



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIO
DE SERGIPE - FANESE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

SEMAIAS LEANDRO PRESTES

**INSERÇÃO DE UM ATENUADOR NA COLUNA HASTES
EM UNIDADE DE BOMBEIO DE PETRÓLEO**

**Aracaju – Sergipe
2009.2**

SEMAIAS LEANDRO PRESTES

**INSERÇÃO DE UM ATENUADOR NA COLUNA DE HASTES
EM UNIDADE DE BOMBEIO DE PETRÓLEO**

Monografia de Graduação em Engenharia de Produção da FANESE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. João Vicente Santiago do Nascimento

Coordenador: Prof. Dr. Jefferson Arlen Freitas

**Aracaju – Sergipe
2009.2**

Prestes, Semaías Leandro

Inserção de um atenuador na coluna de hastes em uma unidade de bombeio de petróleo / Semaías Leandro Prestes – 2009.

40f.: il.

Monografia (graduação) – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, 2009.

Orientação: Prof. Dr. João Vicente Santiago do Nascimento.

1. Atenuador de impactos de Fluidos. 2. Batida de fluido 3. Bombeio mecânico I. Título

CDU 658.5

SEMAIAS LEANDRO PRESTES

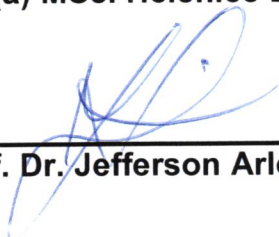
INSERÇÃO DE UM ATENUADOR NA COLUNA DE HASTES EM UNIDADE DE BOMBEIO DE PETRÓLEO

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócio de Sergipe – FANESE, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2009.2

Prof. Dr. João Vicente
Orientador



Prof. (a) MSc. Helenice Leite Garcia



Prof. Dr. Jefferson Arlen Freitas

Aprovado com média: _____

Aracaju (SE), _____ de _____ de 2009

AGRADECIMENTOS

A meus familiares especialmente a minha mãe e meus irmãos que sempre me apóiam em tudo que faço.

Aos meus amigos de turma, especialmente, Admilson Santos, Marcos Rogério, Filipe, Thiago, Edvaldo, Ladjanio e Marcelo *in memorian*.

Aos meus amigos do trabalho, especialmente, Sergio Mesquita e Silvio Carlos, sem eles seria muito difícil a realização desse trabalho.

Ao meu Orientador: Prof. Dr. João Vicente Santiago do Nascimento.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

Dedico a todos que me ajudaram ao longo do curso de Engenharia de Produção, especialmente a minha maravilhosa esposa Roberta e meus eternos filhos Ruan, Stefany e Rafael, que Deus, os abençoe sempre

RESUMO

O petróleo está presente no cotidiano do homem desde os tempos bíblicos, o mundo passou a ver o petróleo como uma fonte energética natural bastante importante, acarretando no desenvolvimento de diversos métodos para sua exploração, sendo o bombeio mecânico o mais aplicado para tal fim. Dentre os possíveis problemas que venham a causar danos aos equipamentos de superfície e sub-superfície de uma unidade de bombeio mecânico, tem-se a batida de fluido, consequência do choque entre o pistão, fixado a coluna de hastes e o fluido a ser extraído. Esta situação também ocorre quando há um ajuste no dimensionamento do regime (curso e ciclo por minuto) para determinados poços. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é analisar o comportamento da coluna de hastes após a introdução de uma mola helicoidal dimensionada, denominada de atenuador de impacto de fluido, que será posicionada acima da mesa da unidade de bombeio. A inserção desta mola tem como objetivo minimizar o impacto do pistão com o fluido e, consequentemente, reduzir os custos com manutenções não programadas e possíveis intervenções de sonda. Cabe ressaltar que devido o atenuador de impactos de fluidos ser uma idéia inovadora, sua metodologia baseia-se em preceitos meramente empíricos. Os resultados são promissores de acordo com o comparativo entre as cartas de processos retiradas antes e depois do uso da mola, comprovando a viabilidade desta alternativa de processo.

Palavras-chave: Atenuador de Impactos de Fluidos. Batida de Fluido. Bombeio Mecânico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Surgência natural.....	13
Figura 02: Surgência artificial.....	14
Figura 03: Sistema gás-lift.....	15
Figura 04: Principais equipamentos de BCS.....	16
Figura 05: Sistema de bombeio por cavidade progressiva.....	17
Figura 06: Unidade de bombeio mecânico.....	19
Figura 07: Luva para união de hastes.....	20
Figura 08: Bomba de fundo.....	21
Figura 09: Funcionamento das válvulas de passeio (Ph) e de pé (Os).....	22
Figura 10: Dinamômetro seus periféricos.....	27
Figura 11: Carta dinamométrica – curso da bomba.....	28
Figura 12: Carta e bomba de fundo.....	29
Figura 13: Curso da haste polida.....	30
Figura 14: Dimensionamento da mola.....	35
Figura 15: Mola insertada no poço.....	36
Figura 16: Carta do poço sem o atenuador de impacto.....	38
Figura 17: Carta do poço com o atenuador instalado.....	38

SUMÁRIO

RESUMO

LISTA DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	10
1.1.1 Objetivo Geral	10
1.1.2 Objetivos específicos	10
1.2 Justificativa	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 Introdução	12
2.2 Elevação Natural.....	12
2.3 Elevação Artificial.....	13
2.3.1 Gás-lift	14
2.3.2 Bombeio centrífugo submerso (BCS).....	15
2.3.3 Bombeio de cavidade progressiva (BCP).....	16
2.3.4 Bombeio mecânico.	18
2.4 Conceitos de Manutenção.....	23
2.4.1 Manutenção Corretiva.....	24
2.4.2 Manutenção Preventiva	24
2.4.3 Manutenção Preditiva	25
2.5. Carta Dinamométrica	26
2.5.1 Cargas dinâmicas.....	27
2.5.2 Cargas Estáticas.....	29
2.6 Fadiga em aços.....	30
3. METODOLOGIA	33
3.1 Introdução	33
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	34
4.1 Introdução	34
4.2 Influência da Inserção do Atenuador de Impacto.....	34
4.3 Influência na Eficiência da Bomba de Fundo.....	37

4.3 Influência na Eficiência da Bomba de Fundo.....	37
5. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A produção de petróleo em campos terrestres no Brasil é realizada mediante o uso de bombas, pois os poços antigos não são mais surgentes, ocasionando um aumento do custo na produção de petróleo. O petróleo possui uma grande relevância no cotidiano, em razão de ser usado como combustível, além de ser agregado na fabricação de uma infinidade de produtos.

Até pouco tempo, o país não tinha produção suficiente de petróleo para o abastecimento interno. Desse modo, era dependente do recurso importado, especialmente dos países do Oriente Médio. Porém, a partir de 2007, o país alcançou a auto-suficiência. Atualmente, a produção é de aproximadamente 2,3 milhões de barris ao dia, que supera o consumo, que é de 2,2 milhões barris diários, de acordo com o site da Petrobras.

Manter a auto-suficiência de petróleo não é trivial, pois, com a queda de pressão dos reservatórios, os custos de produção começam a ter um aumento significativo, devido o emprego de tecnologias ser indispensável em campos maduros. Esta necessidade é decorrente do fato destes campos se tornarem cada vez mais difícil a extração do petróleo.

Outro fato crucial no aumento de custo de produção são as intervenções nos poços de petróleo pela necessidade de manutenção. Muitos são os fatores dessas intervenções, como por exemplo, problemas mecânicos, elétricos e automação.

Assim, o objetivo deste trabalho, é a análise do choque entre o pistão e o fluido no movimento descendente da unidade de bombeio mecânico, que implica em sérios danos à bomba de fundo, a coluna de hastes, a coluna de produção e a própria unidade de bombeio. Estes problemas ocorrem em diversos poços equipados com bombeio mecânico, mesmo após adequação do regime (curso e ciclo por minuto) à unidade que foi escolhida para o poço devido a fatores de produção, tais como: vazão, viscosidade do fluido, profundidade, entre outros.

A solução para minimizar os danos causados na unidade de bombeio está na instalação de uma mola, denominada de atenuador de impactos de fluidos. Este

trabalho, consiste, então, na análise desta instalação, cuja finalidade principal é evitar impactos entre os equipamentos da unidade e o fluido a ser extraído, aumentando o tempo de vida útil desses equipamentos de superfície e sub-superfície e, conseqüentemente, a redução dos custos do processo de extração de petróleo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a instalação de um atenuador em uma coluna de haste de bombeio mecânico, inserido em uma unidade de extração de petróleo da Petrobras.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar o comportamento mecânico em uma coluna de hastes, na unidade de bombeio, antes e depois de instalado o atenuador de impacto;
- Monitorar a eficiência da bomba de fundo;
- Avaliar o uso do amortecedor como indicador de problemas que ocorrem na coluna de hastes;

1.2 Justificativa

A razão pela qual originou o uso de uma mola, como atenuador, vem da necessidade de evitar oscilações e choques bruscos da coluna de hastes com o fluido. Tais choques provocam quebras em equipamentos e sugerem manutenções com uma periodicidade maior, necessitando de sondas para resolução de problemas de equipamentos de sub-superfície. O uso do atenuador de impactos de fluidos é simples, eficaz e sem ônus significativo dentro do processo de extração de petróleo.

Vários poços equipados com unidades de bombeio apresentam a batida de fluido, mesmo após a retificação do regime (curso e ciclo por minuto), proposta pelos engenheiros que tentam evitar as paradas dos poços de forma preventiva, para que não haja redução da produção de petróleo.

Pelo fato de ser um campo maduro, característica dessa região, a batida de fluido é mais constante, ou seja, o fluido escoar mais lento para dentro da bomba de fundo, ocorrendo espaço vazio, isso faz com que choques do pistão com o fluido se torne constante.

Devido ao custo baixo desse sistema, torna-se viável um estudo mais aprofundado das melhorias que o atenuador de impactos de fluidos possa trazer para

a empresa. O interesse pelo tema é justificado pela relevância na manutenção em benefício da funcionalidade dos equipamentos de uma unidade de bombeio, ressaltando a melhoria na relação custo-benefício do projeto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Introdução

O termo petróleo é utilizado para designar o óleo e o gás natural. O petróleo é obtido através da decomposição de matéria orgânica armazenada em sedimentos, que migra através de aquíferos e ficam aprisionados em rochas denominadas reservatórios, conforme afirma Thomas (2004).

A extração de petróleo ocorre através de dois métodos de elevação: Elevação natural e elevação artificial, conceituadas em seguida, é o que afirma ainda Thomas (2004).

- **Elevação natural ou surgência** - quando a pressão de um reservatório é suficientemente elevada para permitir que os fluidos neste contidos alcancem a superfície terrestre;
- **Elevação artificial** - quando a pressão do reservatório é baixa, tornando o uso de equipamentos de elevação indispensáveis;

A elevação artificial terrestre é feita em sua maior parte por unidades de bombeio (UB), conhecidas também como Cavalos Mecânicos, instalado na extremidade superior do poço perfurado, cuja finalidade é acionar uma bomba instalada no fundo do poço, para a extração do petróleo. Existem ainda, o bombeio por cavidades progressivas, bombeio centrífugo submerso e a injeção de gás-lift, com o mesmo objetivo.

2.2 Elevação Natural

Conforme Mesquita (1984), a elevação natural ocorre quando a pressão do reservatório é suficientemente elevada, para provocar o escoamento do fluido até a superfície. Dessa forma os poços são denominados poços surgentes. A Figura 01 mostra um esquema desta elevação.

Os poços surgentes produzem naturalmente petróleo, porém, com o passar do tempo e o aumento da produção acumulada, a pressão do reservatório declina, tornando-se insuficiente para deslocar os fluidos até a superfície em uma vazão econômica ou satisfatória.

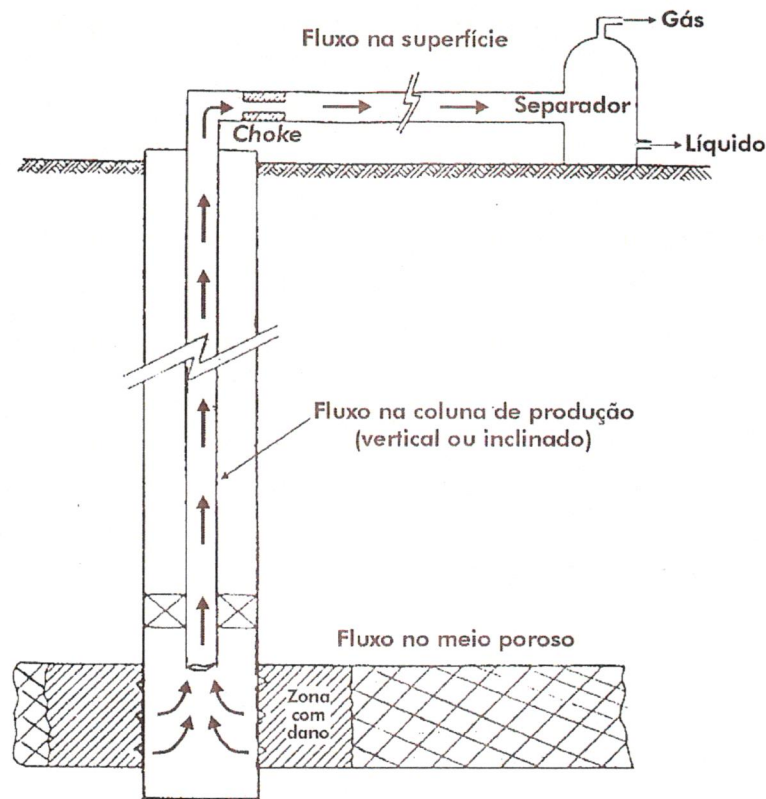


Figura 01: Surgência natural

Fonte: Côrrea (2003)

2.3 Elevação Artificial

Segundo Côrrea (2003), quando a pressão do reservatório é insuficiente para fazer com que o poço produza de forma surgente, haverá a necessidade de um sistema de elevação artificial, cuja finalidade será criar uma pressão na entrada da coluna de produção, de maneira que o reservatório possa responder e produzir à vazão esperada. A Figura 02 exemplifica a equipagem do poço para este tipo de elevação.

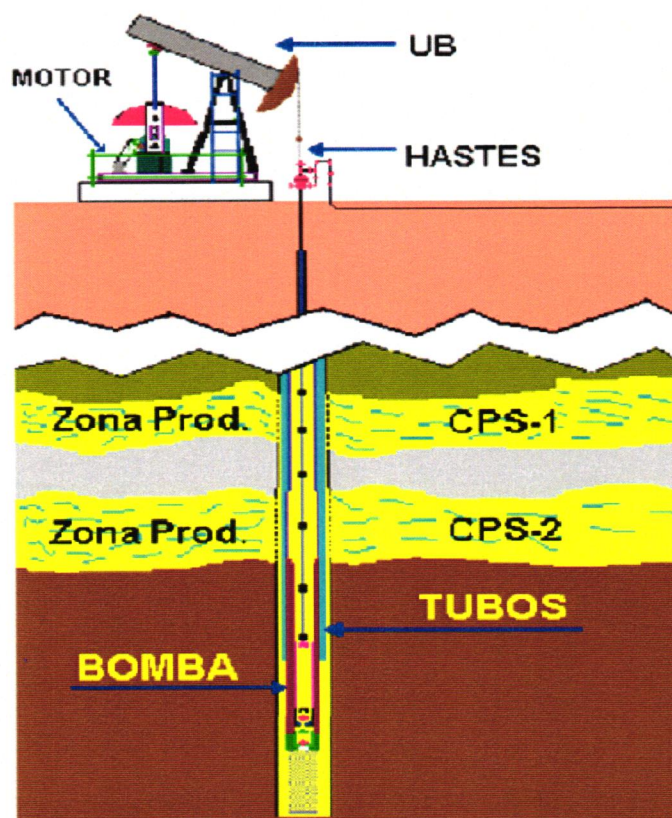


Figura 02: Surgência artificial

Fonte: Côrrea (2003)

2.3.1 Gás-lift

Segundo Thomas (2004), Gás-lift é um método de elevação artificial que se baseia em utilizar a energia contida em gás comprimido para elevar fluidos até a superfície. Neste método, a elevação é possibilitada pela redução da densidade dos fluidos produzidos mediante a injeção de um gás em um determinado ponto da coluna de produção, é o que afirma ainda Thomas (2004).

A injeção de gás pode ser de maneira contínua - gás-lift contínuo (GLC), e intermitente - gás-lift intermitente (GLI). Este é um método que possibilita trabalhar com vazões de 1 a 1.700 m³/dia e profundidades variadas de até 2.600 metros, dependendo da pressão do gás de injeção. Além disso, este método é propício para poços que produzem fluidos com alto teor de areia, elevada vazão gás-líquido, além de exigir baixos investimentos para poços profundos. Na Figura 03 é ilustrado o sistema gás-lift.

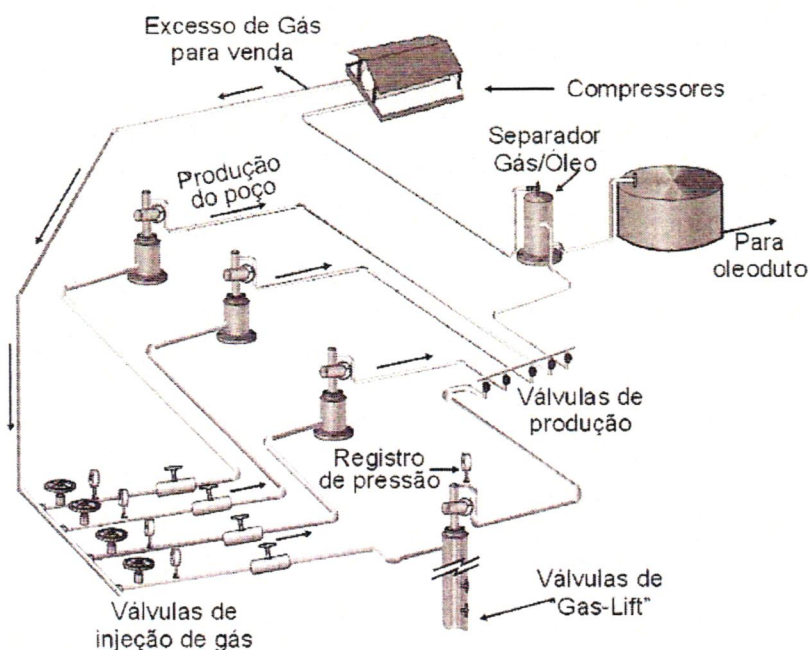


Figura 03: Sistema de gás-lift

Fonte: Thomas (2001)

2.3.2 Bombeio centrífugo submerso (BCS)

De acordo com Mesquita (1984), a utilização do método de BCS está em ascensão dentre os métodos de elevação artificial de petróleo devido à variedade dos equipamentos disponíveis no mercado. Nesse tipo de bombeio é aplicada uma bomba centrífuga de múltiplos estágios acoplada a um motor elétrico submerso no poço. A energia elétrica da superfície é transmitida para o fundo do poço através de um cabo especialmente projetado para operar nas condições de fundo de poço.

Então, neste processo, a energia elétrica é convertida em energia mecânica através do motor elétrico, e a bomba centrífuga converte a energia mecânica e a transfere para o fluido.

Assim como os demais métodos de elevação artificial, o BCS tem como objetivo aumentar a energia contida no reservatório de tal forma que seja possível à extração de fluidos do reservatório, utilizando-se de seus equipamentos de fundo. Os equipamentos deste método de elevação estão ilustrados na Figura 04.

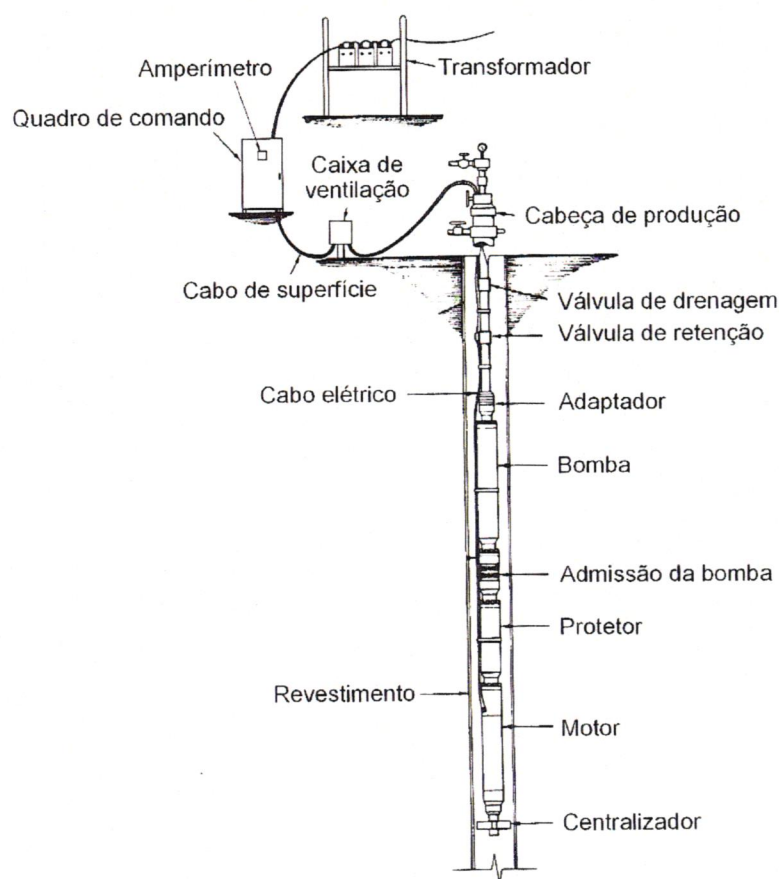


Figura 04: Principais equipamentos do BCS

Fonte: Mesquita (1984)

2.3.3 Bombeio de cavidade progressiva (BCP)

Thomas (2004) afirma que bombeio de cavidades progressivas consiste no uso de uma bomba de deslocamento positivo que trabalha imersa nos poços de petróleo, constituída de rotor e estator. A rosca do rotor é responsável pela formação de cavidades idênticas por onde o fluido escoar. O rotor está inserido no interior de um estator de borracha. O rotor, ao girar, origina um movimento axial das cavidades de forma progressiva, no sentido sucção para a descarga, o que determina a ação de bombeio do fluido, pelo qual a cada rotação completa, a bomba fornece o volume de uma cavidade.

Os dois fatores que determinam a vazão da bomba são: o tamanho da cavidade e a velocidade de rotação. A energia necessária para movimentar o rotor é

oriundo de um motor elétrico instalado ao lado da BCP, na superfície, conforme mostra a Figura 05.

Ainda de acordo com Thomas (2004), o BCP é um método aplicável a poços de baixa profundidade, devido a limitações como a forma de transmissão de energia e o diferencial de pressão sobre a bomba. Os principais aspectos positivos deste método são:

A eficiência aumenta em poços que produzam óleos de baixa e alta viscosidade, óleos parafínicos e fluidos com areia;

Ausência de válvulas que causem restrições;

Simplicidade de instalação e operação;

Utilização de tubos e hastes convencionais;

Facilidade de adaptação às variações de vazão.

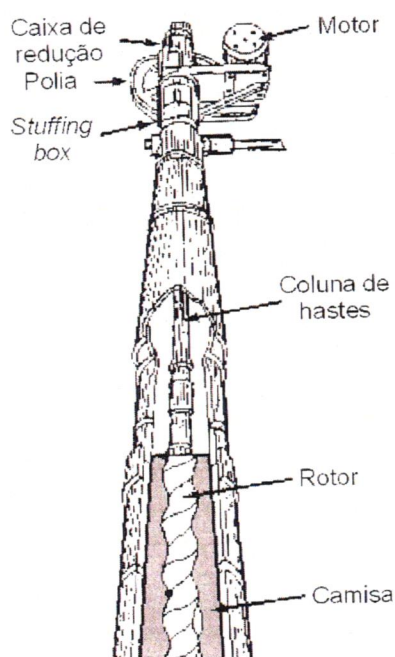


Figura 05: Sistema de bombeio por cavidades progressivas

Fonte: Thomas (2001)

O acompanhamento da produção de um poço equipado com o bombeio por cavidades progressivas (BCP) é feito por registros através de um *software* SONOLOG, com o propósito de realizar testes de produção e verificar vibrações no cabeçote, pois qualquer vibração ou ruído anormal pode significar problemas, seja no

rolamento, por falta de lubrificação, ou ainda choque da coluna de hastes com as paredes da coluna de produção.

A verificação constante da pressão é importante para evitar parafinação da coluna, evitando maiores danos aos equipamentos. Para tal, existem métodos para desobstruir as colunas parafinadas. Um deles é o uso da UCAQ (Unidade de Circulação de Água Quente), que usa de água quente pressurizada para circular na coluna, dissolvendo e extraindo a parafina precipitada.

2.3.4 Bombeio mecânico.

Segundo Mesquita (1984), o funcionamento de uma unidade de bombeio é realizado por um motor que aciona uma polia conectada a um redutor, cuja finalidade é reduzir a rotação a fim de ganhar torque para as manivelas que, com a ajuda dos braços (bielas), fornece à viga um movimento alternativo.

Este movimento alternativo é transmitido à coluna de haste, elevando o fluido. O movimento da viga se divide em duas partes: subida da cabeça - movimento ascendente e a posterior descida da cabeça - movimento descendente.

Thomas (2004) afirma que no movimento ascendente, a unidade tem que elevar o peso da coluna de haste mais o fluido que está acima do pistão, e vencer o atrito da haste polida com as gaxetas. Nesse caso, as manivelas e os contrapesos estão do lado oposto oferecendo equilíbrio ao conjunto, ocasionando menos esforço ao motor acionador.

No movimento descendente, a válvula de passeio está aberta, restando apenas o peso da coluna de haste menos o atrito. Esse peso puxa a cabeça da unidade de bombeio para baixo. Nessa posição, as manivelas e os contrapesos estão opostos ao movimento oferecendo equilíbrio ao conjunto, conforme comenta Correia (2003).

Existem diversos tipos e tamanhos de unidade de bombeio mecânico, sua escolha está correlacionada com a profundidade do poço a ser extraído o petróleo, ou seja, sua escolha se dá pela tração máxima suportada pela unidade de bombeio.

A Figura 06 mostra uma unidade de bombeio com seus principais equipamentos de superfície.

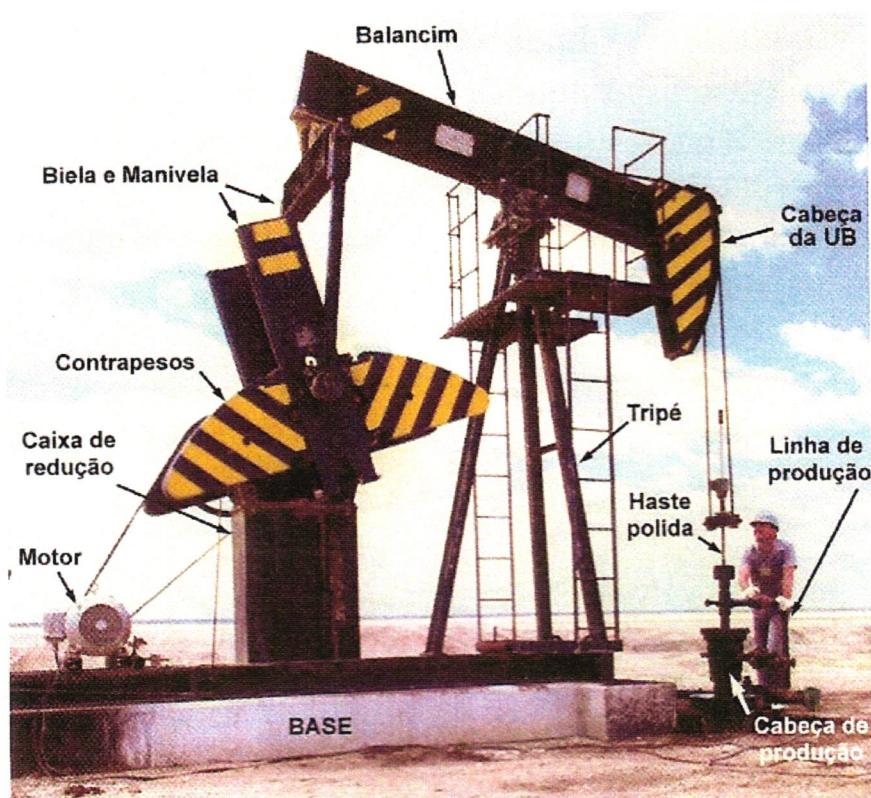


Figura 06: Unidade de bombeio mecânico

Fonte: Thomas (2001)

A haste polida é a primeira peça de um conjunto de várias hastes enroscadas entre si, que fazem a interligação com o pistão da bomba de fundo. Esta haste é constituída de aço com acabamento superficial de baixa rugosidade, que confere o baixo atrito no engaxetamento e a ótima vedação. Além disso, é confeccionada em vários tipos de aço (AISI 1040, 4140, 4621) ou aço inoxidável da série AISI 304 e 316, com emprego em poços corrosivos. O diâmetro da haste varia de 7/8 a 1 ½ de polegadas e o seu comprimento de 6 a 36 pés, é o que afirma Souza (1982)

As hastes são elaboradas a partir de barras de aço de alta qualidade, cujas extremidades são forjadas a quente. Toda superfície da haste é tratada uniformemente nos fornos, a fim de melhorar as propriedades mecânicas do material, fabricadas no tamanho padrão de 25 pés. Posteriormente, as hastes recebem um tratamento de jateamento, que comprime as fibras exteriores e em suas extremidades são feitas as roscas por laminação a frio, melhorando a resistência à fadiga de acordo com Méndez (2004).

Existem diferentes graus de aço que variam de acordo com o tipo de carga e o nível de corrosão dos poços. As duas mais utilizadas são:

- **Haste Grau C**, confeccionada para utilização com cargas baixas e médias e limite de tensão de 90.000 psi.
- **Haste Grau D**, confeccionada para utilização em poços profundos ou com cargas elevadas e limite de tensão de 115.000 psi.

Para poços corrosivos existem alternativas de outras composições de aço, mais resistentes a corrosão.

As luvas são empregadas na união das hastes, formando a coluna de haste. Estas luvas são fabricadas a partir de tubos de aço sem costura, com rosca laminada a frio para aumento da resistência à fadiga, conforme a Figura 07.

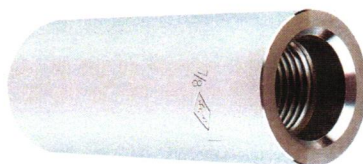


Figura 07: Luva para união de hastes

Fonte: Catálogo TENARISCONFAB (2004)

A bomba de fundo é uma bomba do tipo alternativa, constituída basicamente de pistão, camisa e válvulas, que trabalha imersa no poço de petróleo, acionada da superfície através de movimento alternativo da coluna de hastes, conforme a Figura 08.

A bomba é composta basicamente de quatro partes;

Camisa: é o tubo com acabamento superficial interno altamente polido. (normalmente revestido com cromo), sendo a parte fixa da bomba;

Pistão: é o tubo com acabamento superficial externo altamente polido (normalmente revestido com metal aspergido "*spray metal*"). Esta é a parte móvel da bomba e liga-se a coluna de haste, que lhe transmite energia;

Válvula de pé: consiste de uma sede, esfera e assessorios, cuja função é permitir o fluxo do fluido somente no sentido de entrar na bomba. Além disso, fica conectada a camisa e, portanto, não se movimentam.

Válvula de passeio: consiste de uma sede, esfera e assessorios, cuja função é permitir o fluxo de fluido somente no sentido de sair da bomba para a coluna de produção.

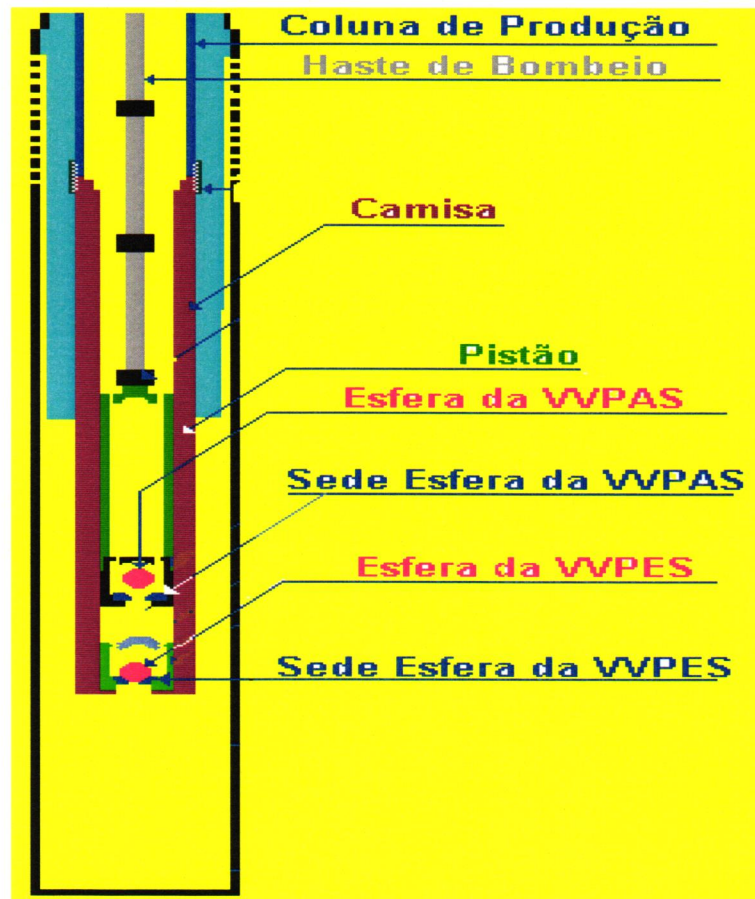


Figura 08: Bomba de fundo

Fonte: Arquivo UN-SEAL

O funcionamento de abertura e fechamento das válvulas de passeio e de pé é realizado através das mudanças de pressão ocorridas pelos movimentos ascendente e descendente da unidade de bombeio, é o que ilustra a Figura 08. No final do curso descendente, a válvula de passeio está totalmente aberta extraíndo o fluido que está contido na camisa da bomba e consequentemente a válvula de pé está totalmente fechada, ocasionada pela pressão do fluido sobre ela.

No início do curso ascendente, a válvula de passeio fecha, decorrente da pressão do fluido sobre ela e a válvula de pé começa abrir, decorrente da pressão negativa dentro da bomba mais a pressão do reservatório começando assim a admitir o fluido que está no revestimento. Esse processo vai se estender até o final do curso ascendente, momento no qual a válvula de pé estará totalmente aberta. Com o final do curso ascendente e início do curso descendente a válvula de pé fecha e a de

passeio começa a abrir para admitir o fluido que está dentro da bomba, formando um ciclo.

Na Figura 09 a seguinte nomenclatura é adotada:

PMI = ponto morto inferior.

PMS = ponto morto superior.

M = espaço morto.

Ph = pressão hidrostática da coluna de óleo dentro do tubo de produção.

Pb = pressão dentro da camisa da bomba.

Ps = pressão de sucção.

L = comprimento do curso

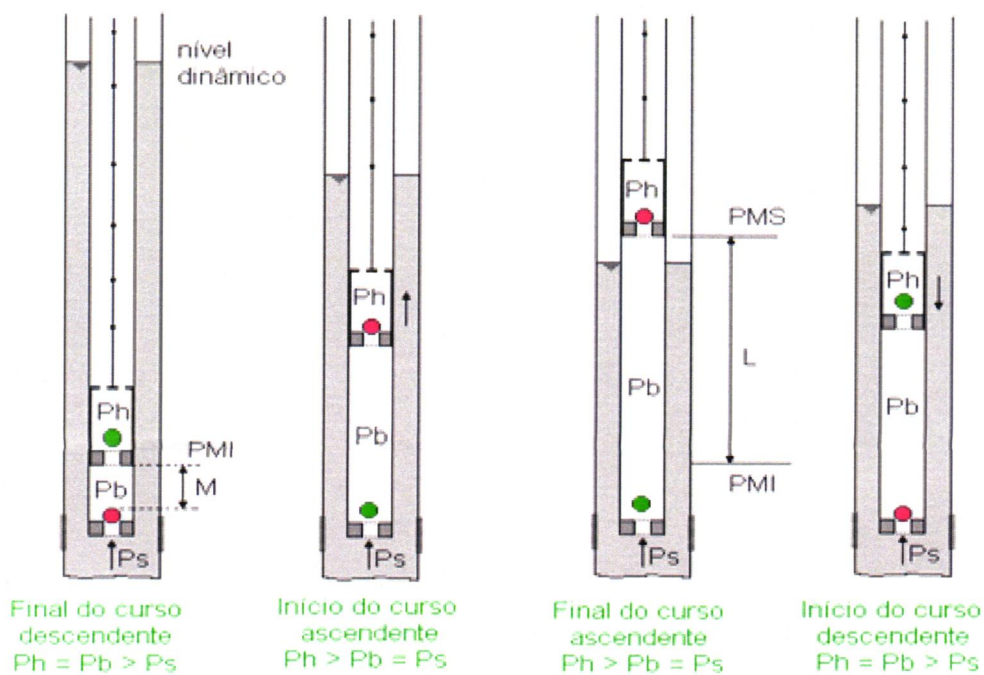


Figura 09: Funcionamento das válvulas de passeio (Ph) e de pé (Ps)

Fonte: Arquivo UN-SEAL

2.4 Conceitos de Manutenção

Segundo Viana (2002), pode-se entender como manutenção o conjunto de atividades técnicas indispensáveis ao funcionamento normal e permanente de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações.

Essas atividades envolvem a conservação, a adequação, a restauração, a substituição e a prevenção de danos aos equipamentos. De modo geral, a manutenção em uma empresa tem como objetivos, conforme afirma Souza (1982):

- Manter equipamentos e máquinas em condições de pleno funcionamento, para garantir o funcionamento normal e a qualidade dos produtos;
- Prevenir ou antecipar prováveis falhas ou quebras dos elementos das máquinas.

Alcançar esses objetivos requer planejamento e manutenção diária em serviços de rotina e de reparos periódicos dos equipamentos de processo.

De acordo com Xavier (2007), a manutenção ideal de uma máquina é a que permite alta disponibilidade para a produção durante o período em que esta estiver em serviço e a um custo baixo. O desgaste dos equipamentos se deve a ações físicas e químicas, internas ou externas. Além do que forças transmitidas, contaminantes e atrito se aliam na tarefa de acelerar o desgaste e encurtar a vida dos componentes mecânicos.

Todos os efeitos adversos desses fatores anteriormente listados podem ser minimizados ou eliminados, preservando-se os equipamentos e aumentando a vida útil dos componentes.

Em primeiro lugar, a preservação do equipamento depende muito da lubrificação, sendo os fatores mais destrutivos: o atrito, a abrasão e a corrosão. Nenhuma máquina trabalha dentro dos padrões regulares, com problemas no sistema de lubrificação, é o que afirma Tomazini (2003).

Vibrações e choques mecânicos podem trazer sérios riscos ao equipamento, como por exemplo: trincas na estrutura, parafusos soltos, fratura de soldas, desgaste prematuro de rolamentos e mancais, quebra de redutores, além de outros, conforme comenta ainda Tomazini (2003).

Na condição de lubrificação e manutenção plena e correta, o desgaste se processa de forma normal e planejada, permitindo o acompanhamento da evolução da condição da máquina. Através da técnica de análise de vibrações pode-se

identificar o aparecimento de esforços dinâmicos novos, consecutivos a uma degradação em processo de desenvolvimento.

Segundo Xavier (2007), a manutenção é dividida em manutenção corretiva, preventiva e preditiva.

2.4.1 Manutenção Corretiva

De acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), manutenções corretivas, são aquelas aplicadas ao equipamento, quando este sofre uma pane e interrompe seu funcionamento ou está abaixo do seu rendimento normal.

De acordo com Xavier (2007), essa técnica de manutenção corretiva é o método mais caro de gerenciamento de manutenção, pois consiste em uma técnica reativa que espera pela falha da máquina ou equipamento. O custo associado a esse método de manutenção se torna alto, cujos motivos são: custo alto de estoque de peças sobressalentes; custos com horas extras; tempo de equipamento fora de operação, consequentemente baixa, produção; e disponibilidade de equipamentos reserva.

Do ponto de vista de Gurski (2007), outro problema em utilizar esse método é constituir uma equipe de manutenção corretiva, pois não há como prever onde e quando será solicitada a presença dos mantenedores. Outro fator é determinar a quantidade de pessoas na equipe de manutenção corretiva, pois nunca haverá pessoal suficiente para atender a todas as solicitações e, em caso contrário, o que fazer com as pessoas quando não ocorrer solicitação de manutenção.

2.4.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva segue um padrão pré estabelecido, que determinam paradas periódicas com a finalidade de permitir a substituição de peças desgastadas por novas, assegurando assim o funcionamento normal da máquina por um período estimado. Esse método preventivo proporciona uma continuidade

no ritmo de trabalho, assegurando o equilíbrio necessário ao bom andamento da produção, conforme afirma Gurski (2007).

O custo e o controle do estoque das peças de reposição é um problema que atinge todo o sistema industrial. Um dos objetivos que se propõe o plano de manutenção preventiva é a diminuição dos estoques, conforme afirma Viana (2002). Isso se consegue com o planejamento de reposição de peças, consequentemente reduzindo o investimento para o setor.

Os objetivos da manutenção preventiva abordados por Xavier (2007) são:

- **Redução de custos** – em sua grande maioria, as indústrias buscam reduzir os custos de produção. A manutenção preventiva colabora atuando em peças de reposição, nas paradas não programadas, alta disponibilidade de equipamento.
- **Qualidade do produto** – O ganho do mercado nem sempre se dá reduzindo custo. Muitas vezes, produtos de melhor qualidade abrem novos mercados. Para garantir esse aumento da qualidade do produto, a manutenção preventiva terá um papel importante, ou seja, as máquinas devem estar em excelente condição de funcionamento, dentro do limite de folgas e desgaste.
- **Aumento de produção** – O aumento de produção de uma empresa se restringe em atender a demanda crescente do mercado. É preciso manter laços fieis com os clientes já cadastrados e conquistar novos clientes, mantendo compromissos de entrega dos produtos em dia. A manutenção preventiva colabora mantendo equipamentos em pleno funcionamento, com poucas paradas de manutenção.

2.4.2 Manutenção Preditiva

De acordo com Gurski (2007), a manutenção preditiva é o monitoramento constante da condição real dos equipamentos, o rendimento operacional, e outros indicadores da condição operativa das máquinas e de processo fornecendo os parâmetros necessários para determinar o intervalo entre os reparos. Este tipo de manutenção também reduz o número e os custos de paradas não programadas, tornando-se uma maneira de melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e a efetividade global de certa planta industrial.

Um programa de manutenção preditiva utiliza um agrupamento das ferramentas mais efetivas em custos a fim de obter a condição ideal nos sistemas críticos da planta industrial e baseando nestes dados reais, todos os planos de manutenção são planejados. A manutenção preditiva é um programa de manutenção preventiva acionado por condições.

O objetivo da manutenção preditiva é determinar o tempo médio para falha ou perda de rendimento para cada equipamento da planta industrial. A elaboração de um sistema de gerenciamento de manutenção preditiva pode arquivar dados sobre a condição mecânica de cada máquina e o rendimento operacional de cada sistema industrial, argumenta ainda Gurski (2007).

Estes dados contribuirão para tomada de decisões pelo gerente de manutenção a fim de planejar os planos de manutenção e o seu tempo de parada, auxiliando efetivamente na redução de custo.

2.5. Carta Dinamométrica

Segundo Hirose (1984), as cartas dinamométricas são representações gráficas da variação de carga na haste polida, em função do tempo, durante um ciclo da unidade de bombeio. A carta é obtida através da inserção de um dinamômetro na haste polida, conforme ilustra a Figura 10.

A variação no diâmetro da haste polida, decorrente da alteração da carga, é convertida através do equipamento SONOLOG, em um gráfico denominado carta de superfície.

Esse equipamento utiliza a lei de Hooke, para calcular a deformação da haste $\varepsilon = \mu \sigma / E$.

Sendo:

ε = Esforço radial

μ = Fator de correlação = 0.3

σ = Esforço axial

E = Modulo de elasticidade

A tensão radial é aproximadamente 30% da tensão axial, por isso se emprega esse fator de correlação de 0,3.

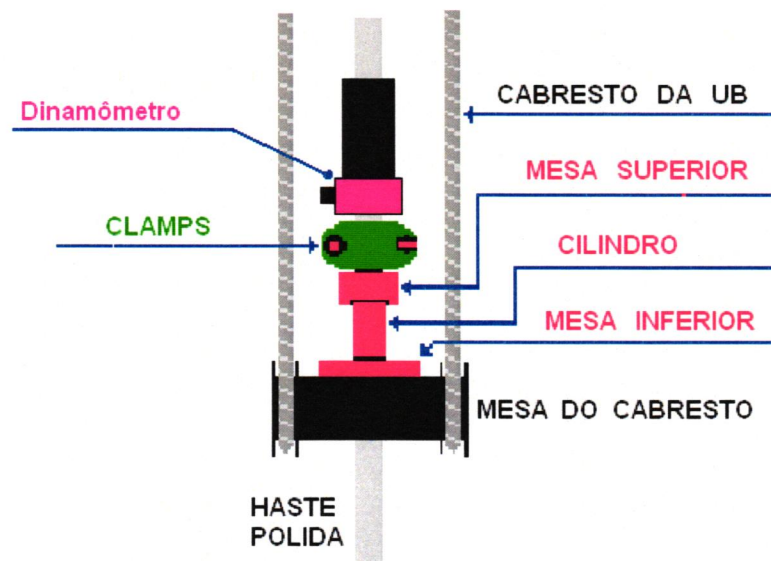


Figura 10: Dinamômetro e seus periféricos

Fonte: Arquivo Petrobras

2.5.1 Cargas dinâmicas

As cargas dinâmicas é o registro da resultante de todas as forças atuantes na haste polida durante o ciclo de bombeio, ou seja, relata as condições dos equipamentos dentro do poço, como mostra a Figura 11. Nestas são visualizados o curso da bomba, a elongação e contração das hastes através das cargas atuantes dentro de um ciclo de uma unidade de bombeio, conforme afirma Hirose (1984).

O ideal de funcionamento é mostrado na Figura 11, pelo qual o verde representa a carta cheia. Mas na prática, isso é extremamente difícil, em virtude de certos fatores, como por exemplo:

- Elasticidade da haste – gera oscilações na mudança do curso descendente para ascendente;
- Velocidade baixa de escoamento do fluido – característica de campos maduros, pois o escoamento do fluido para dentro da bomba é lento, gerando o choque do pistão com o fluido no movimento descendente do pistão;
- Presença de Parafinas e areia na bomba de fundo – Danificam válvulas, bloqueando o escoamento do fluido para dentro da bomba, diminuindo a eficiência da bomba através do engripamento do pistão e a camisa da bomba;

O ideal é a carta cheia, pois não há espaço vazio para ocasionar o choque do pistão com o fluido, ou seja, a bomba trabalha com 100% de eficiência.

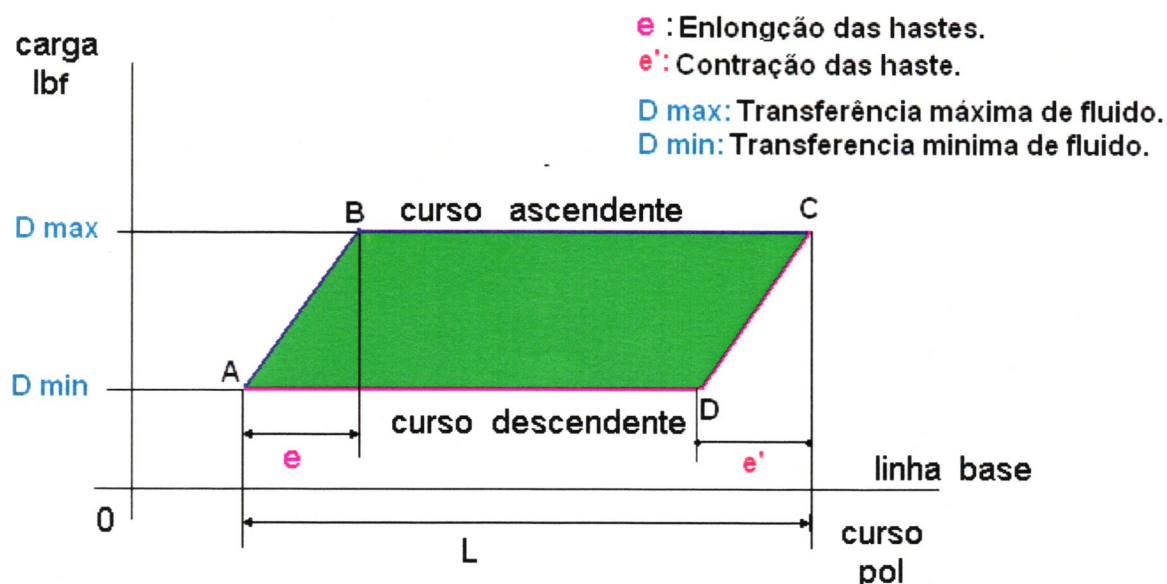


Figura 11: Carta dinamométrica - curso da bomba

Fonte: Arquivos UN-SEAL

O ponto A da Figura 11 é o início do curso ascendente, a válvula de passeio fecha instantaneamente enquanto que, a válvula de pé, irá abrir no momento em que a pressão do interior da bomba for inferior a pressão de sucção da bomba. À medida que o pistão vai sendo carregado com o peso da coluna de fluido, a coluna de hastes vai sofrendo alongações.

Já o ponto B da Figura 11 representa o momento pelo qual toda a carga da coluna de fluido é transferida para o pistão, deixando de alongar a coluna de hastes.

O ponto C, Figura 11 consiste no final do curso ascendente e início do curso descendente. A válvula de pé fecha imediatamente enquanto que a válvula de passeio abrirá quando a pressão do interior da bomba superar a pressão hidrostática da coluna de fluidos. À medida que a válvula de passeio for abrindo, a carga da coluna de fluidos será transferida para a válvula de pé, aliviando a coluna de hastes que tenderá a retornar ao seu comprimento original.

E o ponto D da Figura 11 a carga é totalmente transferida para a válvula de pé (coluna de tubos) e a coluna de hastes retorna ao seu comprimento original.

2.5.2 Cargas Estáticas

As cargas estáticas são traçadas com a unidade de bombeio parada nos cursos ascendente (estática máxima), e descendente (estática mínima), conforme mostra a Figura 12.

Essas cartas são tiradas através de aparelhos analógicos ou digitais que são os mais usados atualmente. Na cabeça do poço fica o dinamômetro que informa ao aparelho o quanto a haste se deformou em um ciclo.

Estas cargas são muito importantes, pois através delas é possível verificar se há vazamento pela válvula de pé ou válvula de passeio da bomba.

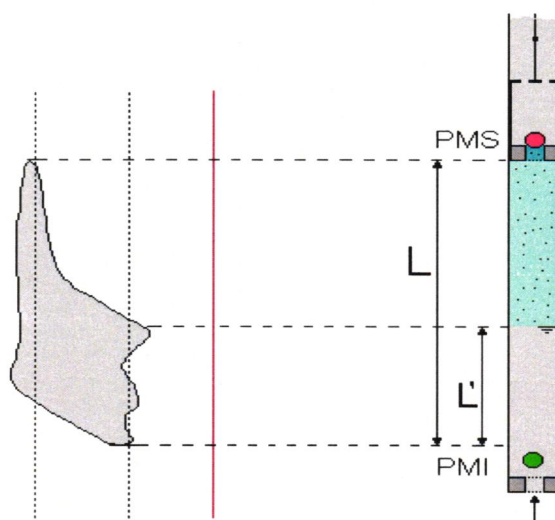


Figura 12: Carta e bomba de fundo

Fonte: Arquivo Petrobras

Na Figura 13, visualiza-se alguns parâmetros como: a carta parcialmente cheia, a elongação da coluna de hastes e o curso da haste polida e o curso do pistão.

e: alongamento da coluna de hastes.

A e B: volume de fluido dentro da bomba.

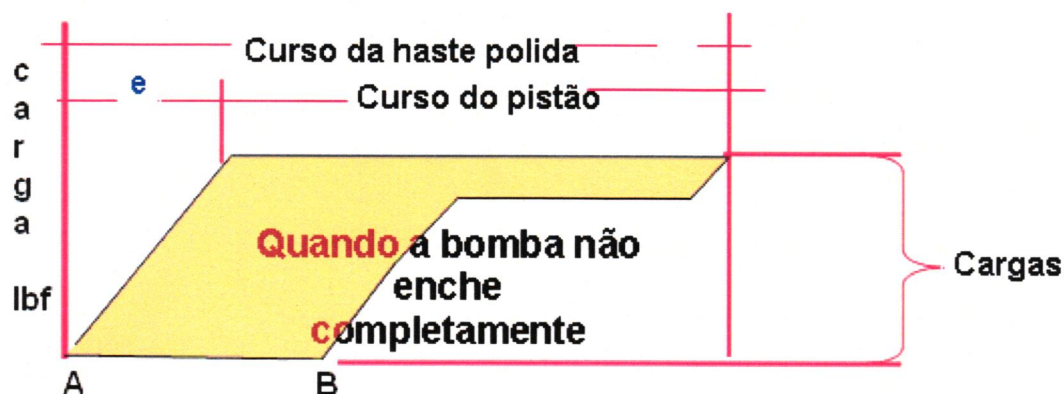


Figura 13: Curso da haste polida

Fonte: Arquivo Petrobras

O cálculo da eficiência da bomba é feito através da graduação inferior da carta de superfície, ou seja, verifica-se na escala inferior da carta a medida de A até B e divide valor encontrado pelo valor do curso do pistão, Este resultado é multiplicado por 100, encontrando a eficiência da bomba em porcentagem.

$$E = ((B - A) / C_p) \times 100$$

2.5 Fadiga em aços

Segundo Hibberler (2004), as falhas mecânicas podem ser entendidas como processos nos qual um ou mais componentes mecânico sofre deformação nas suas propriedades estruturais, determinando uma incapacidade de desempenhar sua função. Estas falhas podem ser classificadas de acordo com o tipo de manifestação pelo qual ocorreu, ou seja, deformação elástica ou plástica, fratura, alteração do material, entre outras.

Além da manifestação de falha, são necessárias que se conheçam as causas das falhas. As principais causas de falhas podem ser: a carga, o tempo, a temperatura ou o ambiente corrosivo. Além disto, a falha pode se localizar no corpo ou na superfície do componente, ainda de acordo com Hibberler (2004)

O estudo da fadiga em componentes mecânicos teve inicio na revolução industrial devido à necessidade de utilização de inúmeros componente mecânicos

submetidos a carregamentos repetitivos. Até então, os equipamentos utilizados eram basicamente manuais para os quais predominavam as solicitações estáticas de carregamento, (HIBBERLER, 2004)

Com o uso da automação dos cálculos, da simulação numérica, da análise de tensões e devido ao desenvolvimento de novos equipamentos suscetíveis a este tipo de falha, o avanço na área de fadiga tem se aprimorado bastante nos dias atuais, conforme comenta Souza (1982)

A falha por fadiga é uma falha prematura que acontece apenas quando o componente mecânico está sob a influência de um carregamento cíclico. Este processo caracteriza-se pela nucleação e propagação de uma trinca ao longo de uma determinada região.

Alguns fatores influenciam diretamente na resistência à fadiga do material. Dentre estes, ressaltam-se as tensões residuais, concentração de tensão, temperatura de trabalho do componente, ambiente no qual o material está inserido, forma geométrica do componente mecânico, acabamento superficial, tratamento térmico e presença de entalhe.

Existem três métodos básicos de dimensionamento de fadiga: fadiga controlada por tensão (método S-N); fadiga controlada por deformação (método ϵ -N); e Mecânica da Fratura Linear Elástica. Métodos estes citados por Sarkis (2007).

O método de fadiga controlada por tensão, o primeiro a ser utilizado no entendimento e quantificação da fadiga, é baseado na utilização das curvas S-N (Amplitude de tensão em função do número de ciclos associados à falha). A aplicação deste método se dá quando o componente é submetido a tensões no regime elástico. Este método é largamente utilizado quando há componentes que tendem a uma vida longa (altos valores de ciclos). A falha decorrente deste processo é também denominada fadiga de alto ciclo e, geralmente, ocorrem com tensões máximas inferiores ao limite de escoamento do material.

O método de fadiga controlada por deformação é baseado nas curvas ϵ -N e pode também ser definido como fadiga de baixo ciclo (N). Este método possui a característica de ter uma tensão local atuante maior que a tensão de escoamento. Além disso este não considera a propagação de trinca e pode ser aplicado a materiais no regime plástico Sarkis (2007) afirma que este método é indicado para estimar a vida inicial de componentes, o número de ciclos para a falha que caracteriza a mudança entre fadiga de altos e baixos ciclos está em torno de 10 ciclos.

O processo da Mecânica da Fratura Linear Elástica (MFLE) é utilizado para estimar o tempo de propagação da trinca e requer previamente o conhecimento de seu comprimento inicial. O princípio deste método está na relação entre tensão aplicada e a distribuição de tensões na ponta da trinca juntamente com o tamanho e forma da trinca além das propriedades mecânicas do material.

A vida total de fadiga é determinada pelos períodos nos quais há a nucleação e propagação das trincas. A mudança entre os períodos de iniciação e propagação de trincas não é facilmente identificável, sendo esta dependente de muitas variáveis, como: tamanho, material, forma do componente mecânico e método usado para determinação da trinca.

A ocorrência dessas trincas provoca aumento de tensão em suas extremidades ou fronteiras, o que, por sua vez, provoca aumento do tamanho de trincas no material à medida que a tensão continua a ser aplicada ciclicamente. Por fim, a área da seção transversal do elemento é reduzida a um ponto em que a carga não pode mais ser suportada e, como resultado, ocorre a ruptura súbita. O material, apesar de dúctil, comporta-se como se fosse frágil, comenta Hibberler (2004).

3. METODOLOGIA

3.1 Introdução

A metodologia abordada neste trabalho foi baseada em uma pesquisa de campo exploratório-descritiva realizada no município de Riachuelo, a 30 km de Aracaju, no poço RO-0494. Este poço apresentava excessivas vibrações em sua unidade de bombeio, decorrente do choque entre o pistão da bomba de fundo e o fluido, no interior da bomba.

Esse problema é comum nos poços dessa região, em virtude de ser um campo maduro, já sendo explorado há muito tempo, o que acarreta baixa pressão na formação, dificultando o escoamento do fluido para o poço.

A análise comparativa realizada entre a carta dinamométrica, com a presença do atenuador de impactos e a carta dinamométrica sem a presença do atenuador, será visto no capítulo 4, dispensando assim uma metodologia mais aprofundada.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Introdução

Analizou-se a influência na inserção do atenuador de impacto na unidade de bombeio mecânico, bem como a sua influência na eficiência da bomba de fundo e indicador de problemas pertinentes ao funcionamento da unidade de bombeio.

4.2 Influência da Inserção do Atenuador de Impacto

Em relação ao atenuador de impactos, sua inserção não alterou nenhuma característica da unidade de bombeio ou do poço em estudo.

O poço analisado tem uma profundidade de 400m, composto por 100 hastes de 3/4 de polegadas de diâmetro. A unidade de bombeio utilizada é uma ZIMEK C-114-143-74, cuja produção diária é de 12m³ / dia, foi tirado um gráfico do poço, denominado carta de superfície antes de colocar o atenuador, como ilustra a Figura 16.

Essa unidade de bombeio possui uma velocidade de 7,3 ciclos por minuto. Então se pode afirmar que, em um minuto, esse ciclo se repete sete vezes. Esses altos números de ciclos repetitivos contribuem para ocorrer à fadiga nas hastes.

A carta apresentada Figura 16 descreve o curso descendente, que consiste no intervalo de 75 a 50 polegadas. Neste intervalo, a bomba está sem fluido e a coluna de haste desce livremente até atingir a posição 50 polegadas, ocorrendo o choque entre o pistão e o fluido, ocasionando vibrações excessivas na unidade de bombeio.

Concomitantemente ocorre à compressão da coluna de hastes até a transferência total do peso do fluido para a válvula de pé, na posição 45 polegadas. Isso ocorre devido a abertura da válvula de passeio, ficando a coluna de hastes livre, iniciando as oscilações indesejadas.

Esses esforços repetitivos causam a fadiga do material. O ciclo mais intenso ocorre devido ao efeito oscilatório da coluna de haste no curso descendente, após transferir a carga do fluido para a válvula de pé da bomba.

A maior adversidade encontrada é a grande variação de cargas envolvendo a coluna de haste. Isso ocorre devido às cargas de tração que variam, nesse caso, de 1.680 lbf a 6.000 lbf em um ciclo completo da unidade de bombeio.

Pode-se verificar na carta mostrada na Figura 16, entre os pontos A e B, as oscilações mais críticas. Entre os pontos B e C, verifica-se o alongamento da coluna de haste decorrente do peso do fluido e a resistência em vencer a pressão externa da linha. Após o ponto C, tem-se o escoamento do fluido na linha externa, até o seu total descarregamento no ponto D.

Em seguida, a válvula de retenção fecha o refluxo da linha externa e o pistão desce em vazio até o ponto E. No ponto E, o pistão encontra o fluido e o comprime até o ponto A, que é o momento em que a válvula de passeio se abre e a coluna de haste fica livre dentro do poço, oscilando seu comprimento em decorrência da elasticidade do aço e do peso da coluna de haste.

Uma mola helicoidal de aço carbono 4140 foi utilizada no desenvolvimento do trabalho. Esta foi dimensionada para a carga máxima de 4.000 lbf, com comprimento de 50 cm, diâmetro de 12 cm e diâmetro do arame de 1,5 cm. Foi utilizado um *software* para auxiliar no dimensionamento da mola, de acordo com a Figura 14.

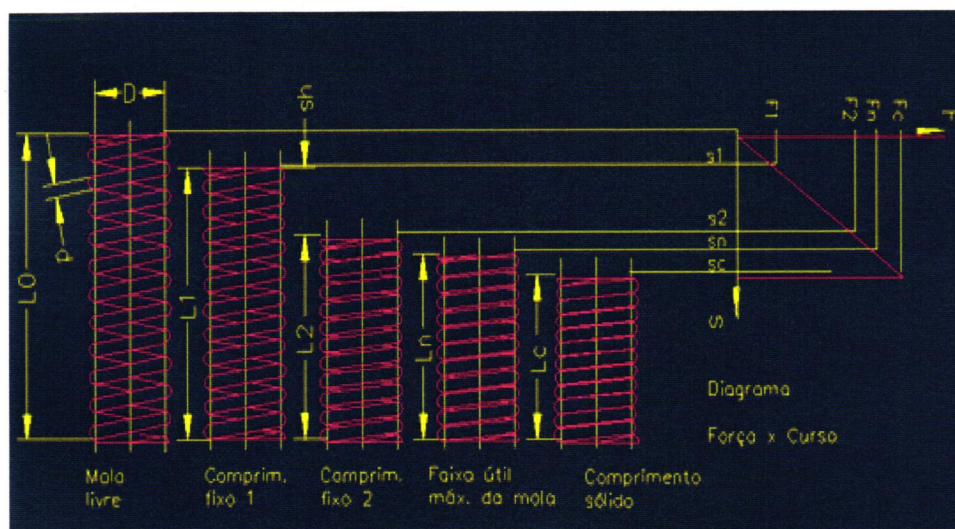


Figura 14: Dimensionamento da mola

De posse do dimensionamento, foi providenciada uma mola, com dados próximos aos calculados, como mostra a Figura 15. A empregabilidade da mola teve o objetivo de atenuar as oscilações da coluna de haste, transferindo a energia elástica da coluna de haste para a mola.

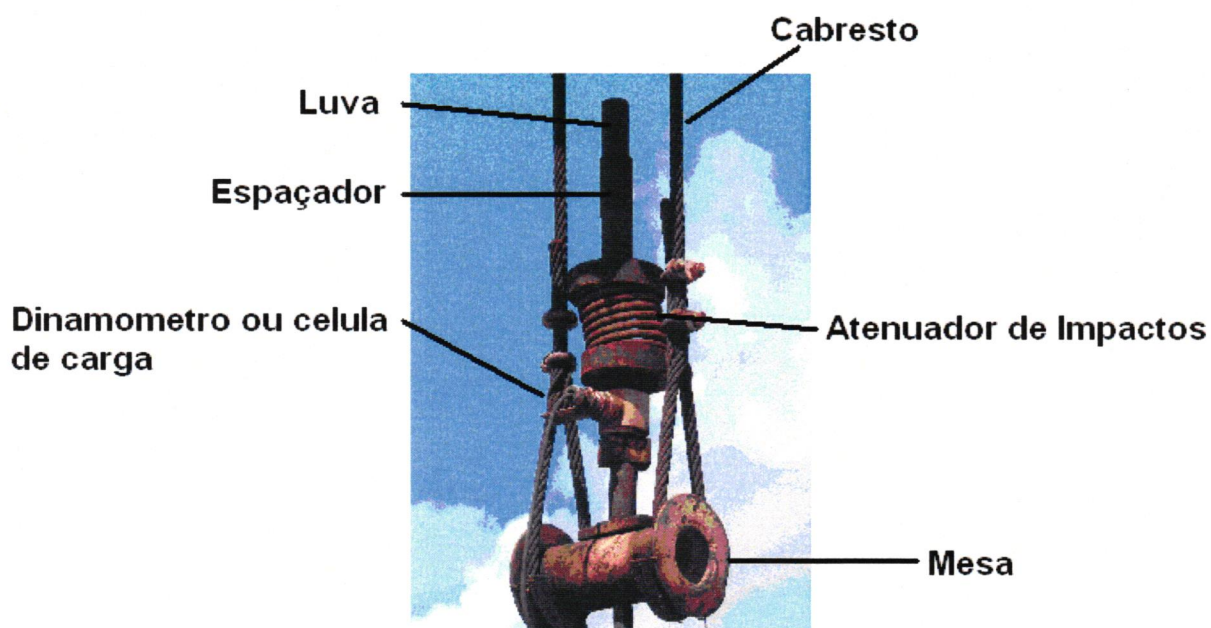


Figura 15: Mola instalada no poço

De acordo com a Figura 15, foi verificada a posição onde a mola deve ser instalada para atuar como um atenuador absolvendo os impactos da coluna de hastes no movimento descendente da unidade de bombeio.

Com a instalação do amortecedor, ocorreram mudanças na carta observadas, comparando a Figura 16 e a Figura 17. De acordo com os pontos A e B, foi observado, uma diminuição nas oscilações. A carga máxima diminuiu de 6.000 lbf para 5.500 lbf, contribuindo para diminuir a possibilidade de fadiga das hastes, foi observada também uma uniformidade no funcionamento da unidade de bombeio sem vibrações, preservando a vida útil da unidade de bombeio e seus acessórios. A diminuição da carga máxima foi comprovada em virtude do atenuador auxiliar no movimento ascendente da coluna de haste ao recuperar a sua forma original.

Para colocar esta mola, a unidade de bombeio foi interrompida e a coluna de hastes foi fixada por um *clamps* abaixo da mesa. Após esta operação foi retirada a

luva e os espaçadores e o atenuador foi inserido. Vale ressaltar que não foi reposta a mesma quantidade de espaçadores retirados, pois a mola ocupou um determinado espaço, não alterando assim o curso da bomba de fundo.

Em seguida, a luva foi enroscada, o *clamps* retirado e a unidade foi colocada em funcionamento, com a mola atuando como um atenuador de impactos.

Outra análise pertinente é o fato da mola servir de indicação quando o poço esteve com a haste quebrada, pois com a coluna sem peso a mola não se comprime, sendo um diagnóstico eficiente, evitando, pois a perda de tempo e custos com outros testes. O mesmo ocorre com a haste presa, a mola ficará comprimida durante o curso total da unidade de bombeio, proporcionando mais agilidade na tomada de decisões para solicitar a interferência de sonda no poço.

4.3 Influência na Eficiência da Bomba de Fundo

A eficiência da bomba é um parâmetro importante, pois se estiver abaixo de 50%, é necessário substituir a bomba de fundo e possivelmente a unidade de bombeio, a fim de baixar os custos com energia e dimensionamento de equipamento.

O curso total da bomba está expresso na escala inferior da carta em polegadas, como mostra a Figura 16. O curso, a distância total percorrida pela coluna de haste, de 0 a 75 polegadas ou 1,90m de curso total.

Através da carta apresentada na Figura 16, foi calculada a eficiência da bomba, ou seja: 62%.

Um fator importante que influencia diretamente na eficiência da bomba é a velocidade da unidade de bombeio medida em cpm (ciclo por minuto) que influencia no enchimento da carta. Sabe-se que um menor cpm ocasiona uma possibilidade maior de enchimento da bomba, pois o fluido tem mais tempo para adentrar a bomba, porém na prática existem restrições como à redução de rpm dos motores elétricos e a baixa produção.

Conforme mostra a Figura 17, foi verificada uma melhora na eficiência da bomba, na posição inferior da carta, de 62% para 66%, Tal fato foi devido à redução de velocidade da coluna de hastes no movimento descendente, ou seja, o atenuador impôs resistência à coluna de haste no movimento descendente, diminuindo a velocidade de descida, com isso a bomba recebe uma quantidade maior de fluido.

Com a melhora na eficiência da bomba, ocorreu um aumento na produção diária do poço de 12 m^3 para $12,4 \text{ m}^3$.

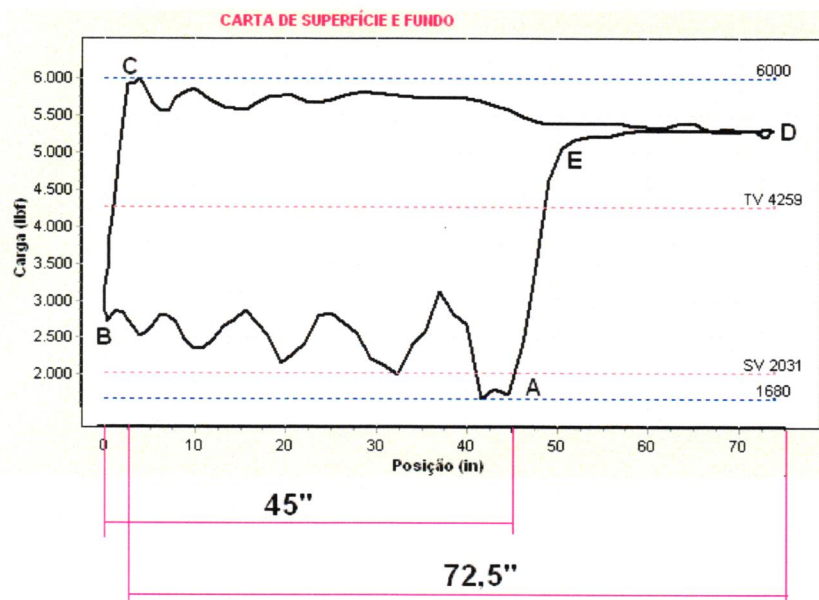


Figura 16: Carta do poço sem o atenuador de impacto.

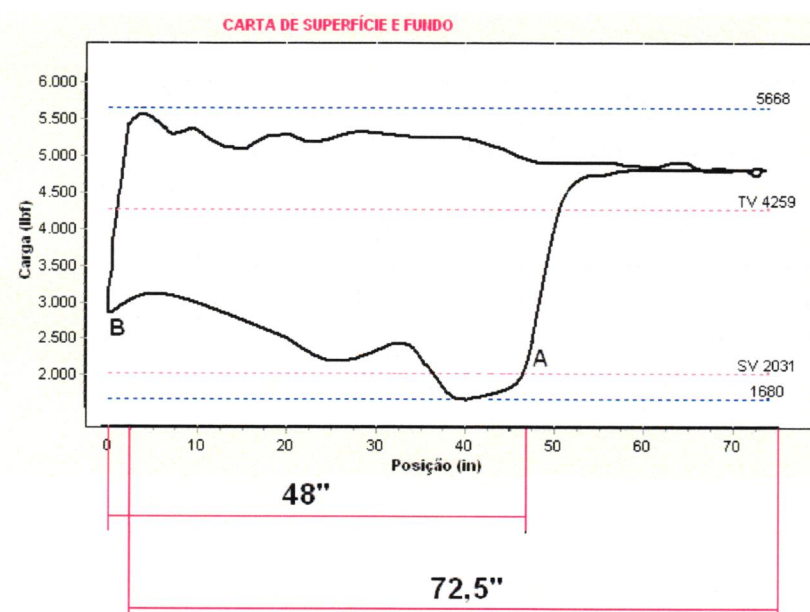


Figura 17: Carta do poço com o atenuador instalado.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho de um amortecedor insertado na coluna de hastes, cuja finalidade é amortecer os impactos gerados no choque entre pistão e o fluido, no interior do poço de petróleo.

Os impactos gerados neste movimento causa danos muitas vezes irreversíveis aos equipamentos de superfície e sub-superfície da unidade de bombeio, sugerindo manutenções corretivas e, em última estância, a intervenção de sondas para substituição de equipamentos.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar a funcionalidade deste atenuador, visto que o custo com o número de intervenções nos poços de petróleo será menor e haverá gastos menores com peças de reposição. Isso reflete em um custo menor para a produção de petróleo, porque o tempo e o número de poços parados serão reduzidos.

Esse trabalho revelou resultados positivos, como a inesperada possibilidade de diagnosticar problemas como haste presa ou fraturada a partir do comportamento de abertura e fechamento da mola, melhorando a tomada de decisões.

Com a uniformidade do funcionamento da unidade de bombeio, a célula de carga está protegida contra choques provenientes das oscilações da coluna de hastes, que em determinados regimes oscilatórios, chegaram a danificar a célula de carga e tornando-a obsoleta.

É importante ressaltar que a inserção do atenuador de impactos no processo de bombeio mecânico em poços de petróleo, é uma alternativa simples, eficaz e, principalmente, proporciona a redução de custo, indispensável em qualquer setor da indústria, especificamente no setor de petróleo e gás.

REFERÊNCIAS

ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br>, acesso em 15 de abr. de 2009.

Catálogo TENARISCONFAB, julho 2004, Eng. José Rey Méndez

Correia, Oton Luiz Silva. **PETRÓLEO: Noções sobre exploração, perfuração, produção e microbiologia**, Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

Gurski, Carlos Alberto, 2007. **Planejamento estratégico em gerência de manutenção industrial**.

Hibberler R. C., **Resistência dos Materiais** – 5ª edição, 2004.

HIROSE, Edson, 1984. **Conceitos básicos de bombeio mecânico**, UN-SEAL.

Manual de instalação de Unidades de Bombeio, LUFKIN.

Mesquita, Wellington, 1984, SENAI – Mossoró. **Curso de Formação de Operadores de Sonda de Produção Terrestre**.

Normas Petrobras N. 2366, <http://nortec.engenharia.petrobras.com.br/>, acesso em 16/03/2009

Recommended Practice for the Care and Handling of Sucker Rods, API, www.api.org, acesso em 09 de abr. de 2009

Sarkis, Melconian, 2007. **Mecânica técnica e resistência dos materiais**

Souza, Sergio Augusto. **Ensaaios mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos**. 5. ed. São Paulo: E. Blucher, 1982.

Thomas, José Eduardo. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**, (Org.) – 2ª ed., Rio de Janeiro: Interferência: Petrobras, 2004.

Tomazini, C., 2003, SENAI – São Paulo. **Mecânica Industrial Equipe Técnica - Núcleo Metalmeccânica**, 2005, SENAI – Itabira / MG **Métodos de Manutenção**.

VIANA, H. R. G. PCM, 2002. **Planejamento e controle da manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark.

Xavier, Júlio de Aquino Nascif, 2007. **Manutenção: Função estratégica**.