

Sistema óptico aprimora medição de tensões residuais em dutos enterrados

Num mundo ideal, dutos enterrados para o transporte de derivados de petróleo estariam expostos apenas aos esforços resultantes da pressão interna do fluido transportado.

No mundo real, esta é apenas uma componente do complexo estado de tensões que age nas paredes de um duto enterrado. Sem considerar os efeitos do envelhecimento e da corrosão, pelo menos quatro outros fatores geram tensões significativas que se combinam com o primeiro: as tensões de montagem, de origem térmica, as decorrentes da interação duto/solo e as tensões residuais por conta da fabricação do duto.

Medir as tensões residuais nestes dutos é um trabalho extremamente importante, pois as combinações de todos os fatores mencionados podem gerar situações de risco, elevando o potencial de ocorrência de acidentes graves.

Para calcular com segurança as tensões que agem em um trecho de um duto, é necessário o conhecimento pleno da própria história do duto, desde a produção do material até a obtenção da sua conformação final.

Adicionalmente, devem ser conhecidas as ações sofridas pelo duto durante seu transporte, sua montagem na faixa de serviço, bem como as possíveis ações de terreno, tais como deslizamentos. Como não é possível ter acesso a estas informações de maneira confiável, o cálculo das tensões não satisfaz. É necessário medi-las em campo.

Existem alguns métodos experimentais capazes de medir tais tensões. Extensômetros de resistência elétrica e extensômetros de cordas vibrantes estão entre os mais popularmente usados em dutos. Entretanto, ambos são sistemas incrementais, isto é, medem apenas as variações de tensões a partir de um momento adotado como referência.

Ao instalar extensômetros em dutos em operação nos quais os estados de tensões iniciais são desconhecidos, não é possível caracterizar as tensões combinadas. Só é possível monitorar a evolução do estado de tensões tendo o momento da instalação como referencial.

Nestas condições, pouco ou nada é possível afirmar sobre a integridade de um duto que já estava carregado e exposto à ação do terreno no momento em que o extensômetro foi instalado, porque não se sabe a que

Armando Albertazzi Gonçalves Jr. é doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina e fundador da Photonita. Especializado na área de Metrologia.



Cesar Kanda é mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina e sócio-diretor da Photonita.





nível de carregamento estava exposto o duto no momento em que o monitoramento iniciou.

Os métodos que medem tensões residuais são absolutos, isto é, medem o estado de tensões que age de forma combinada sobre o material independentemente de existir um referencial inicial. Os mais populares são a difração de raios-X e o método do furo cego.

O primeiro envolve a medição das distâncias interatômicas da estrutura cristalina do material do duto a partir das figuras de difração resultantes do bombardeio de um feixe de raios-X com ângulos controlados. Tem como vantagem o fato de não ser invasivo ao material do duto. Sua principal limitação é a baixa penetração na região medida, dando informações sobre as tensões que agem na superfície do material, que não são de interesse na engenharia.

Furo cego

O método do furo cego é, sem dúvida, o caminho mais usado, principalmente em campo, para medir o estado de tensões de forma absoluta. Apresenta como aspecto negativo o caráter semi-invasivo, uma vez que é necessário executar um pequeno furo cego no material a ser medido. Trata-se de um furo pequeno, de 1,6 mm de diâmetro, e de não mais de 1,4 mm de profundidade. Quando necessário, após a medição estar completada, aplica-se uma ferramenta abrasiva para produzir um “adoçamento” da região do furo, tornando-a geometricamente suave.

Há duas formas básicas de medir a movimentação do material em torno do furo: com extensômetros de resistência elétrica e com métodos ópticos. No primeiro caso, uma roseta com extensômetros é instalada de forma convencional na superfície da peça cujas tensões devem ser medidas.

A roseta possui um alvo na parte central para guiar a execução do furo na posição correta. Uma turbina pneumática de ultra-alta rotação e um dispositivo de avanço fino executam o furo com uma fresa de topo similar às usadas pelos dentistas. Ao final de cada passo de furação, as deformações de cada extensômetro são medidas.

Esses dados, juntamente com as características da ferramenta de furação, propriedades do material e características da roseta extensométrica são usados para determinar o estado de tensões residuais. É um método confiável, normalizado e muito trabalhoso. Requer habilidade prática e consome muito tempo de um técnico especializado.

Alternativamente, o método do furo cego pode ser aplicado usando um interferômetro à base de laser para medir o campo de deslocamentos em torno do furo executado em lugar da roseta interferométrica.

Este método (norma ASTM E 837-01) envolve a realização de um pequeno furo cego de 1,6 mm de diâmetro e aproximadamente 1,4 mm de profundidade (podendo ser realizado com menores profundidades). Se o material analisado se encontra livre de tensões

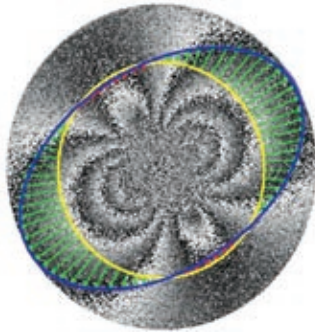


Figura 1 – Campo de deslocamentos medidos pelo método do furo cego combinado com holografia eletrônica.

residuais, a geometria do furo será um círculo (linha amarela da figura 1).

Na presença de tensões residuais, o material nas imediações do furo será deformado de acordo com o campo de tensões atuantes, mudando sua forma e transformando-se em uma elipse (linha azul da figura 1). Essa mudança (circular para elíptico) gera um campo de deslocamentos ao redor do furo, o qual se relaciona diretamente com o campo de tensões presentes.

Para medir com grande precisão este campo de deslocamentos e calcular as tensões, utiliza-se um método óptico conhecido como 'holografia eletrônica (HE)'. Quando um objeto é iluminado com um laser, o mesmo apresenta um aspecto granular formado por pontos claros e escuros conhecido como *speckle*.

Deslocamentos na superfície produzem mudanças neste granulado óptico, as quais podem ser captadas por uma câmera digital, permitindo calcular a movimentação do material ao redor do furo, de acordo com o estado de tensões existentes.

Com o desenvolvimento da tecnologia, a medição óptica do campo de deslocamentos ao redor do furo se tornou muito mais rápida e prática que a medição das deformações realizadas com extensômetros elétricos (EE). A figura 2 apresenta uma comparação do tempo tipicamente necessário para realizar uma medição óptica como holografia eletrônica (HE) e com extensômetros elétricos (EE).

Na medição com extensômetro, cerca de 50 minutos são consumidos com a preparação da superfície e sua instalação. Na medição óptica, este tempo cai para 10 minutos. No final, é possível medir entre três a quatro vezes mais rapidamente com os métodos ópticos.

A medição óptica com holografia eletrônica é o princípio de um sistema desenvolvido nos últimos 15 anos na Universidade Federal de Santa Catarina, denominado de MTRES (Medidor Modular de Tensões Residuais), com apoio da Finep, CTPetro, CNPq, Petrobras, Sebrae e CTenerg.

O sistema resultante é um equipamento com tecnologia de ponta, sem paralelo no cenário internacional. O serviço de medição é hoje disponibilizado em escala comercial ao mercado brasileiro através da empresa Photonita, localizada na incubadora Celta, de empresas de base tecnológica inovadora de Florianópolis. Inédito no mercado, o sistema tem sido utilizado por grandes empresas petrolíferas e de

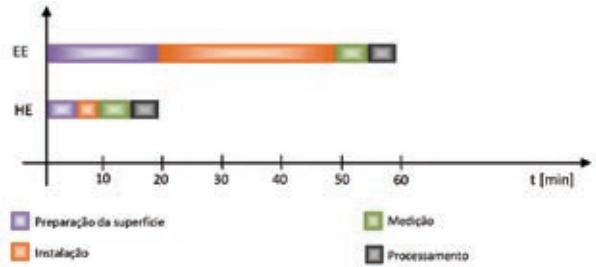


Figura 2 – Comparação de tempos de medição entre os métodos disponíveis.

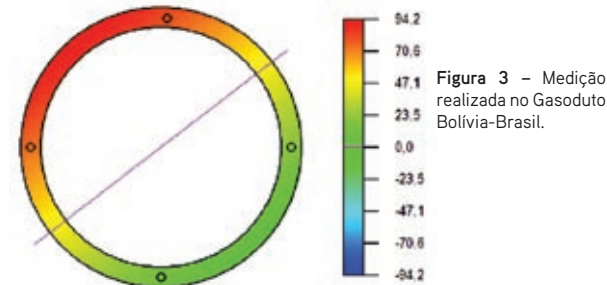


Figura 3 – Medição realizada no Gasoduto Bolívia-Brasil.

distribuição de gás e consiste em inovação totalmente brasileira.

Medição em gasoduto

A figura 3 mostra uma foto do sistema sendo utilizado em uma medição realizada pela empresa Photonita (www.photonita.com.br) em um trecho do gasoduto Gasbol. As tensões são medidas em um mínimo de quatro pontos distribuídos ao longo da seção analisada.

Um diagrama colorido similar ao da figura representa a distribuição das tensões longitudinais ao longo da seção analisada em um duto. Com ele são calculados os esforços longitudinais e os momentos fletores que agem no duto em resposta à movimentação do terreno. (Convém deixar claro que o diagrama colorido da figura corresponde a um outro duto. É aqui apresentado com o aspecto ilustrativo apenas. Ele não corresponde às medições realizadas no Gasbol. Os dados verdadeiros foram omitidos por questões de sigilo profissional.) ■