

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AUTOMAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE MUDANÇA DE CURSO E BALANCEAMENTO EM UNIDADES DE BOMBEIO MECÂNICO

AUTORES:

Filipe Quintaes¹, Andrés Ortiz², André Maitelli³, Francisco Fontes⁴, Elias Karbage⁵, Rutácio Costa⁶

INSTITUIÇÃO:

1 - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campi Mossoró, Brasil, Mossoró-RN. Rua Raimundo Firmino de Oliveira, 400, Conjunto Ulrick Graff, bairro Costa e Silva, Mossoró/RN CEP: 59628-330

2, 3 e 4 - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Brasil, Natal-RN. Campus Universitário Lagoa Nova, Caixa Postal 1524, CEP 59072-970.

5 e 6 - Petróleo Brasileiro S/A – PETROBRAS, Unidade de Negócio de Exploração & Produção do Rio Grande do Norte/Ceará (UN-RNCE), Cidade da Esperança - Natal - RN - Cep: 59164-100.

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

AUTOMAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE MUDANÇA DE CURSO E BALANCEAMENTO EM UNIDADES DE BOMBEIO MECÂNICO

Abstract

The main advantages of the use of the method of artificial lift of Sucker-rod Pumping are: operation simplicity, it can be used until the end of the productive life of a well starting from normal conditions, capacity of pump can be modified in function of the changes of behavior of the well and usually presents a smaller cost for production along the productive life of the well. Even having the smallest cost for production, these units need maintenance procedures periodically. Two important procedures very used at Sucker-rod Pumping are the adjusts for balancing of the unit and the change of course, however, these procedures presents great operational problems. This work presents na automation project for the accomplishment of the procedures of balancing and change of course. Among some of the advantages of this new system, we have: stop of the unit at any position without damages to the reducer; reduction of the consumption of energy in direct transmission; possibility of integration with a supervisory system; reduction of operation costs and maintenance and facility of maintenance. By this automation, the productions stops will be reduced and with possibility of the elimination of the technicians' intervention. At this way, the risks and the operation costs and maintenance will be reduced.

Resumo

As principais vantagens da utilização do método de elevação artificial do tipo bombeio mecânico são: simplicidade de operação, pode ser utilizado até o fim da vida produtiva de um poço a partir de condições normais, capacidade de bombeio pode ser modificada em função das mudanças de comportamento do poço e apresenta geralmente um menor custo por produção ao longo da vida produtiva do poço. Mesmo possuindo o menor custo por produção, estas unidades precisam periodicamente de procedimentos de manutenção. Dois procedimentos muito efetuados nas unidades de bombeio mecânico são os ajustes para balanceamento da unidade e a mudança do curso, porém estes apresentam grandes problemas operacionais. O presente trabalho apresenta um projeto de automação para a realização dos procedimentos de mudança de curso e de balanceamento. Dentre algumas das vantagens deste novo sistema, temos: parada da unidade de bombeio mecânico em qualquer posição sem danos ao redutor; redução do consumo de energia pela transmissão direta; possibilidade de integração com o sistema supervísório; redução dos custos de operação e manutenção e facilidade de manutenção. Mediante esta automação as paradas de produção serão reduzidas e com possibilidade da eliminação da intervenção de técnicos. Sendo assim, os riscos e os custos de operação e manutenção serão reduzidos.

Introdução

Historicamente, o primeiro método de elevação artificial foi o bombeio mecânico (Sucker-rod Pumping), surgido logo após o nascimento da indústria do petróleo. Sua importância se reflete no número de instalações existentes, que correspondem a 80% dos poços produtores mundiais, o que lhe dá a posição de método mais utilizado no mundo. No Brasil, responde por cerca de 8% da produção diária de petróleo, equipando em torno de 80% dos poços produtores. Para a produção do Estado do Rio grande do Norte as unidades de bombeio (UB) são responsáveis por 50% da produção.

As principais vantagens da utilização do método do bombeio mecânico são: simplicidade de operação, manutenção e projeto de novas instalações; a partir de condições normais pode ser utilizado até o fim da vida produtiva de um poço e a capacidade de bombeio pode ser modificada, em função das mudanças de comportamento do poço. A vantagem mais importante deste método diz respeito ao menor custo/produção ao longo da vida produtiva do poço.

Diante de tanta importância que uma UB representa para extração de petróleo, e de seu uso em larga escala, é preciso uma manutenção periódica seja tanto preventiva quanto corretiva. Para esta manutenção, uma equipe de técnicos é deslocada para o local onde se encontra o sistema. Esta equipe realiza uma série de testes e atividades de manutenção, visando aumentar a vida útil da unidade de bombeio.

Dentre as atividades de manutenção, está a mudança de curso e o balanceamento da UB. Para estas duas atividades, uma equipe considerável de técnicos é deslocada para o campo. A realização destes procedimentos pode ocasionar danos a algumas peças da UB. Surge aí a necessidade de um procedimento para a mudança automática de curso e o balanceamento deste sistema de elevação artificial.

Neste trabalho será apresentado um projeto de um protótipo industrial que permita a execução de serviços de balanceamento e ajuste de curso de forma automática. O presente protótipo foi desenvolvido a partir de uma unidade de bombeio mecânico modelo API-114, com algumas modificações em sua estrutura mecânica e com a instalação de um sistema eletro-eletrônico. Dentre algumas das vantagens deste sistema, temos: parada da UB em qualquer posição sem danos ao redutor; redução do consumo de energia (aproximadamente 10%) pela transmissão direta; possibilidade de integração do controle automático através de um sistema supervisor; redução dos custos de operação e manutenção; facilidade de acionamento e confiabilidade do freio de estacionamento; facilidade de manutenção; redução dos riscos de operação e manutenção.

Mediante esta automação da unidade de bombeio, as paradas de produção serão reduzidas e um número menor de técnicos serão deslocados para a realização das atividades de manutenção na unidade. Sendo assim, os riscos e os custos de operação e manutenção serão reduzidos.

Projeto Mecânico

Modificações Mecânicas de uma Unidade Convencional

A proposta apresentada na Figura 1 teve como princípio a alteração mínima do projeto original capaz de configurar uma alternativa viável para atender aos objetivos propostos. Desta forma, procurou-se interferir rigorosamente nos componentes que estão diretamente associados com as variáveis desejadas, ou sejam: mecanismo de deslocamento do curso e mecanismos de movimentação de contrapesos.

Após investigar e compreender as necessidades de balanceamento de uma unidade de bombeio, seja através dos deslocamentos dos contra-pesos e complementados pelos deslocamentos do curso, partiu-se para a fase de concepção de mecanismos.

A Manivela (componente que transforma o movimento rotativo em alternativo) proposta contém um alojamento em seu eixo longitudinal que possibilita a adaptação de um cursor com a função de variar o curso da UB. O cursor é o componente que acopla a Manivela ao braço oscilante, e é acionado por um motor/redutor comercial conectado por um fuso helicoidal (projetado) que está ancorado por mancais de rolamentos cônicos, e montados rigidamente em uma tampa fixada na extremidade superior da Manivela através de parafusos.

O Suporte de contrapeso compreende uma grade fabricada em perfilado tipo “U” que permite o alojamento e movimento deslizante de um contrapeso acionado por motor/redutor. O fuso helicoidal

(projetado) está ancorado através de mancais de rolamentos cônicos montados em caixa de mancais fixadas na grade em correspondência com o eixo vertical que passa pelo centro de gravidade do contrapeso. Cada Manivela contém duas grades contendo os contrapesos simétricos e a UB contém dois conjuntos Manivela/Suportes de contrapesos.

A concepção apresentada teve como premissas os seguintes aspectos: Limitações dimensionais, rigidez da Manivela, capacidade de carga, facilidade de fabricação utilizando processos de usinagem convencionais e emprego de materiais perfilados comerciais.

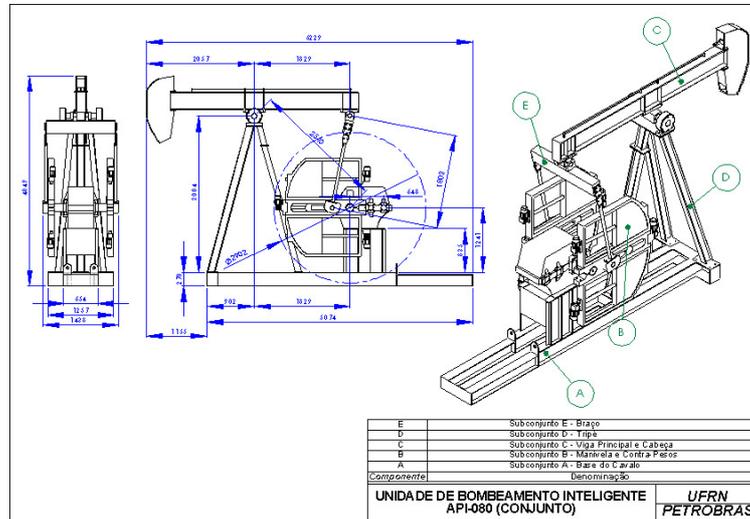


Figura 1. Concepção proposta (CONJUNTO UB).

Análise de Tensões

A análise estática ou de tensões calcula os deslocamentos, esforços e tensões numa peça baseado no material, restrições e cargas aplicadas. Ocorre falha em um material, quando as tensões atingem um certo nível. Materiais diferentes falham em diferentes níveis de tensões. O software Cosmos utiliza análise estática linear baseada no método dos elementos finitos para calcular as tensões e deformações na peça. Com base na tensão admissível do material e empregando-se o critério de Von Mises determina-se o coeficiente de segurança.

A partir da modelagem física da Manivela realizada através do SolidWorks, submeteu-se a peça a uma análise de tensões utilizando-se o Cosmos Analysis. Considerando-se o material Aço AISI 1045 e aplicando-se ao componente a solicitações de torque máximo no redutor (API-114- 114.000 lbf/pol), especificado pelo fabricante da UB, verifica-se que o componente na configuração proposta resiste bem pelo critério das tensões e apresenta também variações de deformações desprezíveis quando comparado com o projeto original, ver Figuras 2 e 3.

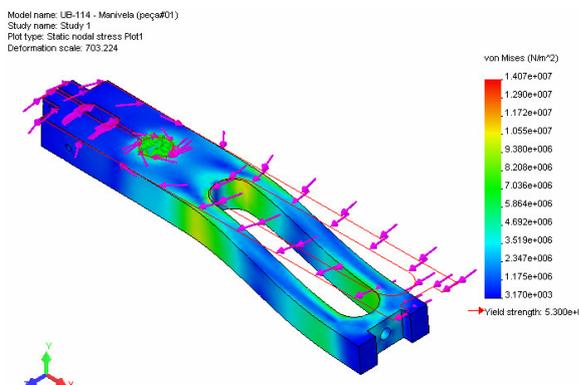


Figura 2. Distribuição de Tensões na Manivela para simulação com torque máximo de 114.000 lbf/pol

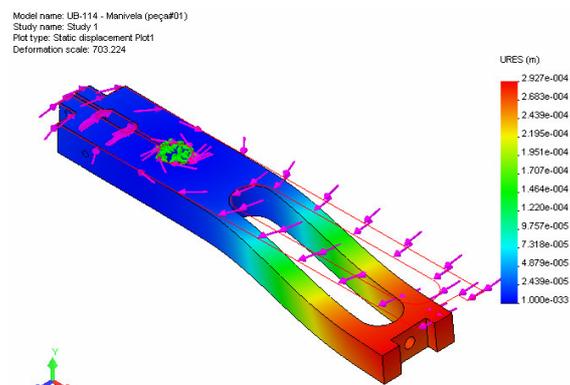


Figura 3. Distribuição de Tensões máximas na Manivela (simulação com torque máximo de 114.000 lbf/pol)

Aplicando-se o mesmo tratamento aos fusos de acionamento dos mecanismos e considerando o torque máximo do motor/reductor acionador de 25 N.m, os resultados foram favoráveis para o aço (AISI 1045) nas dimensões de projeto, conforme verificado na simulação, Figuras 4 e 5.

Model name: API-114 - Manivela (peça#06)
 Study name: Study 2
 Plot type: Static model stress Plot1
 Deformation scale: 2.07132e+006

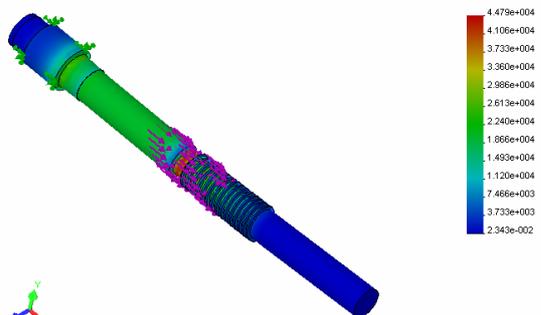


Figura 4. Distribuição de Deformações na Manivela para simulação com torque máximo de 114.000 lbf/pol

Model name: API-114 - Manivela (peça#06)
 Study name: Study 2
 Plot type: Static displacement Plot1
 Deformation scale: 2.07132e+006

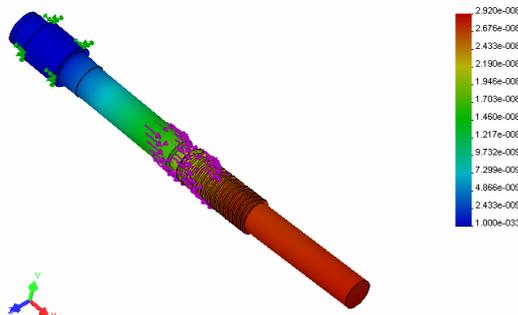


Figura 5. Distribuição de Deformações na Manivela para simulação com torque máximo de 114.000 lbf/pol

Estratégia de Acionamento e Controle

Foi proposto um sistema de acionamento cujo operador apenas com a programação de alguns parâmetros do inversor de frequência, através de sua interface homem-máquina (IHM), atualiza a posição dos contrapesos e do curso para o balanceamento da unidade. Este acionamento propõe também uma redundância do sistema de acionamento em caso de falha de algum inversor de frequência, a partir de um acionamento com partida direta do conjunto moto reductor.

Para o funcionamento deste sistema, foram utilizados seis sensores de posição (encoder) e de dois inversores de frequência, sendo um para o acionamento sincronizado do curso e um para o balanceamento da unidade de bombeio. Foram utilizados acionamentos com multi-motores com apenas um controle de malha fechada de posição. Para a realização deste sistema de automação de bombeio mecânico, além da implementação da parte elétrica.

Como forma de garantia de posição dos quatro contrapesos foram utilizados um encoder para cada motor. A ligação dos inversores de frequência com os motores será através de escovas deslizantes. A grande vantagem deste tipo de acionamento é que a proteção de cada motor é feita individualmente e diretamente pelo inversor com redundância de um relé térmico.

A Figura 6 apresenta a topologia utilizada para acionamento dos motoredutores.

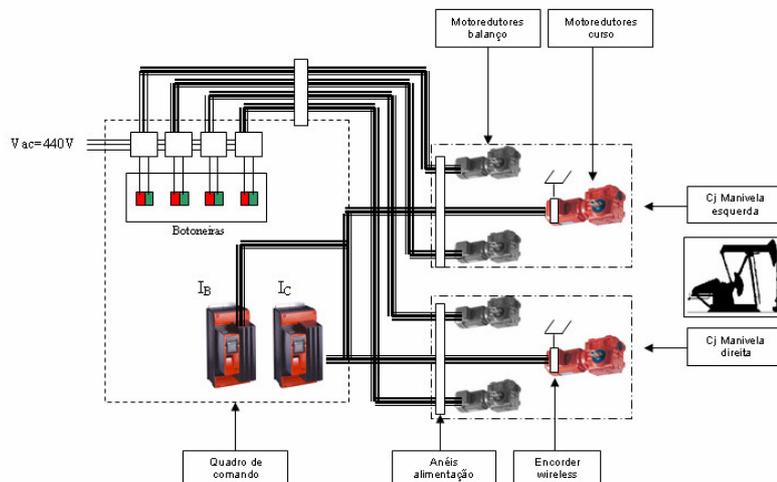


Figura 6. Sistema de acionamento dos motoredutores

Controle Programável em Campo

Está previsto também em uma outra etapa da execução deste projeto a alternativa para realização dos procedimentos de mudança de curso e de balanceamento com execução do algoritmo do cálculo do balanceamento ser implementados em campo pelo próprio controlador.

A grande vantagem desta alternativa estaria na possibilidade de um agendamento do procedimento de balanceamento. Para esta aplicação, esta sendo pesquisada a necessidade de aquisição de um controlador extra ou a utilização do próprio inversor, para que as variáveis de processo possam ser adquiridas e processadas. Estas variáveis podem ser disponibilizadas pelo controlador de campo existente ou diretamente através dos respectivos sensores.

Controle Programável no Supervisório (Remoto)

Está previsto posteriormente ao acionamento utilizando a interface homem-máquina do inversor, o próximo passo será a implementação de um acionamento servoassistido com realimentação e com controle programável por supervisório. Neste acionamento, os procedimentos de mudança de curso e de balanceamento são executados pelo operador na sala de controle através do supervisório. O algoritmo de cálculo de balanceamento é executado pelo sistema supervisório, havendo, portanto a necessidade do envio das variáveis de referência (posição curso e posição contrapesos), para o campo.

Para os controladores existentes em campo como, por exemplo: CAC-8800-RPC que possui comunicação com protocolo Modbus RTU e ASCII, torna-se possível a comunicação com o inversor. Por outro lado, uma comunicação analógica entre o controlador e o inversor não se torna possível em virtude do controlador não possuir saída analógica.

Atualmente, através do sistema supervisório utilizado pela PETROBRAS as mudanças de curso e o balanceamento remoto em nível de software já são possíveis, devido ao sistema supervisório desenvolvido no projeto de “Automação de Poços” em parceria com a UFRN. A Figura 7 apresenta uma tela deste supervisório, apresentando a posição dos contra-pesos como a opção para o cálculo do balanceamento.

Unidade de Bombeio	
Fabricante	Microlab
Modelo	ML-320 320-256-100
Curso da Haste Polida (in)	100
CPM	12
Tipo do Motor	NEMA C
Rendimento da UB (0 a 100%)	70,56
A (mm)	2749,99
C (mm)	2510,00
P (mm)	3079,99
K (mm)	4170,00
L (mm)	2780,00
R (mm)	1150,00
Cinematica Fator de Torque Torques	
Desbalanceio Estrutural da UB (Kgf)	158,76
Torque da Manivela (lbf.in)	2,8639E5
Massa dos Contrapesos (Kgf)	1980,60
Posição dos Contrapesos (in)	19,5
Capacidade da Célula de Carga (lb)	3000
Balanceamento da Unidade de Bombeio	
OK	Cancelar Aplicar

Figura 7. Tela do supervisório (desenvolvido pela UFRN)

O supervisório operará realizando varreduras nos poços a partir de um computador remoto. Ele fará a aquisição dos dados através do envio de sinais para o controlador RPC (Rod Pump Controller), também referido como dispositivo escravo, no sistema. Quando o RPC recebe este sinal, ele responde ao supervisório com a resposta requerida. Todas as unidades remotas recebem o sinal, mas responderá somente o dispositivo escravo que tenha o endereço de comunicação igual ao endereço contido no sinal. Um escravo não pode transmitir algo sem que isto seja requerido.

O método padrão para transferir informações entre um RPC remoto e o supervisor é via rádio. Os controladores CAC suportam rádios de vários fabricantes. Independente do rádio escolhido, um modem é necessário nos dois lados da conexão para servir de interface entre o supervisor e as linhas de transmissão e entre o RPC e as linhas de transmissão, conforme já existente.

Os controladores CAC oferecem um modem FSK (Frequency Shift Keying) que podem ser disponibilizado no mesmo módulo eletrônico de fábrica ou podem ser instalados posteriormente em unidades de bombeio, caso não esteja presente.

A distância entre o RPC e o computador onde o supervisor se encontra é um fator a ser considerado. Se ela é muito grande, uma torre repetidora pode ser necessária para assegurar a qualidade das transmissões. A comunicação via rádio também é limitada às frequências disponíveis para este tipo de aplicação.

Resultados

Depois da concepção do projeto do painel os mesmos foram montados nas instalações da SEW em Guarulhos- SP. A Figura 8 apresenta o sistema de acionamento com apenas dois motoredutores, um do curso e outro do balanceamento. E a Figura 9 apresenta o painel montado.



Figura 8. Sistema de acionamento

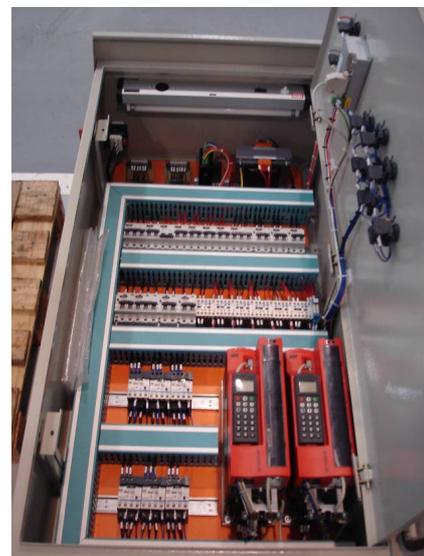


Figura 9. Painel

Os dois cabos apresentados à direita dos conectores são os cabos de alimentação e de sinal dos encoders. Estes cabos são fixos com prensa cabos. Futuramente em virtude da execução de testes práticos os mesmos poderão ser eliminados.

Com o objetivo de verificar o correto funcionamento foram elaborados testes de posicionamento, simulando o deslocamento do curso e dos contra pesos, sendo alimentados sem carga no eixo.

Durante estes testes foi observada através da ferramenta “Scope” disponibilizada através do software MOVOTOOLS – SEW EURODRIVE versão 4.50 a curva de velocidade versus o tempo, sendo vislumbrada a possibilidade de aplicação para posicionamento em malha aberta. Foram executadas algumas partidas com receitas predefinidas de posição, sendo constatada a sua repetitividade.

Os testes em bancada foram realizados com oito receitas pré-programadas de posicionamento, sendo quatro para cada motoredutor. Existe também uma subdivisão das receitas, sendo quatro para avanço e quatro para recuo.

No ensaio realizado foram disponibilizadas quatro receitas para posicionamento. As receitas correspondem respectivamente a uma, duas, três e quatro voltas no eixo. As receitas também permitem o avanço ou recuo.

Com um passo de 8 mm, tanto para o curso como para o contra peso, podem ocorrer erros de posicionamento de 0,1 mm para o curso e de 0,16 mm para o posicionamento do contra peso. O que representa um erro desprezível.

Conclusões

Este sistema de automação de unidade de bombeio atendeu a todas as necessidades previamente desejadas. Algumas etapas de otimização ainda estão em desenvolvimento.

Todas as especificações foram analisadas de forma detalhada com o objetivo de permitir uma facilidade operacional dos procedimentos de balanceamento e de mudança de curso. Os procedimentos de balanceamento e de mudança de curso serão efetuados in loco pelo operador através da interface Homem-Máquina dos inversores, ou em caso de falha de algum inversor o sistema poderá também ser acionado através do sistema local com partida direta dos motores.

Outra vantagem deste sistema está na possibilidade de haver futuramente um upgrade da unidade, com implementação de um controle local ou remoto da unidade de bombeio mecânico.

O projeto de acionamento encontra-se em fase de testes para avaliação de sincronismo de posicionamento, avaliação do sistema de proteção e de utilização dos procedimentos operacionais de mudança de curso e de balanceamento.

As atividades relacionadas à etapa de adequação mecânica tais como: Acompanhamento e fiscalização do serviço de construção e montagem do sistema mecânico; Montagem em laboratório do protótipo proposto e Obtenção de resultados práticos do sistema mecânico estão planejadas para o mês de setembro do corrente ano.

Espera-se, que com este sistema, um grande número de poços em atividade o adote, gerando uma redução considerável nos custos de manutenção, e conseqüentemente a uma menor intervenção humana nos procedimentos de mudança de curso e balanceamento da unidade de bombeio.

Referências Bibliográficas

CHUNG C.A., Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach, CRC Press, 2004. Economides, M.J.; Hill, A.D.; Ehlig-Economides, C., Petroleum Production Systems, Prentice Hall, 1994.

BARROS FILHO, J., “Ajuste automático e otimização do tempo de espera (Idle Time) em Bombeio Mecânico de Petróleo”, Dissertação de Mestrado, Natal/RN, 2002.

BROWN, K.E., The technology of artificial methods, PennWell Books, 1980.

TAKÁCKS, G., Sucker-rod Pumping Manual, PennWell Books, 2002.

COSTA, R.O., Curso de Bombeio Mecânico, Petrobras UN-RNCE/ST/ELV, 2004.

SERRA, K.V.; SANTOS F.A., “Bombeio Mecânico”, Petrobras UN-RNCE, 1990.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Specification for Subsurface Sucker Rod Pumps and Fittings (11th ed.): API SPEC 11AX, 2001.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Specification for Sucker Rods (26th ed.): API SPEC 11B, 1998.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Specification for Pumping Units (17th ed.): API SPEC 11E, 1994.

COSTA, R.O., “Bombeamento Mecânico Alternativo em Poços Direcionais”, Dissertação de Mestrado, Campinas/SP, 1995.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Recommended practice for design calculations for sucker rod pumping systems (4th ed.): API RP 11L, 1988.