

Sistema Sônico de Detecção e Localização de Vazamentos (SLDS)

O sistema sônico de detecção e localização de vazamentos (SLDS/ Sonic Leak Detection System) utiliza uma tecnologia que pode ser empregada com eficiência na detecção de vazamentos em dutos que transportam vários tipos de fluidos, quer sejam líquidos, gases ou multifásicos, podendo ser aplicada em dutos aéreos, subterrâneos ou submarinos.

Jaqueline Costa Martins é Engenheira de Aplicação da Asel-Tech Tecnologia e Automação Ltda. Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU - 1998), Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar - 2001). Atualmente é doutoranda da Universidade de São Paulo (USP), no Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos (NETeF).



Maurino de Febbo é gerente de Engenharia na Asel-Tech e graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela Faculdade de Engenharia São Paulo (Fesp-1986), MBA em Administração de Empresas pelo Instituto Mauá de Tecnologia (Mauá- 2000), com diversos cursos de especialização, tendo atuação destacada no desenvolvimento e implantação de Produtos e Tecnologias.



Paulo Seleglim Júnior é graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1987), mestrado em Engenharia Mecânica pela USP (1990), DEA em Mecanique Des Fluides - Institut National Polytechnique de Grenoble (1994) e doutorado em Mecanique Des Fluides - Commissariat à L'energie Atomique (1996). Atualmente é Professor Titular da USP, desenvolvendo projetos de pesquisa na área de Escoamentos Multifásicos Industriais.



O princípio de funcionamento do SLDS (**Figura 1**) baseia-se na detecção do transiente de pressão que é iniciado no momento em que ocorre o vazamento. Quando se dá uma ruptura ou falha na parede do duto, no momento em que se instala o vazamento, é produzido um transiente de pressão que se propaga através do fluido, em ambos os sentidos, em forma de frentes de ondas, que são guiadas pelas paredes do duto atingindo grandes distâncias.

Sensores acústicos são instalados em pontos estratégicos do duto, para leitura desses sinais, que permitirão identificar a ocorrência do vazamento. O tempo de viagem do transiente hidráulico desde o local do vazamento até sensores acústicos adjacentes é medido, permitindo a rápida localização do vazamento, com grande precisão. Em caso de ocorrências de vazamento, o tempo de detecção é um parâmetro fundamental para minimizar a perda de produto, evitar riscos à segurança, danos ambientais, etc. Este é um dos grandes diferenciais dessa tecnologia.

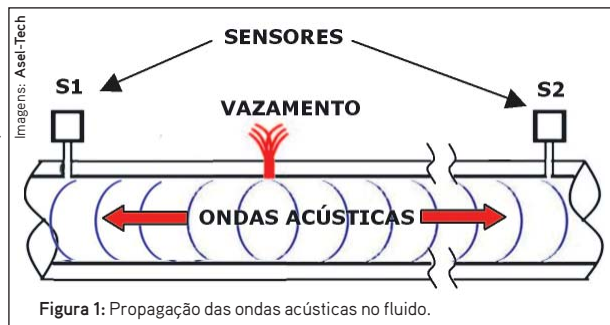


Figura 1: Propagação das ondas acústicas no fluido.

O SLDS faz uso das frequências subsônicas, abaixo de 3 Hz, região onde se localizam os principais componentes espectrais dos sinais acústicos produzidos por vazamentos. As ondas mecâ-

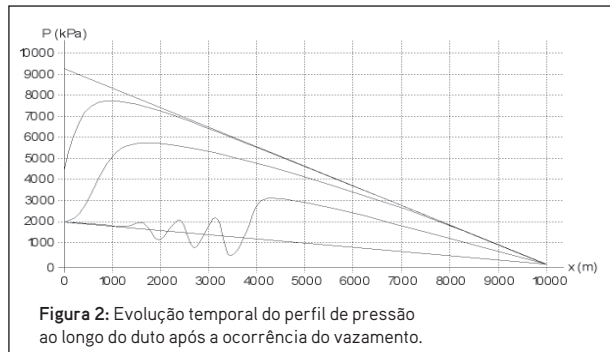


Figura 2: Evolução temporal do perfil de pressão ao longo do duto após a ocorrência do vazamento.

nicas de baixas frequências, por encontrarem menos obstáculos, podem propagar-se facilmente através do fluido por dezenas de quilômetros.

Conhecendo-se os tempos em que a frente de onda alcança os sensores acústicos é possível determinar a localização do vazamento. A **Figura 2** mostra qualitativamente a evolução temporal do perfil de pressões da tubulação à jusante do vazamento entre o início do vazamento e após ser alcançado novamente o regime estacionário. Dois aspectos devem ser destacados: 1) a rápida velocidade de propagação da frente de onda correspondente ao transiente de pressão e 2) o surgimento de oscilações na esteira da frente de onda. Estas oscilações de pressão são indicadoras do rompimento da tubulação e são monitoradas pelas unidades componentes do SLDS.

O sinal do vazamento é captado pelos sensores acústicos e enviado às unidades remotas, denominadas Acouwave™, que processam os sinais e enviam as informações para a unidade mestre, denominada Acoumaster™. A unidade mestre (Acoumaster), por sua vez, recebe e avalia as informações de todas as unidades remotas, declara a ocorrência do vazamento, e calcula a sua posição a partir dos tempos de chegada do sinal em cada unidade remota.

O alarme de vazamento e sua localização são mostrados no sistema supervisor, localizado na sala de controle, que serve como interface homem/máquina.

A localização do ponto de vazamento é determinada a partir dos tempos de chegada em cada sensor. Para perfeita sincronia dos relógios, as unidades remotas utilizam o sistema GPS (Sistema de Posicionamento Global), que garante uma precisão de 500 nanossegundos. Com isso minimizam-se erros oriundos de defasagem entre os relógios nos cálculos de localização.

A transmissão dos sinais das unidades remotas para a unidade mestre pode ser feita por meio de enlaces de rádio, satélite, fibra ótica, rede ethernet, ou outros meios de comunicação. Mesmo na ausência de comunicação o sistema continua monitorando o duto e uma vez restabelecida a comunicação, as informações obtidas dos processadores locais serão usadas para o cálculo e localização de vazamentos eventualmente ocorridos durante esse período.

A tecnologia acústica é a única que possibilita a detecção de vazamentos mesmo com a linha bloqueada (sem fluxo), bastando que a mesma permaneça pressurizada.

As características mais importantes na avaliação de sistemas de detecção de vazamentos são: tempo de detecção, volume vazado até a declaração do alarme, precisão na localização do vazamento e confiabilidade de operação (baixa taxa de falsos alarmes).

Há outros pontos também importantes a considerar, como facilidade de instalação, operação e manutenção, entre outros.

Configuração do sistema

Em sua configuração típica, o *hardware* de um sistema acústico de detecção e localização de vazamentos é composto das seguintes partes principais:

- Sensores acústicos;
- Unidades remotas (Acouwave™), ou processadores locais;
- Antenas GPS (Global Positioning System);
- Unidade mestre (Acoumaster™), ou processador central;
- Computador dedicado ao sistema de detecção e localização de vazamentos.

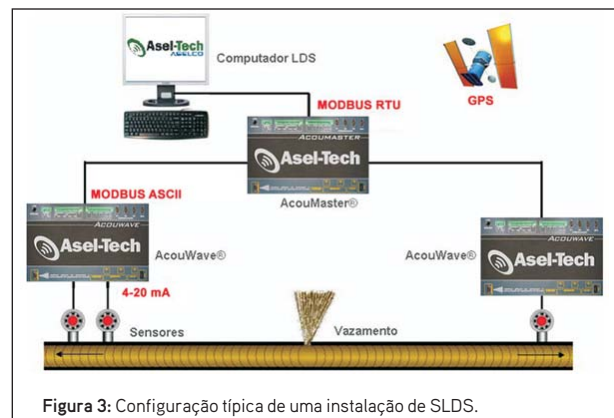


Figura 3: Configuração típica de uma instalação de SLDS.

Sensores acústicos

Os sensores acústicos são os elementos responsáveis pela leitura dos sinais dinâmicos. São instalados em diferentes pontos ao longo do duto, em quantidades e distâncias que variam de acordo com as características e configuração de cada duto, requerimentos de sensibilidade, precisão de localização, fontes de ruídos, etc. Sempre que possível, nas extremidades do duto são empregados pares de sensores, separados por uma distância adequada. A instalação de sensores redundantes facilita a identificação de ruídos e interferências oriundas de regiões externas ao trecho protegido, sendo aproveitada como um eficiente filtro para evitar alarmes indevidos. Na operação em pares, mesmo em caso de falha de um dos sensores, o sistema ainda continua detectando vazamentos.

A instalação dos bocais pode ser feita com a linha em operação, com uso de Hot Tapping Machines, não requerendo a parada do duto. Desta forma, eliminam-se as perdas de produção durante esta fase, reduzindo em muito os custos de instalação.

Processador local Acouwave™

Os processadores locais, denominados Acouwaves, são responsáveis pela aquisição e processamento dos sinais dos sensores. São instalados próximos a cada ponto de monitoramento, podendo ser dedicados exclusivamente a um sensor ou a um grupo de sensores. As unidades Acouwave



Figura 4: Sensores acústicos instalados em campo.



Figura 5: Tela do operador em condições normais de operação.



Figura 6: Tela do operador na ocorrência de um vazamento.

monitoram continuamente os sinais de saída dos sensores acústicos, executam um complexo processamento e transferem os dados resultantes ao processador central, que emitirá o devido alarme em casos de vazamento.

Processador local Acoumaster™

O processador central, ou unidade central de processamento, denominada Acoumaster, tem como função principal processar as informações recebidas das unidades remotas e gerar as mensagens de alarme em casos de vazamento, enviando estas informações para serem exibidas no sistema supervisor.

A unidade Acoumaster em geral fica instalada na sala de controle, e comunica-se com os processadores locais em seqüência de *poolings*.

Comparando os tempos de chegada dos eventos acústicos detectados pelos processadores locais, determina-se a posição do vazamento e as mensagens de alarme apropriadas são geradas.

É importante frisar que tanto as unidades Acouwave como a unidade Acoumaster não dependem de licenças de softwares proprietários. Todos os programas e rotinas necessárias para suportar o funcionamento do SLDS residem em Firmware, e são parte integrante do sistema fornecido.

Toda a operação e configuração do sistema é feita por meio de um computador dedicado ao sistema de detecção e localização de vazamentos, equipado com um software supervisor, que atua como interface homem/máquina oferecendo funções de configuração, telas de operação amigáveis, etc. Normalmente, roda um aplicativo, com telas representando o traçado do duto, destacando-se os pontos de monitoramento e outros detalhes que facilitam a operação do sistema, de acordo com as preferências do cliente. Todas as configurações de parâmetros e condições de operação são feitas através do sistema supervisor, utilizando-se as telas de engenharia. Também são disponibilizados relatórios, históricos de ocorrências, etc.

Um exemplo de tela de operação é mostrado na Figura 5. Nela aparece um diagrama com a disposição do duto e as estações de monitoramento, que quando em condições normais de operação aparecem em cor verde, mas mudam para vermelho em qualquer condição de falha. Quando um vazamento ocorre, o alarme é declarado nessa tela, onde são mostrados o local aproximado do vazamento, a data e hora da ocorrência. Na Figura 6 é apresentada a tela do operador numa situação de declaração de alarme.

O sistema sônico de detecção e localização de vazamentos pode ser facilmente interfaceado com o SCADA existente. Todas as operações locais e remotas, assim como os parâmetros de configuração, podem ser ajustados no sistema SCADA, o que possibilita o acesso ao SLDS de onde for necessário, além do computador da sala de controle.

Características importantes

Tempo de detecção – O tempo necessário para a detecção de um vazamento e a geração do conseqüente alarme pelo SLD não é um valor fixo. Ele é dependente de vários fatores e condições, e é um valor particular para cada trecho ou instalação. As principais características que influem no tempo de detecção são os tempos de propagação das frentes de ondas, de processamento dos sinais nas unidades remotas, de comunicação dos dados com a unidade mestre, de processamento das informações na unidade Acoumaster e de comunicação com o sistema

supervisório. Como a maioria das contribuições é variável, são avaliados e especificados os tempos máximos de detecção em cada caso.

Rejeição de falsos alarmes – Os sinais acústicos gerados por vazamentos possuem características distintas daquelas geradas pelo ruído normal de operação. Para se evitar a geração de falsos alarmes, é necessário fazer uma distinção clara entre os sinais de vazamento e aqueles provenientes de ruídos característicos da operação normal do duto. Essa distinção é assegurada por um sofisticado arranjo de processamento dos sinais captados pelos sensores acústicos, com emprego de várias técnicas e diferentes tipos de filtros. Além dos filtros analógicos implementados em *hardware*, são utilizados filtros digitais, como filtros diferenciais, filtros de fase, filtros de média móvel, filtros correlativos, filtros de ganho adaptativo, filtros passa-banda, etc.

Avançadas ferramentas de aquisição de sinais permitem a obtenção de perfis em diferentes condições, oferecendo a melhor caracterização da assinatura do duto, em cada caso particular. Essa técnica reduz, significativamente, a ocorrência de alarmes indevidos, otimizando-se a sensibilidade e a precisão da localização do vazamento.

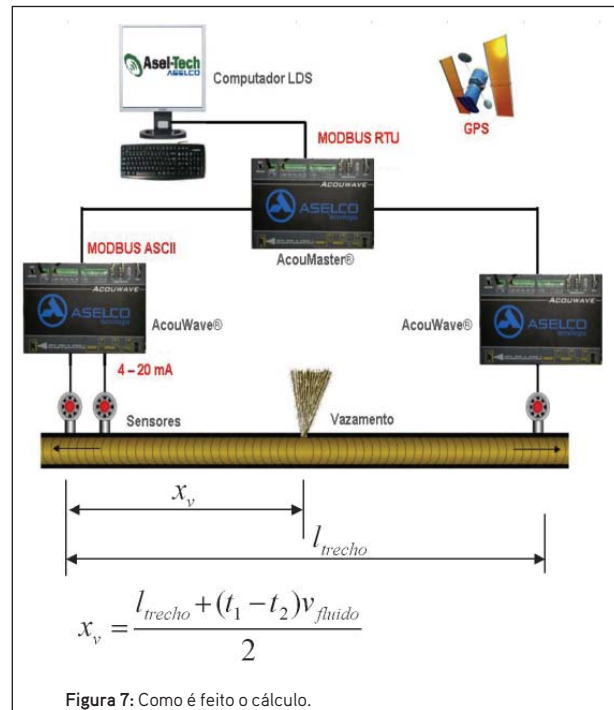
Localização do vazamento – De modo simplificado, sendo conhecidas a velocidade de propagação e o comprimento do trecho, o processador central (Acoumaster) efetua o cálculo da localização do vazamento a partir dos tempos de chegada do sinal em cada sensor, de acordo com os valores informados pelas unidades remotas.

As possíveis fontes de erro que podem contribuir para desvios neste cálculo são erros de sincronismo dos relógios, alterações na velocidade de propagação da frente de onda e erros de cronometragem. Esses erros são reduzidos, ou praticamente anulados em alguns casos, através do sincronismo dos relógios com o GPS, manutenção do sistema GPS e do sistema de comunicação e com a determinação correta da velocidade acústica feita durante a fase de comissionamento.

Sensibilidade de detecção

A sensibilidade do SLDS para a detecção de vazamentos também não é um valor fixo para qualquer duto. A sensibilidade máxima final permitida pelo sistema é dependente de vários fatores e condições, e é particular para cada trecho ou instalação. Os principais fatores e características que determinam a sensibilidade máxima na qual o sistema pode operar são citados a seguir:

- Comprimento e diâmetro do duto;
- Condições operacionais como pressão, temperatura, etc.;
- Natureza do fluido transportado (monofásico ou multifásico);



- Quantidade e posicionamento dos sensores acústicos instalados;
- Configuração do duto (válvulas, separadores);
- Ruídos de fundo e interferências operacionais produzidas em condições normais de operação;
- Modo de operação configurado e ajustes.

Quando um vazamento ocorre na posição central do trecho protegido, as distâncias que o sinal acústico deve percorrer até ser captado pelos sensores são as mínimas possíveis e, conseqüentemente, a sensibilidade nesta região é máxima (menor furo detectável). Ao contrário disso, quando um vazamento ocorre próximo a um dos sensores, a distância a ser percorrida pela onda acústica até o sensor oposto é máxima e, por isso, a sensibilidade de detecção neste ponto é menor. A **Figura 8** ilustra qualitativamente este conceito. Os gráficos de sensibilidade podem ser expressos em função da sensibilidade (qualitativo), ou em função dos tamanhos de furos detectáveis. Assim, na região central do trecho protegido, a sensibilidade é máxima e, por conseguinte, o menor furo detectável é mínimo. A curva de sensibilidade global do sistema é mostrada na **Figura 9**, onde se visualiza 100% de cobertura dos trechos protegidos pelo sistema de detecção de vazamentos SLDS.

Algoritmo de detecção assimétrico

O algoritmo de detecção assimétrico baseia-se na detecção de vazamentos e declaração de alarmes, através dos sinais captados em uma extremidade do trecho apenas. É empregado em aplicações nas quais não é possível a instalação de sensores nas duas extremidades do trecho, como em quadros de bóias, por exemplo.

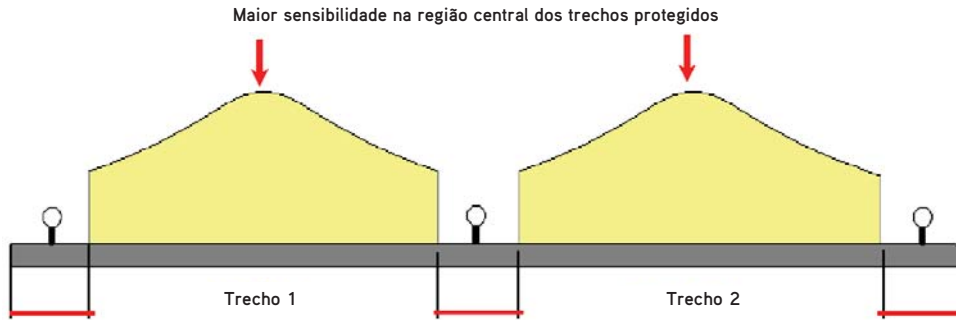


Figura 8: Variação da sensibilidade ao longo de cada trecho protegido.

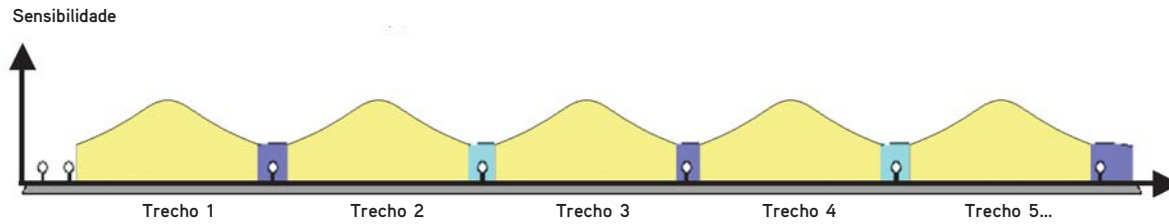


Figura 9: Curva de sensibilidade ao longo do duto.

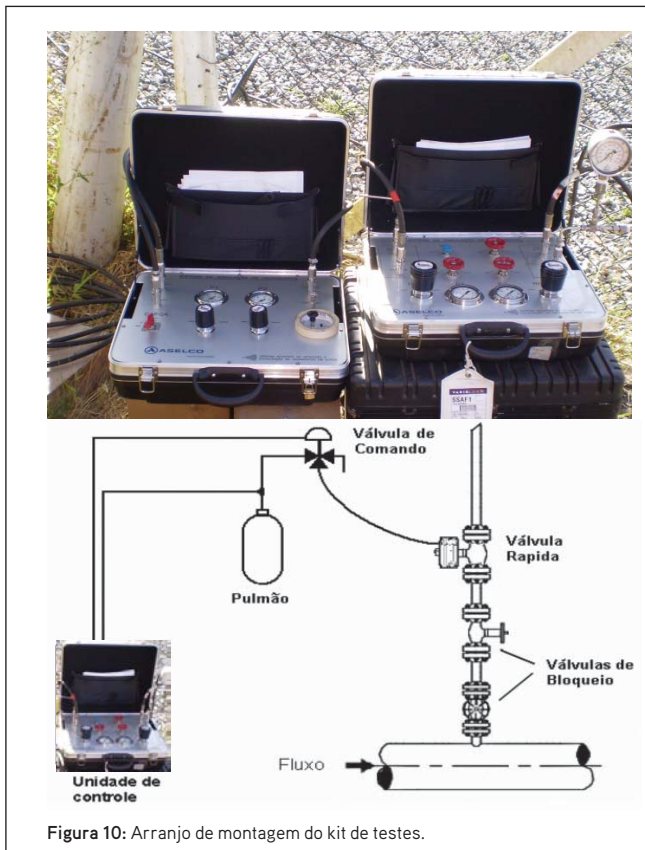


Figura 10: Arranjo de montagem do kit de testes.

Contudo, pode ser utilizado em conjunto com os algoritmos normais de detecção, como um complemento para melhorar a sensibilidade de detecção nas regiões próximas aos sensores. A desvantagem é que, por se basear na detecção de sinal em apenas um ponto, este algoritmo não é capaz de localizar o vazamento. Apenas é possível saber que o vazamento ocorreu num ponto próximo ao sensor. Pelo mesmo motivo, é também mais suscetível a alarmes indevidos.



Figura 11: Kit de testes instalado na linha.

Testes com simulação de vazamentos

A Asel-Tech possui condições técnicas e equipe especializada para realizar testes com simulação de vazamentos nos sistemas SLDS instalados. Estes testes são essenciais para comprovar o desempenho do sistema e o atendimento às especificações de projeto, conforme as necessidades peculiares de cada instalação e arquitetura.

Os testes com simulação de vazamentos são feitos com uso de um kit de testes desenvolvido especialmente para esse fim, com a utilização de dispositivos apropriados. As Figuras 10 e 11 mostram o arranjo de montagem e sua instalação no ponto de testes. ■