



IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MANUTENÇÃO DE REDES DE VAPOR POR DIAGNÓSTICO BASEADOS EM ULTRA-SOM

STEVEN ORLANDO VAN ELS

Staatsolie Refinery Suriname
svanel@staatsolie.com

NEWTON SURE SOEIRO

Universidade Federal do Pará
nsoeiro@ufpa.br

***Resumo.** Os resultados de vários programas de avaliação de desempenho de purgadores de vapor indicam que, aproximadamente, 20% do vapor gerado é perdido através de vazamento de purgadores defeituosos em sistemas típicos de aquecimento industrial, se nenhum programa de manutenção periódico da rede de vapor é empregado. O uso de equipamento de diagnóstico portátil de ultra-som, combinado com um programa de manutenção adequado, tem capacidade de cortar os custos de forma drástica. Qualquer programa de monitoramento requer um acréscimo de trabalho para coletar e avaliar os dados de campo, bem como muito tempo será gasto para a coleta desses dados a partir do uso de equipamento portátil. Este trabalho descreve a implementação de um software visando a documentação e “follow up” de um sistema de monitoramento da rede de distribuição de vapor na Refinaria de óleo pesado de Staatsolie no Suriname, América do Sul.*

***Palavras-chave:** ultra-som, manutenção preditiva, vapor de água, transferência de calor.*

1 INTRODUÇÃO

A refinaria de Staatsolie, situada no Suriname, é uma refinaria que transforma petróleo em óleo combustível (*fuel oil*), heavy vacuum gasoil (hvgo), asfalto, diesel e naphtha. Os processos de refino ocorrem a elevadas temperaturas e a transferência de calor é o fenômeno de transporte mais usado. Na refinaria, para manter a temperatura nos produtos, reatores, vasos e equipamentos, uma extensa rede de vapor é usada, na qual encontra-se um total de 520 purgadores, sendo que destes 96% são do tipo disco. Por outro lado, embora o purgador seja um dos elementos mais encontrado em qualquer refinaria, em muitos casos ele é uma das peças mais negligenciadas no sistema de manutenção preventiva, o que acarreta uma perda substancial de vapor gerado no sistema de aquecimento industrial e, em consequência, a necessidade da implantação de um programa de manutenção periódico da rede de vapor, visando melhorar a sua eficiência.

1.1 Função do Purgador de Vapor

Os purgadores são válvulas automáticas usadas em sistemas de vapor para remover condensado, ar e outros gases não-condensáveis, bem como prevenir ou minimizar a passagem de vapor.

O ar que permanece na rede de vapor depois do “*start-up*” reduz a pressão e a temperatura do vapor e, além disto, age como um isolante afetando, assim, a capacidade térmica nos equipamentos de transferência de calor. Por outro lado, os gases não-condensáveis como o oxigênio e o dióxido de carbono causam corrosão e, finalmente, o vapor que passa pelo purgador não fornece um serviço de aquecimento. Isto reduz, efetivamente, a capacidade de aquecimento do sistema de vapor, e demanda um aumento de produção de vapor nos geradores.

2 TECNOLOGIA ULTRA-SOM

Todo equipamento produz um ruído característico de funcionamento. Os sons com frequência na faixa de 20 Hz a 20 kHz são percebidos pelo ouvido humano. A frequência f é proporcional ao inverso do comprimento de onda λ , conforme estabelece a Eq.(1):

$$f = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

As ondas sonoras que correspondem ao ultra-som abrangem a faixa de frequência de 20 a 100 kHz, e não são percebidas pelo ouvido humano. Como o comprimento da onda situa-se na faixa de 3.175 mm a 15.875 mm, a radiação do ruído gerado é quase direcional. Por isto, é fácil distinguir estes sinais de ruído de fundo e detectar sua localização exata. Qualquer mudança nas condições de funcionamento do equipamento altera o ruído característico e, por causa da natureza do ultra-som, estes sinais de “avisos” podem ser detectados antes que uma falha ocorra no equipamento.

3 MODELAGEM

Qualquer programa de manutenção será deficiente se não houver um sistema de verificação e medição dos resultados dos esforços dos departamentos envolvidos. Dependendo do tamanho da rede de vapor, a disponibilidade de mão de obra qualificada, e a tecnologia disponível, várias opções existem. Em algumas localidades é mais vantajoso terceirizar todo o serviço de vistoria e manutenção. Em outros casos a vistoria é feita pela mão de obra existente na instalação.

A opção da Staatsolie foi a de comprar o equipamento necessário e executar o serviço por uma equipe interna, constituída por operadores e mecânicos.

Na Staatsolie a manutenção preventiva é iniciada pelo Centro de Controle de Manutenção (*Maintenance Control Center*), que é responsável pelo Sistema Computadorizado de Gerência de Manutenção (*Computerized Maintenance Management System*). Embora o CMMS existente tenha várias opções, a modelagem adequada da rede de vapor exigiria mudanças na sua estrutura interna, algo fora do escopo do trabalho. Assim, para a geração das vistorias, foi feita a opção pela construção de um banco de dados independente.

3.1 Modo De Operação

A Fig. (1) sintetiza o fluxo de trabalho de uma vistoria. Neste fluxo, o MCC gera uma ordem de trabalho para inspeção de purgadores endereçada ao Departamento de Operação. As listas de inspeção são geradas e os operadores treinados fazem a vistoria. O resultado é enviado para o Departamento de Manutenção que faz as correções necessárias e fecha a ordem de trabalho. A diferença em relação aos sistemas tradicionais é que geralmente são os técnicos que fazem a vistoria, durante o expediente normal, dentro da sua rotina de trabalho.

A inspeção por ultra-som é mais apropriada de ser realizada no período vespertino e/ou noturno, quando se tem menos ruído de fundo. Por outro lado, desde que a refinaria funciona 24 horas, os operadores são os inspetores mais adequados, uma vez que eles têm a oportunidade de conhecerem com mais profundidade os equipamentos com que trabalham.

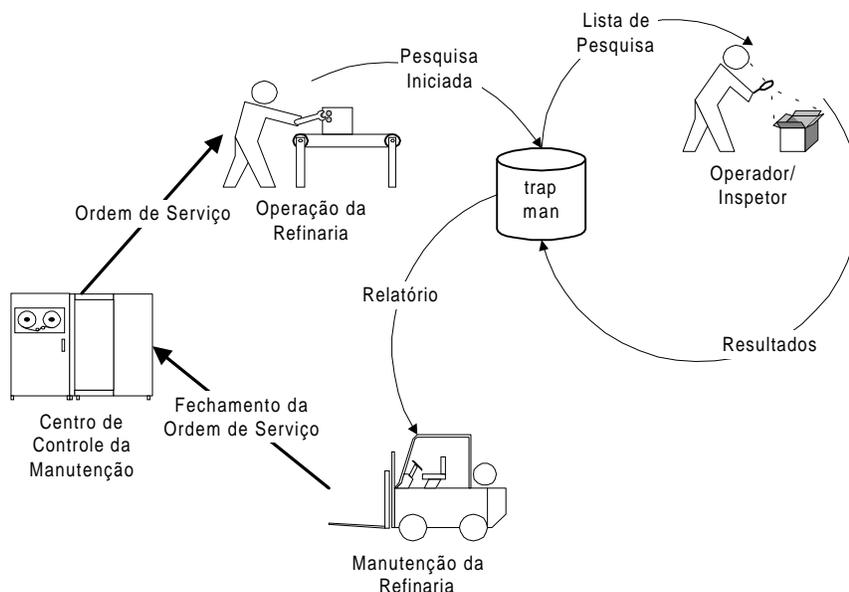


Figura 1. Fluxo de trabalho de uma vistoria.

3.2 Objetivos do Sistema de Gerenciamento (*Trap Management System*)

Os objetivos do programa estão relacionados abaixo:

- Manter uma lista de todos os purgadores de vapor, agrupados por modelo, tipo, rota de inspeção, conexão à tubulações e bariletes e função do purgador;
- Manter uma lista de todos os bariletes, ramais e tubulações de vapor e condensado;
- Manter um sistema de identificação de todos os componentes da rede de distribuição baseado nos P&ID (“*Processes & Instrumentation Diagrams*”);
- Gerar rotas de inspeção para serem usadas em vistorias com equipamento de ultra-som;
- Gerar listas com purgadores e componentes defeituosos encontrados em vistorias;
- Fornecer dados estatísticos baseados no histórico e vistorias;
- Gerar informação de isolamento de ramais e componentes para “*work permits*” e “*lock-out, tag-out*”.

3.3 Modelo Físico

Os componentes básicos de uma rede de vapor comumente encontrados numa refinaria são:

- *Steam Trap* ou purgador;

- **Steam Manifold**, um tubo, ramal ou recipiente que distribui vapor a vários pontos. As tubulações principais (*headers*) também são consideradas "*manifolds*" porque em determinados pontos os purgadores estão instalados para remover o condensado que se acumula nos pontos baixos;
- **Condensate Manifold**, um tubo, ramal ou recipiente que coleta condensado de vários pontos. A atmosfera é denominada de "*manifold*" virtual, embora o condensado não retorne para reaproveitamento.

De um ponto de vista funcional, o purgador é designado a fazer uma certa ação nos processos na refinaria, por exemplo: manter linha 3"-HR-710-1A1B-2"ST na temperatura desejada. Por outro lado, cada purgador recebe vapor de uma fonte "*Steam Manifold*" e descarrega condensado para um "*Condensate Manifold*" ou para atmosfera.

3.4 Informações Coletadas

Os componentes descritos no modelo físico devem ser enquadrados num banco de dados de tal forma que a relação entre os vários componentes seja mantida. Assim, para um sistema de mais de 100 purgadores espalhados numa fábrica, certas propriedades têm que ser recordadas de uma maneira eficiente. As questões sobre um purgador são:

- | | |
|-----------------------------|---|
| • Modelo, marca, etc | • Função |
| • Tipo | • Rota de inspeção |
| • Localização | • Ordem de inspeção |
| • Área | • Características de funcionamento |
| • Fonte | • Documentos de referência |
| • Destino | |

As mesmas observações devem ser feitas sobre os bariletes "*manifolds*" de vapor e condensado.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| • Modelo, marca, etc | • Numero de conexões disponíveis |
| • Tipo | • Fonte (<i>steam manifolds</i>) |
| • Localização | • Destino (<i>condensate manifolds</i>) |
| • Área | • Documentos de referência |
| • Numero de conexões ocupadas | |

Outros aspectos que surgirão são:

- | | |
|---|---|
| • Descrição de rotas de inspeção | • Relação dos purgadores defeituosos |
| • Resultado de inspeção | • Relatórios |
| • Período da vistoria | |

Apos uma análise de todos estes requisitos foi desenvolvido um banco de dados que no sistema básico é composto de oito tabelas que serão geradas num "*SQL Compliant Relational Database Management System*" ou um banco de dados Cliente – Servidor.

O modelo "*client-server*" foi escolhido porque assegura a maior funcionalidade num ambiente multi-usuário, que é encontrado em instalações industriais de médio a grande porte.

3.5 Estrutura do banco de dados

O banco de dados está estruturado em oito tabelas, que podemos classificar como segue:

- **Tabelas estáticas e dinâmicas**
- **Tabelas dependentes e independentes**

A explicação da classificação acima apresentada é a seguinte:

- **Estáticas:** estas tabelas não crescerão significativamente uma vez que estão preenchidas. Em geral, estas tabelas contêm informações técnicas e propriedades do sistema.
- **Dinâmicas:** crescerão com o tempo, porque geralmente contêm condições de funcionamento do sistema.
- **Independentes:** estas contêm informações para outras tabelas, comumente são chamadas de “look-up tables”.
- **Dependentes:** estas estão ligadas às tabelas “look-up” ou são geradas por meio de processamento e combinações de outras tabelas.

As vistorias são geradas por meio de procedimentos internos (“stored procedures”) de Banco de Dados Relacional (RDBMS). Uma vistoria é iniciada e o programa gera listas com rotas de inspeção de tal maneira que o inspetor recebe as informações necessárias para cumprir a sua tarefa. A estrutura lógica do banco de dados é mostrada na Fig. (2).

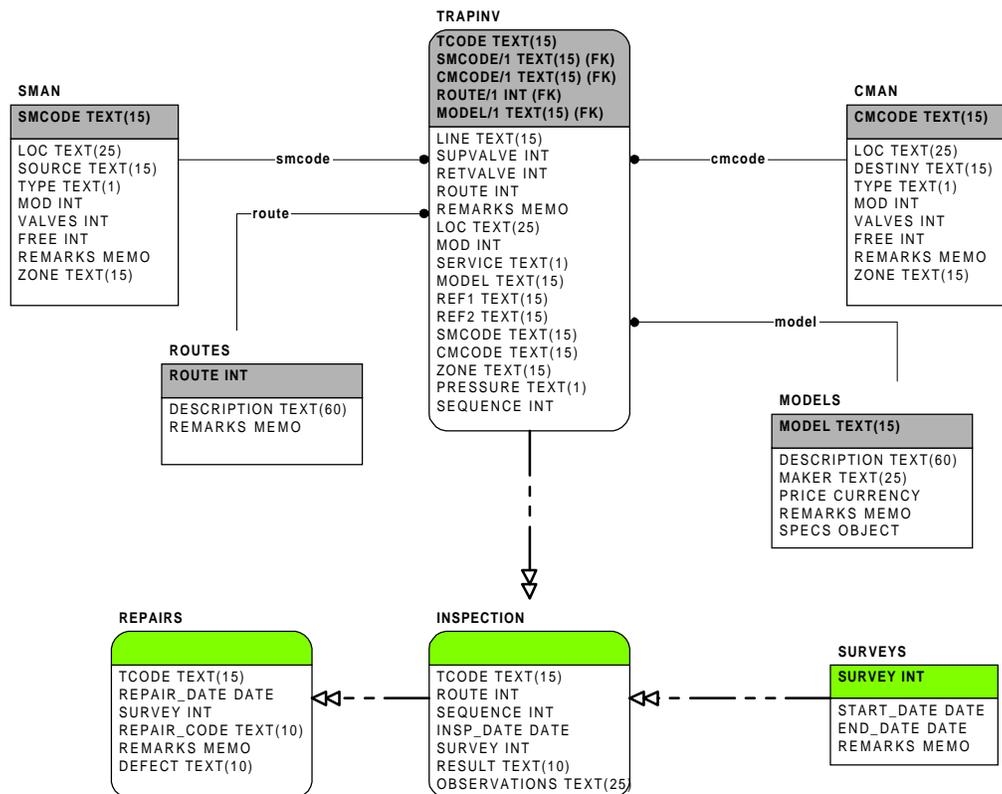


Figura 2. Estrutura do banco de dados.

4 CODIFICAÇÃO

Em um sistema de médio ou grande porte é necessário manter uma identificação que assegure a integridade do banco de dados.

Em alguns casos é suficiente manter o sistema de codificação dos “*Process Flow Diagrams (PFD)*” ou “*Process & Instrumentation Diagrams (P&ID)*” existentes na instalação. No caso das fábricas antigas pode ocorrer que um sistema único de codificação ainda seja inexistente.

4.1 Bariletes de Vapor e Condensado

Os purgadores têm uma entrada de vapor e uma saída de condensado. A entrada é geralmente ligada a um ponto de distribuição de vapor ou “*Steam Manifold*”, e a saída a um coletor de condensado ou “*Condensate Manifold*”. Para consistência do banco de dados podemos distinguir seis casos específicos.

- *Steam Manifold* ⇒ *Steam trap* ⇒ *Condensate Manifold*
- *Steam Manifold* ⇒ *Steam trap* ⇒ Tubulação
- Tubulação ⇒ *Steam trap* ⇒ *Condensate Manifold*
- Tubulação ⇒ *Steam trap* ⇒ Tubulação
- Equipamento ⇒ *Steam trap* ⇒ *Condensate Manifold*
- Equipamento ⇒ *Steam trap* ⇒ Tubulação

Uma tubulação de alimentação (*steam header*) é também considerada um “*steam manifold*” porque, geralmente, nos pontos baixos os purgadores estão instalados para evitar a acumulação de condensado, prejudicando assim o processo de transferência de calor.

Na Staatsolie a seguinte notação é usada: **SM-*nn*** (*Steam Manifold & number*), **SS-*nX*** (*Steam Station & number & unit*), **MS-*nnnX*** (*Medium pressure Steam Header & number*), **LS-*nnnX*** (*Low pressure Steam Header & number*), **CM-*nn*** (*Condensate Manifold & number*), **CR-*nX*** (*Condensate Return & number & unit*), **SC-*nnnX*** (*Steam Condensate Header & number*). Assim, os seguintes exemplos de codificação podem ser dados: SS 5-A, CR 6-B, MS-801, SC-801C, LS-811, SM-02.

4.2 Tabela SMAN

A “*Steam Manifold*” é constituída basicamente de um tubo coletor com válvulas nos ramais e válvulas de isolamento. A tabela que contem os dados do barilete de vapor é denominada SMAN. As propriedades (campos) na tabela são:

- **SMCODE:** identificação única da *manifold*, também é campo chave (*key field*)
- **LOC:** descrição curta da localização da *manifold*
- **ZONE:** coordenadas na planta principal da refinaria
- **SOURCE:** tubulação fornecedora de vapor
- **TYPE:** tipo de *manifold* {M, L, O ⇒ *Manifold, Line, Other*}
- **MOD:** módulo ou unidade de processamento
- **VALVES:** número de ramais (conexões)
- **FREE:** número de ramais livres
- **REMARKS:** observações

4.3 Tabela CMAN

As mesmas considerações válidas para os ponto de distribuição de vapor, aplicam-se aos coletores de condensado. Uma curiosidade é que quando um purgador descarrega para a atmosfera, ele é considerado ligado a um “*manifold*” virtual. Em certas situações é mais econômico descarregar o condensado do que reaproveitá-lo.

Os mesmos campos usados na tabela SMAN aparecem, com mudança de dois campos.

Tabela 1. Ponto de distribuição de vapor.

Campo	Descrição
SMCODE	MS-804
LOC	COOLING TOWER TO LPG BULLET
ZONE	E1
SOURCE	MS-801
TYPE	L
MOD	800
VALVES	4
FREE	0
REMARKS	3” STEAM HEADER

Tabela 2. Coletor de condensado virtual.

Campo	Descrição
<u>CMCODE</u>	<u>ATM</u>
<u>LOC</u>	<u>VIRTUAL</u>
<u>ZONE</u>	<u>NA</u>
<u>DESTINY</u>	<u>NA</u>
<u>TYPE</u>	<u>M</u>
<u>MOD</u>	<u>800</u>
<u>VALVES</u>	<u>0</u>
<u>FREE</u>	<u>0</u>
<u>REMARKS</u>	<u>VIRTUAL MANIFOLD</u>

4.4 Tabela ROUTES

A tabela ROUTES contem a lista das rotas de inspeção. Esta são feitas de tal maneira que os purgadores estão agrupados em blocos lógicos de situação e finalidade, assim facilitando diagnose em instalações com desempenho abaixo do normal.

4.5 Tabela MODELS

Este tabela contém as propriedades dos purgadores empregados na refinaria. No caso da Staatsolie, um campo binário (*blob field*) é usado para gravar o ruído de funcionamento específico do purgador para comparação durante inspeção.

4.6 Tabela TRAPINV

A tabela TRAPINV (inventário de purgadores) é a mais complexa de todas. TRAPINV está relacionada a outras tabelas por meio de referências do tipo “*look-up*” e os seus campos estão identificados abaixo:

- **TMCODE:** identificação única o purgador, também é campo chave (*key field*)
- **LINE:** descrição da principal linha servida pelo purgador
 - Secção de suprimento de vapor
 - **SMCODE:** identificação da fonte de vapor
 - **SUPVALVE:** número da válvula
 - Secção de descarga de condensado
 - **CMCODE:** identificação da descarga de condensado
 - **RETVALVE:** número da válvula
- **ROUTE:** rota de inspeção

- **SEQUENCE:** ordem de vistoria
- **LOC:** Descrição de localização
- **SERVICE:** funcionalidade do purgador, pode ser T = *tracer*, L = purgador de linha, E = purgador de equipamento
- **MODEL:** tipo de purgador

Uma tela da tabela TRAPINV é mostrada na Fig. (3).

The screenshot shows the 'Trap Manager' application window. At the top, there is a menu bar with 'File', 'Traps', 'Screen', 'User', 'Administration', and 'Help'. Below the menu bar are tabs for 'Traps', 'SM', 'CM', 'Survey', and 'Isolation'. The main form area contains several input fields and dropdown menus: 'TCODE' (LS-801/01), 'Location' (CM-06), 'SM' (LS-801), 'CM' (SC-801A), 'Supply' (1), 'Return' (empty), 'Route' (2), 'Sequence' (5), and 'Model' (Y10). A dropdown menu for 'Model' is open, showing options: SPIRAX SARCO, ARMSTRONG, SPIRAX SARCO, and UBEL. Below the form are radio buttons for 'Service': 'Steam Tracing', 'Line Purge' (selected), and 'Equipment Drain'. At the bottom of the form is a table with columns 'TCODE', 'Line', 'Remarks', and 'Area'. The table contains six rows of trap records. At the very bottom of the window, there are buttons for 'Trap properties' and 'Browse', and a status bar indicating '60 Records based on Line search'.

TCODE	Line	Remarks	Area
LS-801/01	LS-801	LP PURGE NEAR CM-06	
LS-801/02	LS-801	LP PURGE NEAR SM-07	
LS-801/03	LS-801	LP PURGE NEAR E-714	
LS-801/04	LS-801	LP PURGE WEST OF T-771A/B	
LS-801/05	LS-801	LP DRAIN NORTH OF PUMP FARM	
LS-801/06	LS-801	LP DRAIN SOUTH OF H-8301	

Figura 3. Tela da tabela TRAPINV

4.7 Tabelas Dinâmicas

Esta categoria abrange as seguintes tabelas:

- **SURVEYS**, contém os dados relevantes das vistorias;
- **INSPECTION**, contém o resultado das vistorias de cada purgador inspecionado;
- **REPAIRS**, contém a relação dos purgadores que estão apresentando defeito.

Um exemplo da tela com os resultados da vistoria é mostrado na Fig. (4). As diferentes condições de um purgador podem ser:

- **OK**
- **PLUGGED:** o purgador está bloqueado
- **COLD:** frio
- **RATTLING:** ciclando muito, sinal de vedação deficiente
- **HISSING:** escapamento de vapor por causa de desgaste interno

- **LEAKING:** sinais de vazamento externo
- **OTHER**

5 DADOS DO PROJETO

A Tab. (3) apresenta alguns dados relevantes sobre o projeto, tais como: custo de implementação, data de início e previsão de conclusão, etc.

Tabela 3. Informações sobre o projeto

Instalação	Staatsolie Refinery
Localização	Suriname South America
Custo estimado de implementação:	US\$ 15.000
Início	Novembro 2000
Conclusão	Março 2002
Custo de equipamento & treinamento	US\$ 8.000
Equipamento	Ultra Probe 2000
Fabricante	UE Systems
Numero de purgadores	520
Database	Interbase
Aplicação	Delphi

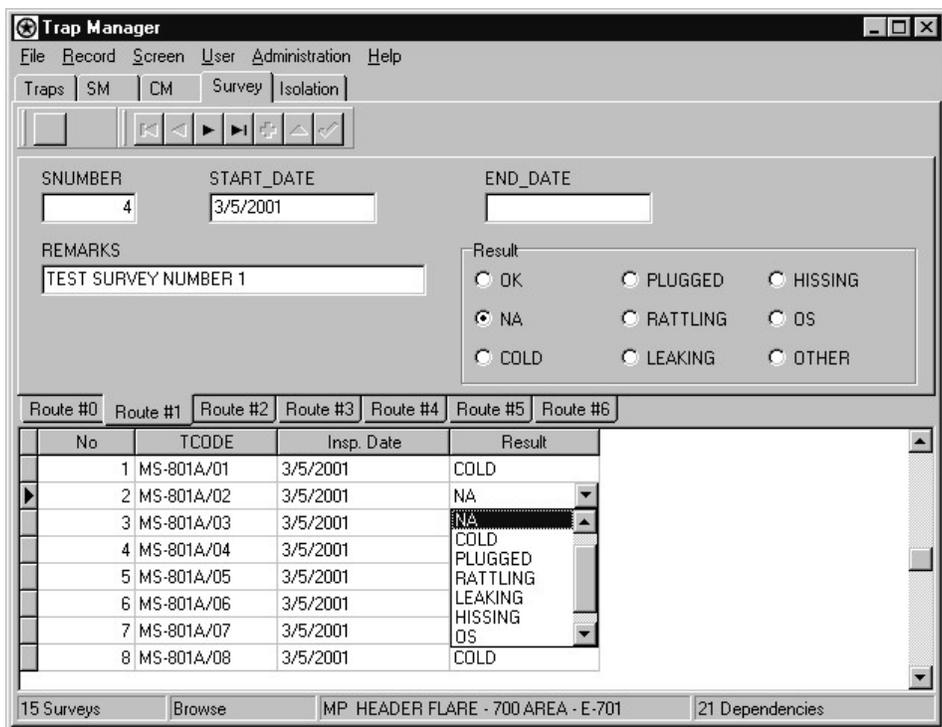


Figura 4. Tela de vistoria

6 CONCLUSÃO

Numa atividade desta envergadura, a maior parte do tempo é gasta em mapear e verificar toda a rede de vapor da instalação. Em muitos casos, as informações disponíveis ainda não estão em um formato adequado para o transporte num banco de dados.

O simples mapeamento e categorização da rede reduzem o tempo de execução de tarefas de isolamento das linhas de produção para manutenção e, assim sendo, se constitui em uma poderosa ferramenta do pessoal de produção e de manutenção na refinaria.

REFERÊNCIAS

U.S Department of Energy, “Steam Trap Performance Assessment” 19p., notes on Federal Technology Alerts. Article downloaded from <http://www.pnl.gov/fta/>

Gary Mohr, “Technology Overview: Ultrasonic Detection” 9p., UE Systems. Article downloaded from <http://enerchecksystems.com>

IMPLEMENTATION OF A PREVENTIVE / PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEM IN STEAM NETWORKS USING ULTRASOUND DIAGNOSTICS

Steven Orlando Van Els

Staatsolie, Refining Operations Division
Sir Winston Churchillweg 79
Distrikt Wanica, Suriname, South America
e-mail: svanel@staatsolie.com

Newton Sure Soeiro

Universidade Federal do Pará
Centro Tecnológico
e-mail: nsoeiro@ufpa.br

Abstract. *Steam is the most used source of energy in typical chemical, industrial and petrochemical plants all over the world. Although the savings can be enormous, the steam distribution and condensate collection network is an area that in most cases only receives attention, when operating conditions are threatening production commitments. The results of various steam trap performance assessment programs show that approximately 20% of the steam leaving a central boiler plant is lost via leaking traps in typical space heating systems without a proactive maintenance program.*

The use of portable ultrasound based diagnostic equipment can have a great impact on cost reduction if implemented as part of a structured preventive/predictive maintenance program.

Every monitoring program will result in an increase of labor. Much time will be spend in the activity of walking from one steam trap to another performing inspections and measurements. Documenting and analyzing the results and keeping track of corrections made by the maintenance work force demands also considerable time and effort, this in an environment in which the trend is to downsize on work force.

This paper describes the implementation of a steam trap performance assessment system at the grass roots crude oil refinery of Staatsolie in Suriname, South America.

Keywords. *Ultrasound, steam, predictive maintenance, heat transfer.*