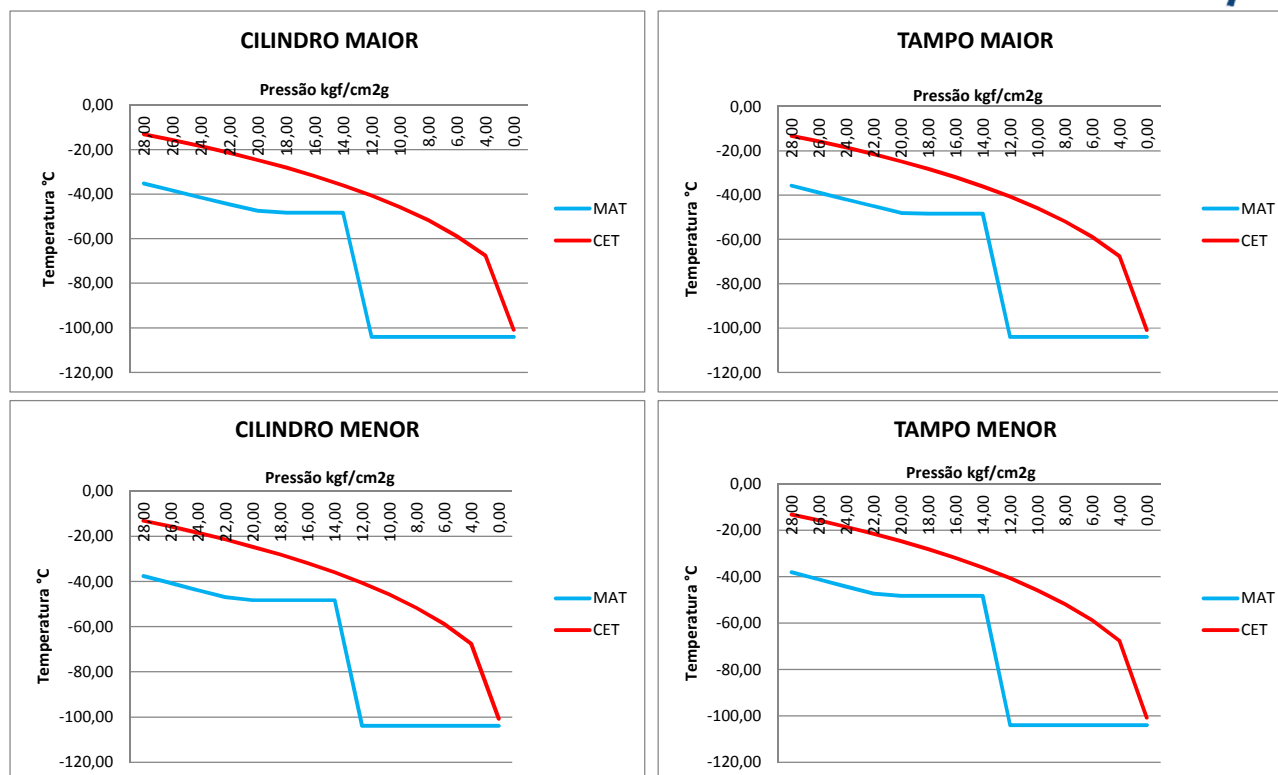


Figura 6 - Curvas MAT & CET de Componentes da Coluna Desetanizadora.

Com base no estudo Nível 2 foi possível obter uma avaliação mais aprofundada de cada componente do equipamento e verificar que dentro da faixa operacional da Coluna Desetanizadora, as curvas *MAT*, e *CET* não se cruzam. Na Figura 6 podemos observar que a curva *MAT* (linha azul) está sempre abaixo do perfil de temperatura da torre (linha vermelha), para cada componente avaliado, concluindo que os mesmos estão adequados para esta operação.

A partir deste estudo pôde-se concluir que a coluna desetanizadora avaliada está apta a operar, mesmo em um cenário de abertura da válvula de alívio de segurança seguida de falha em não fechar, desde que atendidas as condições de pressão e temperatura, com base na curva *CET* da Coluna.

O uso desta metodologia mostrou-se como importante ferramenta para o conhecimento e gestão do risco.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Cenários acidentais que envolvem falha de equipamentos por fratura frágil podem ter consequências catastróficas, por isso o entendimento deste fenômeno, a forma de identificação do mesmo e a sua mitigação devem sempre ser almejadas.

Uma vez definidas as barreiras de proteção, é necessário manter o nível de confiabilidade requerido, através da gestão de sua integridade, garantindo que os parâmetros e os critérios de aceitabilidade utilizados nos estudos de risco sejam permanentemente atendidos.

A adoção única de medidas organizacionais para mitigação de cenários catastróficos, como por exemplo procedimentos operacionais, deve ser evitada sempre que possível, devido à baixa confiabilidade das ações humanas.

A atuação preventiva é sempre a melhor forma de evitar cenários de risco indesejáveis nas plantas industriais, por isso foi elaborado um guia com alguns pontos importantes a serem adotados para prevenir a ocorrência dos mesmos.

Guia de Prevenção para Fratura Frágil por Auto-Refrigeração

1. As pessoas que operam áreas suscetíveis à fragilização a frio devem conhecer os conceitos relativos a este fenômeno.
2. A fragilização a frio raramente ocorrerá em operação normal. Atenção aos transientes e distúrbios operacionais.
3. A fragilização a frio só ocorrerá se os três fatores indicados no triângulo da fratura frágil (Figura 1) estiverem presentes.
4. A ação do operador é parte fundamental na prevenção do fenômeno de fratura frágil.
5. Deve ser informado às lideranças da empresa qualquer ocorrência de resfriamentos ou presença de gelo anormais em linhas e equipamentos.
6. Não se deve repressurizar um equipamento que foi refrigerado de forma não planejada ou não controlada.
7. Sistemas com hidrocarbonetos leves, tais como: metano, C2 e C3, são os mais suscetíveis a fragilização à frio.
8. Não se deve despressurizar equipamentos com hidrocarbonetos leves (metano, C2 e C3) antes de drenar a fase líquida.
9. Atenção a despressurizações manuais ou não controladas que podem resfriar o material à jusante da válvula redutora de pressão.
10. Cuidado com a perda da fonte de aquecimento de correntes ou equipamentos que trabalhem em condição criogênica ou que possam ter auto refrigeração, e que levem fluido frio a locais não especificados para tal.
11. Não acredite que o flare pode receber tudo. Ele tem limites metalúrgicos para temperaturas baixas.
12. Não coloque metano, C2 ou C3 líquidos em equipamentos previamente gaseificados e contendo nitrogênio.

A metodologia proposta permite a avaliação adequada dos possíveis cenários de Fragilização por auto-refrigeração em diversas atividades industriais, facilitando a gestão de recursos para a mitigação destes eventos acidentais.

NOMENCLATURA

- Intertravamento – proteção de ação totalmente automática e independente, ativada por um desvio de processo (Iniciador) que atingiu valor limite e que atua em elementos finais que visam proteger o sistema de determinado risco de segurança de processo. Não é um sistema de controle, possui sensores independentes.
- *Override* – é um sistema ou malha de controle que assume e inibe a atuação de outro controle para proteção de um determinado risco de processo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aqui a todos que, de alguma forma, participaram da construção deste conhecimento e nos possibilitaram alcançar crescimento profissional e pessoal.

REFERÊNCIAS

- [1] RALPH E. KING, “Auto-Refrigeration/ Brittle Fracture Analysis of Existing Olefins Plants – Translation of Lessons Learned to Other Processes”, *Journal of Hazardous Materials* 142 (2007) 608-617.
- [2] JAMES C. COCO, *The 100 Largest Losses 1972 – 2001*, pg.36, Editora Marsh, USA, (2003).

- [3] JOHN ATHERTON, FREDERIC GIL, *Incidents That Define Process Safety*, pg.167, Willey Interscience, New Jersey, USA (2008).
- [4] ABRAM KUO, RYAN PITT, “*Flare Line Failure Case, What Have We Learned?*”, Spring National Meeting, New Orleans, LA, Abril 25-29, 16th Annual Ethylene Producers, Conference Session T8001, AIChE, (2004).
- [5] CRAIG R. THOMPSON, MICHAEL W. KORST, “PHA Metodology and Training Practices Adressing Auto-Refrigeration Brittle Fracture Hazards- 25 Years Later”, Spring National Meeting, New Orleans, LA, March 30th-April 3rd, AIChE, (2014).