


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CEI AS EXATAS E DA TERRA-CCET

INSTITUTO DE QUÍMICA-IQ

CURSO: QUÍMICA DO PETRÓLEO

ROTEIRO DE AULAS EXPERIMENTAIS

QUI 0059 – Fund. de Perf. e Cimentação de Poços de Petróleo

PROFº JULIO CEZAR DE O. FREITAS

OUTUBRO – 2013

SUMÁRIO

AULA PRÁTICA I- ESPECIFICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND DESTINADOS À CIMENTAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS (Mistura, Homogeneização, Água Livre e Tempo de Espessamento).	3
AULA PRÁTICA II- ESPECIFICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND DESTINADOS À CIMENTAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS (Resistência à Compressão e Determinação das Propriedades Reológicas).	9
AULA PRÁTICA III- Reologia PROCELAB/API	19
AULA PRÁTICA IV- Teste de Filtrado	24
AULA PRÁTICA V- Influência dos aditivos antiespumante, dispersante e controlador de filtrado.	26
AULA PRÁTICA VI- Eficiência de colchões	29
AULA PRÁTICA VII – Compatibilidade reológica de fluidos em operações de cimentação	32

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
INSTITUTO DE QUÍMICA-IQ
NÚCLEO TECNOLÓGICO EM CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Disciplina: QUI 0059 – Fund. de Perf. e Cimentação de Poços de Petróleo

Prof.: Julio Freitas

AULA PRÁTICA I- ESPECIFICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND DESTINADOS À CIMENTAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS (Mistura, Homogeneização, Água Livre e Tempo de Espessamento).

1. Introdução/definição: Cimento Portland destinado à cimentação de poços petrolíferos CPP - Classe G e CPP - Classe Especial

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído, em sua maior parte, por silicatos de cálcio hidráulicos, e que apresenta características especiais para uso em poços de petróleo assim como produzido. Na fabricação, a única adição permitida é a de sulfato de cálcio durante a moagem.

2. Objetivo da Prática

Esta prática tem como objetivo especificar o cimento Portland utilizado na cimentação de poços petrolíferos, designado por CPP - classe G de alta resistência a sulfato (ARS) e CPP – classe Especial, de moderada resistência a sulfato (MRS), realizando os seguintes ensaios: **Água livre e Tempo de Espessamento**.

3. Materiais e Métodos

3.1 Preparação das pastas para ensaio

Aparelhagem:

- Balança capaz de determinar a massa das amostras de cimento e de água a serem ensaiadas, com resolução de 0,05 % da carga indicada.

- Misturador de palhetas dotado de:

a) copo de material, constituído por um material resistente, não-corrosivo e inerte aos componentes da pasta.

b) motor elétrico capaz de operar a (66 ± 3) rps ((4000 ± 200) rpm) e a (200 ± 8) rps ((12000 ± 500) rpm) através de dispositivo regulador de velocidade;

c) temporizador para processamento e agitação da mistura nos tempos especificados;

d) tacômetro, para indicar a velocidade de rotação do motor durante a operação, com resolução de $\pm 1,7$ rps (± 100 rpm).

e) palhetas de agitação constituídas de material metálico, não corrosivo e inerte aos componentes das pastas.

Materiais:

- Água destilada e Cimento Portland Classe Especial ou Classe G.

Procedimento:

- Pesar, no recipiente (Becker de plástico), a quantidade de cimento de acordo com a Tabela 1;
- Pesar a água de mistura diretamente no copo do misturador. A quantidade de água está descrito na Tabela 1;

Tabela 1 – Quantidade de componentes para preparo da pasta

Componentes	CPP – classe G	CPP - classe Especial
Água	349 ± 0,5	355 ± 0,5
Cimento	792 ± 0,5	772 ± 0,5

- Ligar o misturador na velocidade baixa e lançar neste a amostra de cimento com auxílio do funil e espátula, em 15 s, durante os quais a velocidade deve ser mantida dentro da faixa de (66 ± 3) rps ((4000 ± 200) rpm).

- Após toda a amostra ter sido adicionada à água, tampar o copo do misturador e continuar a agitação em velocidade alta, isto é, (200 ± 8) rps ((12000 ± 500) rpm) durante 35 s, desligando em seguida o misturador.

3.2 Homogeneização das pastas para ensaio

Após a preparação da pasta no misturador de palhetas descrito em 3.1, esta deve ser rapidamente vertida para a célula até o nível apropriado, indicado por meio de um sulco ao redor da parte interna da célula. A palheta deve, então, ser inserida e a tampa colocada na posição adequada, encaixando-se o pino localizado no eixo de torque da tampa na ranhura do eixo da palheta. O conjunto deve ser, então, colocado no banho de modo que os pinos de acionamento que fixam a tampa à célula se encaixem também no cilindro de acionamento. Em seguida, dar partida ao motor.

O intervalo de tempo entre a preparação da pasta no misturador de palhetas e a partida do consistômetro não deve ultrapassar 1 min. Ao término da operação, deve-se homogeneizar a pasta por 5 s com auxílio de uma espátula.

Na homogeneização de pastas para o ensaio a 27°C, a temperatura do banho deve ser mantida a (27 ± 1)°C durante 20 min. Para o ensaio a 52°C, a temperatura inicial deve ser de (27 ± 1)°C e a final, de (52 ± 1)°C, mantendo-se o incremento de temperatura de 1,25°C por minuto, durante 20 min.

3.3 Determinação do conteúdo de água livre

Aparelhagem:

- Frasco Erlenmeyer de 500 mL;
- Placa de aço de 200 mm x 300 mm x 6,4 mm;

- Espuma de poliuretano;
- Pipeta ou seringa;
- Proveta graduada de 50 mL com precisão de 1 mL.

Procedimento:

- A pasta de cimento deve ser preparada e homogeneizada conforme item 3.1 e 3.2. Durante todo período de homogeneização (20 min ± 30 s) a temperatura do banho deve ser mantida em (27 ± 1)°C.
- Transferir a massa de pasta de 760 g ± 5 g para o erlenmeyer, em um período de tempo máximo de 1min. Registrar o valor desta massa.
- O erlenmeyer deve ser vedado com filme plástico e assentado sobre a placa metálica suportada por espuma de poliuretano e colocada em local isento de vibrações.
- A água sobrenadante desenvolvida no erlenmeyer, após um período de 2 h ± 5 min, deve ser removida por meio de uma seringa ou pipeta e transferido para a proveta. Registrar o volume obtido.

- Resultado

Calcular o percentual de água livre conforme expressão abaixo:

$$\%AL = \frac{Val \times \rho}{mp} \times 100$$

Onde:

- $\%AL$ = Teor de água livre da pasta expresso em percentual volumétrico.
- Val = Volume de fluido sobrenadante coletado, em mL.
- ρ = Densidade da pasta, g/cm³, adotar para as pastas preparadas com o cimento CPP- classe G e cimento CPP – classe Especial como 1,90 g/cm³.
- mp = Massa inicial da pasta expressa em gramas.

3.4 Determinação do tempo de espessamento

Aparelhagem:

- Consistômetro Pressurizado;

Procedimento:

3.4.1 Montagem da célula

A montagem da célula deve ser realizada conforme (a) a (g):

- a) Passar graxa em todas as partes roscáveis das peças que compõem a célula. No caso de utilização de diafragma sanfonado, passar graxa no interior da peça de bronze do diafragma.
- b) Posicionar o cilindro na vertical sobre o suporte de montagem, de forma que a extremidade que contém um ressalto em seu interior fique voltada para cima.
- c) Colocar o conjunto eixo e palheta que estão fixos por um pino, no interior do cilindro.
- d) Instalar o colar do diafragma (anel metálico), de forma que este fique apoiado no ressalto do cilindro.
- e) Apoiar o diafragma no anel metálico. No caso de diafragma sanfonado, o centro de bronze deve ficar com o lado de maior diâmetro voltado para cima.
- f) Colocar o suporte do diafragma sobre o diafragma e fixá-lo com a trava do suporte, enroscando-o manualmente. Instalar, no eixo da palheta, o apoio para o potenciômetro (composto de barra e disco de posicionamento e alfinete). Ajustar a altura do apoio, utilizando o potenciômetro.
- g) Inverter a célula de forma que o fundo desta fique voltado para cima, colocá-la no suporte de montagem encaixando a trava do suporte nos pinos da célula e dar o aperto final.

3.4.2 Enchimento da célula:

- A pasta de cimento, preparada de acordo com a item 3.1, deve ser imediatamente vertida na célula. Durante a operação de enchimento, realizada de acordo com (a) a (g), a pasta restante no copo do misturador deve ser agitada ligeiramente para impedir sua segregação.
- Com a célula invertida, verter a pasta até o enchimento da célula.
- Girar o eixo manualmente e golpear o lado externo com soquete durante 1 min, simultaneamente ao giro.
- Roscar manualmente a tampa de fundo, certificando-se que a pasta transborde pelo orifício central, o que indicará que não há ar retido na célula. Caso contrário, introduzir um volume adicional de pasta através do orifício por meio de um funil até o transbordo.
- Roscar o plugue no orifício central, vedando este orifício.
- Encaixar a chave de três furos nos pinos da tampa de fundo da célula e dar o aperto final.
- Antes de inverter a célula, limpá-la de todo o resquício de pasta que tenha vazado.
- Inverter a célula, colocando o eixo para cima.

3.4.3 Colocação da célula início do teste:

Colocação da célula deve ser realizada conforme (a).

- (a) Com a alça de sustentação, levar a célula para a câmara de pressão do consistômetro, encaixar os pinos da tampa de fundo da célula na mesa rotativa e retirar a alça.
- (b) Ligar a chave geral ('MASTER') e depois a chave motor. Utilizando a alça de sustentação, encaixar o potenciômetro no eixo da célula, conectando os contatos do potenciômetro com os contatos da câmara. Verificar o perfeito ajuste e funcionamento do potenciômetro.
- (c) Fechar a câmara e instalar o termopar através do orifício central da tampa da câmara. Não apertar totalmente o plugue do termopar, para permitir o preenchimento completo da câmara.
- (d) Caso o consistômetro seja de dupla câmara, isolar o sistema de ar e óleo da câmara adjacente.
- (e) Encher a câmara com óleo, até que este comece a vaziar pelo plugue do termopar.
- (f) Dar o aperto final no plugue do termopar.
- (g) Efetuar as operações de aquecimento, pressurização, registro gráfico e marcação do tempo, conforme instruções do fabricante.
- (h) Toda a operação, desde o enchimento da célula até o início do aquecimento, deve ser feita em no máximo 5 min.

3.4.4 Controle de temperatura e pressão:

- Durante o período de ensaio, a temperatura da pasta de cimento, determinada com um termopar posicionado no centro da célula, e a pressão do recipiente devem ser aumentadas de acordo com a Tabela 2.

- Quando a temperatura inicial da pasta for maior que 27°C (80°F), deve-se aplicar a pressão correspondente a esta temperatura, de acordo com a Tabela 5. Somente iniciar o aquecimento após decorrido o tempo previsto para atingir a temperatura da pasta.

- A temperatura e a pressão finais devem ser mantidas constantes até o final do ensaio, com tolerância de $\pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3^{\circ}\text{F}$) e $\pm 700\text{ kPa}$ ($\pm 100\text{ psi}$), respectivamente.

3.4.5 Resultados:

- O tempo decorrido entre a aplicação inicial da pressão e temperatura e a ocorrência de uma consistência de 100 U_c deve ser reportado como tempo de espessamento.

- Caso o tempo de espessamento do primeiro ensaio se encontre entre 95 min e 115 min, este é considerado o tempo de espessamento da amostra e nenhum ensaio adicional é necessário.

- Caso o tempo de espessamento do primeiro ensaio não se encontre entre 95 min e 115 min, são permitidas, no máximo, duas repetições.

- Caso a diferença entre o tempo de espessamento do primeiro ensaio e o do segundo seja inferior a 10 min, o tempo de espessamento da amostra é a média aritmética entre os dois ensaios, não sendo necessário outro ensaio.

- Caso a diferença entre o tempo de espessamento do primeiro ensaio e o do segundo seja superior a 10 min, um terceiro ensaio deve ser realizado. Determinar a média aritmética entre os três resultados; aquele resultado que mais se afastar desta média deve ser desconsiderado. Uma nova média entre os dois resultados restantes deve ser determinada e considerada como o tempo de espessamento da amostra.

- Juntamente com o resultado do tempo de espessamento, devem ser fornecidos os valores das unidades de consistência (Uc) correspondentes ao início, a 25%, 50% e 75% do tempo de espessamento e ainda a consistência máxima no período de 15 min a 30 min.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
INSTITUTO DE QUÍMICA-IQ
NÚCLEO TECNOLÓGICO EM CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Disciplina: QUI 0059 – Fund. de Perf. e Cimentação de Poços de Petróleo

Prof.: Julio Freitas

AULA PRÁTICA II- ESPECIFICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND DESTINADOS À CIMENTAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS (Resistência à Compressão e Determinação das Propriedades Reológicas).

1. Introdução e objetivo da prática

Os cimentos Portland destinados à poços de petróleo deve possuir resistência suficiente para suportar os esforços atuantes durante a etapa de perfuração dos poços petrolíferos, uma vez que sua principal função é promover a estabilidade mecânica do poço. A NBR 9831 determina que os cimentos Classe G e Classe Especial deve possuir uma resistência mínima de 300 psi, quando curados em temperatura de 38 °C e 1500 psi quando curados em temperatura de 60 °C.

Esta prática tem como objetivo especificar o cimento Portland utilizado na cimentação de poços petrolíferos, designado por CPP - classe G de alta resistência a sulfato (ARS) e CPP – classe Especial, de moderada resistência a sulfato (MRS), realizando os seguintes ensaios: **Resistência à compressão e determinação das propriedades reológicas**

1.1 Materiais e métodos

1.1.1 Moldes

- Os moldes para os corpos-de-prova devem ser cúbicos e de 50,8 mm de aresta. O ângulo entre as faces adjacentes deve ser de $(90 \pm 0,5)^\circ$.

- Os moldes devem ser constituídos de um metal duro e não atacável pelo cimento, e ter as faces laterais suficientemente rígidas para evitar sua deformação.

- As faces interiores dos moldes devem ser superfícies planas; admite-se variação das paredes dos moldes, em relação aos planos das faces correspondentes, de 0,025 mm, para os moldes novos, e de 0,050 mm, para os moldes usados.

- As distâncias entre as faces opostas devem ser de $(50,8 \pm 0,13)$ mm para os moldes novos, e $(50,8 \pm 0,50)$ mm para os moldes usados.

1.1.2 Banho termo regulado

- Deve ser empregado banho termo regulado com dimensões que permitam a imersão completa em água dos moldes de resistência à compressão, nas temperaturas prescritas para o ensaio (38°C ou 60°C , ambas com tolerância de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$).

- O banho deve ter agitador ou sistema de circulação para assegurar temperatura uniforme.

1.1.3 Tanque de água para resfriamento (banho de resfriamento)

Deve ser empregado tanque de água para resfriamento que permita resfriar o corpo-de-prova da temperatura de cura até $(27 \pm 2,5)^{\circ}\text{C}$ e tenha dimensões que permitam a submersão completa deste em água.

1.1.4 Bastão

O bastão deve ser de vidro ou material não reagente com o cimento, de 200 mm de comprimento, de seção circular de 6 mm de diâmetro e com extremidades planas.

1.1.5 Máquina de ensaio de compressão

A máquina de ensaio de compressão deve ser aferida pelo menos a cada 5000 aplicações de carga ou uma vez por ano. Deve atender às especificações da NBRNM-ISO7500-1: 2004, não sendo permitida a utilização de prensas classes 2 e 3. O ensaio de ruptura deve ser realizado no intervalo entre 10% e 90% da capacidade da prensa, na escala em utilização.

1.1.6 Paquímetro

O paquímetro deve ser aferido com resolução de 0,1 mm.

1.2 Execução do ensaio

1.2.1 Preparação dos moldes

Os moldes devem ser preparados da seguinte maneira:

- a) as faces internas das formas e as superfícies de contato das placas devem receber uma camada fina de graxa;

- b) as superfícies de contato entre as duas metades da forma devem ser também revestidas com graxa de modo a deixar a junta impermeável quando a forma for fechada;

- c) o excesso de graxa deve ser removido das faces internas dos moldes fechados, especialmente dos cantos;

- d) os moldes devem ser colocados sobre placa dotada de fina camada de graxa;

- e) é necessário que seja aplicada graxa à linha de contato externo entre a forma e a placa de base.

1.2.2 Preparo e colocação da pasta

A pasta de cimento deve ser preparada de acordo com a aula prática I, e vertida para todos os moldes, com auxílio de bastão, em duas camadas de alturas aproximadamente iguais. Imediatamente após verter cada camada no molde, agitar a pasta de cimento, com auxílio do bastão, por meio de movimentos circulares uniformes, abrangendo toda a área de cada corpo-de-prova, até a eliminação das bolhas de ar, em um tempo máximo de 45 s por camada.

- A pasta a ser utilizada para a segunda camada deve ser agitada, no próprio recipiente do misturador, manualmente com auxílio da espátula, para evitar segregação. Verter a pasta de cimento completando totalmente o molde.

- Proceder ao transbordamento do molde, com excesso de pasta. Em seguida, o molde deve ser coberto com a placa de cobertura engraxada, de modo a remover o excesso de pasta.

Nota: Quando for necessário, usar uma tira elástica em volta do molde para assegurar a estanqueidade deste.

- Para cada determinação de resistência à compressão, deve ser empregado um número de corpos-de-prova não inferior a três.

- Os corpos-de-prova dos moldes que mostrarem sinais de vazamento devem ser descartados.

1.2.3 Cura à pressão atmosférica

- Os corpos-de-prova devem ser imersos em um banho de água mantido à temperatura de cura, imediatamente após serem moldados e cobertos.

- Um período de cura de 8 h deve ser observado, desde a colocação do corpo-de-prova no banho até a sua ruptura.

- Os corpos-de-prova devem ser desmoldados e removidos para o banho de resfriamento 45 min antes da ruptura, permanecendo neste durante, no mínimo, 35 min.

1.2.4 Medição dos corpos-de-prova

Retirar os corpos-de-prova do banho de resfriamento enxugá-los com papel absorvente e medir com paquímetro as dimensões da menor seção transversal perpendicular à direção de aplicação da carga (a carga não deve ser aplicada na face de moldagem). Não ultrapassar 5 min nesta operação.

1.2.5 Ensaio de ruptura

- Os corpos-de-prova devem ser rompidos imediatamente após a sua remoção do banho de resfriamento, por aplicação de carga a uma das faces perpendiculares à de moldagem.

- Para corpos-de-prova que apresentam resistência à compressão abaixo de 3,45 MPa (500 psi), deve-se aplicar a carga de compressão a uma taxa de 6,9 MPa/min (1000 psi/min) com tolerância de $\pm 10\%$, ou seja, $\pm 0,7$ MPa/min (100 psi/min). Para corpos-de-prova com resistências maiores, deve-se aplicar a taxa de 27,6 MPa/min (4000 psi/min), com tolerância de $\pm 10\%$, ou seja, $\pm 2,76$ MPa/min (400 psi/min).

1.2.6 Resultados

1.2.6.1 Resistência à compressão individual

- A resistência à compressão de cada corpo-de-prova deve ser calculada dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal, calculada de acordo com o item 1.2.4. O resultado deve ser expresso em megapascal e arredondado até a primeira casa decimal. Repetir o ensaio quando um dos corpos-de-prova apresentar sinais de que não está em perfeitas condições.

- Se a área medida da seção reta de um corpo-de-prova variar mais do que 3,0 % da área nominal, deve-se usar a área medida para o cálculo da resistência à compressão; caso contrário, deve-se usar a área nominal de 2580,6 mm².

Notas: a) Conversão conforme o Sistema Internacional de Unidades:

- para converter lbf/in² para MPa, multiplicar por 6,894757E - 03;

- para converter kgf/cm² para MPa, multiplicar por 9,806650E - 02.

1.2.6.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão (R_c) deve ser calculada como a média aritmética das resistências individuais (R_{c_i}) dos três corpos-de-prova de um mesmo ensaio. O ensaio deve ser repetido quando um dos corpos-de-prova apresentar desvio relativo máximo superior a 10%.

Nota: O desvio relativo máximo ($DR_{Máx}$) é calculado dividindo-se o valor absoluto da diferença entre a resistência à compressão e a resistência à compressão individual que mais se afasta desta média pela

resistência à compressão, multiplicando-se este quociente por 100. A porcentagem obtida deve ser arredondada ao décimo mais próximo.

$$DR_{Máx} (\%) = \frac{\max |Rc - Rc_i|}{Rc} \cdot 100$$

2 - Determinação das propriedades reológicas

2.1 Aparelhagem

2.1.1 Viscosímetro de cilindros coaxiais

Deve ser utilizado um viscosímetro rotativo de leitura direta, para determinação das propriedades reológicas.

2.1.1.1 Um motor acoplado ao viscosímetro deve submeter o rotor a seis velocidades rotacionais: 10rps, 5rps, 3,3rps, 1,7rps, 0,10rps e 0,05 rps (600rpm, 300rpm, 200rpm, 100rpm, 6rpm, 3rpm). Esta aparelhagem deve obedecer às seguintes especificações:

a) rotor:

- diâmetro interno (36,83 ± 0,05) mm;

- comprimento útil (58,40 ± 0,05) mm.

Nota: Duas fileiras de furos de 3,18 mm de diâmetro, espaçadas com intervalos de 120 graus, devem ser feitas no rotor, imediatamente abaixo da linha que delimita o comprimento útil deste.

b) cilindro:

- diâmetro (34,49 ± 0,05) mm;
- comprimento (38,00 ± 0,05) mm.

c) mola:

- fator 1;
- constante, K_S 386 dinas.cm/grau.

Quando da utilização deste equipamento para o conjunto rotor, cilindro e mola especificados, o cálculo da taxa e da tensão de cisalhamento é efetuado pelas seguintes equações:

$$\gamma \text{ (s}^{-1}\text{)} = 1,7023 \times \Omega \text{ (rpm)}$$

$$\tau = F_\tau \times F_{\text{mola}} \times \theta$$

Onde:

γ = taxa de cisalhamento em s^{-1} .

Ω = rotação do rotor em rpm.

τ = tensão de cisalhamento em Pa (ou lbf/100 pés²).

F_τ = fator da tensão de cisalhamento do viscosímetro para uma dada combinação rotor-cilindro, 0,511 (Pa) ou 1,067 (lbf/100 pés²);

F_{mola} = coeficiente da mola de torção do instrumento.

θ = leitura do viscosímetro em graus.

Assumindo os dados acima:

$$\tau \text{ (Pa)} = 0,511 \times \theta \text{ ou } \tau \text{ (lbf/100 pés}^2\text{)} = 1,067 \times \theta$$

2.1.2 Cronômetro

Deve ser utilizado um cronômetro com resolução de 1 s.

2.1.3 Copo térmico

Deve ser utilizado um copo térmico que disponha de um sistema que permita manter a temperatura constante ao longo de todo o ensaio.

2.1.4 Termômetro

Deve ser utilizado um termômetro metálico com resolução de 1°C.

2.2 Execução do ensaio

- Misturar e homogeneizar a pasta de acordo com a aula prática I.
- Verter a pasta no interior do copo térmico previamente aquecido.
- Com o rotor ligado a 5 rps (300 rpm), levantar o copo pré-aquecido, contendo a pasta, até que o nível do líquido coincida com a linha indicada no rotor. Esta etapa deve ser realizada o mais rapidamente possível em, no máximo, 1 min.
- Com o rotor ligado a 5 rps (300 rpm), levantar o copo pré-aquecido, contendo a pasta, até que o nível do líquido coincida com a linha indicada no rotor. Esta etapa deve ser realizada o mais rapidamente possível em, no máximo, 1 min.
- Imediatamente após, iniciam-se as leituras em ordem decrescente.
- A leitura inicial, correspondente a 5 rps (300 rpm), deve ser feita após 60 s de rotação contínua.
- Registra-se as leituras do mostrador em folhas de dados a 5 rps, 3,3 rps e 1,7 rps (300 rpm, 200 rpm e 100 rpm). A velocidade do rotor deve ser reduzida a intervalos de 20 s. Cada leitura do mostrador deve ser feita imediatamente antes de cada redução de velocidade.
- Após a leitura a 1,7 rps (100 rpm), aumentar a velocidade do rotor para 10 rps (600 rpm), mantendo-a por 60 s. Desligar o motor por 10 s, no fim dos quais o motor é novamente ligado a 0,05 rps (3 rpm). Registrar a deflexão máxima observada.

- Desligar, mais uma vez, o motor por 10 min, no fim dos quais o motor é religado a 0,05 rps (3 rpm). Registrar a deflexão máxima observada.

2.3 Resultados

2.3.1 Os parâmetros reológicos devem ser definidos utilizando-se o modelo matemático de Bingham que possui a seguinte expressão:

$$S = S_0 + \eta * \gamma$$

Onde:

S = tensão atuante na parede do cilindro, em Pa

S_0 = limite de escoamento (L.E.), em Pa

η = viscosidade plástica (V.P.), em Pa.s

γ = taxa de cisalhamento, em s⁻¹

2.3.2 Para simplificação dos cálculos das taxas de cisalhamento sofridas pela pasta, considerar que as mesmas se comportam como um fluido newtoniano no espaço entre o rotor e o cilindro. Face a esta aproximação, as taxas de cisalhamento conseqüentes das rotações de 5 rps, 3,3 rps e 1,7 rps (300 rpm, 200 rpm e 100 rpm) assumem os valores de 511 s⁻¹, 340 s⁻¹ e 170 s⁻¹, respectivamente.

2.3.3 De posse das leituras (tensões de cisalhamento), multiplicadas por 0,511, correspondentes às velocidades de 5 rps, 3,3 rps e 1,7 rps (300 rpm, 200 rpm e 100 rpm) e das taxas de cisalhamento definidas em 2.3.2, aplicar o método de regressão linear, registrando, na folha de resultados, o índice de correlação, o limite de escoamento e a viscosidade plástica; estes últimos valores devem ser expressos em Pa e Pa.s, respectivamente.

2.3.4 Para se obterem os valores de gel inicial e gel final, em Pa, multiplicar as leituras obtidas conforme 2.2, respectivamente, por 0,511.

Nota: No caso de se desejar converter os valores de gel inicial, gel final e limite de escoamento, expresso em Pa para unidades do sistema inglês expresso em lbf/100 pés², multiplicar os valores por 2,089. Para converter a viscosidade plástica expressa em Pa.s para unidades expressa em cP, multiplicar a leitura por 1000.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
INSTITUTO DE QUÍMICA-IQ
NÚCLEO TECNOLÓGICO EM CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Disciplina: QUI 0059 – Fund. de Perf. e Cimentação de Poços de Petróleo

Prof.: Julio Freitas

AULA PRÁTICA III- Reologia PROCELAB/API

1. Introdução/definição: Reologia

Os parâmetros reológicos de uma pasta de cimento podem ser determinados através de um viscosímetro rotativo. Esse equipamento é movido por um motor com ou sem uma engrenagem de redução de velocidade. O cilindro externo ou rotor é impulsionado a uma velocidade rotacional constante (em rpm (s^{-1})). A rotação do rotor na pasta de cimento produz um torque no cilindro interno (bob). Uma mola restringe o movimento do bob e um ponteiro conectado à mola de torção indica o deslocamento angular do bob. Os principais parâmetros obtidos a partir deste instrumento, de acordo com o modelo adotado, são: (a) Modelo de Bingham: viscosidade plástica (VP) e limite de escoamento (LE); (b) Modelo de Potência: índice de comportamento de fluxo (n) e índice de consistência (K). Determinar também o gel inicial (Gi) e gel final (Gf). Tais parâmetros são utilizados para a determinação do regime de escoamento e previsão das pressões geradas durante as operações de cimentação.

TENSÃO DE CISALHAMENTO (τ): é a tensão gerada pela resistência ao escoamento de um fluido relativo a um dado gradiente de velocidade;

- TAXA DE DEFORMAÇÃO ($\dot{\gamma}$): expressa a variação de velocidades da pasta no espaço compreendido entre o rotor e o bob do viscosímetro.

- MODELO DE BINGHAM: o modelo assume uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. É caracterizado por dois parâmetros: limite de escoamento e viscosidade plástica. Neste modelo, a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação é dada por:

$$\tau = LE + VP\dot{\gamma}$$

- LIMITE DE ESCOAMENTO (LE): é a tensão mínima a ser aplicada a fim de que o fluido entre em movimento. Matematicamente, é o coeficiente linear da reta do modelo de Bingham;

- VISCOSIDADE PLÁSTICA (VP): é a constante de proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para tensões superiores ao limite de escoamento. Matematicamente, é o coeficiente angular da reta do modelo de Bingham;

REOLOGIA

- **MODELO DE POTÊNCIA:** o modelo assume uma relação linear entre o logaritmo da tensão de cisalhamento e o logaritmo da taxa de deformação. É caracterizado por dois parâmetros: índice de consistência (k) e índice de comportamento (n),

$$\tau = k\dot{\gamma}^n$$

$$\log\tau = \log k + n\log\dot{\gamma}$$

- **ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (k):** é a resistência que o fluido oferece ao escoamento como consequência primeira do atrito entre as lâminas que constituem a massa fluida;
- **ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (n):** expressa o afastamento do reograma (τ versus $\dot{\gamma}$) do fluido em relação a um fluido newtoniano ($n=1$). Os fluidos com índice de comportamento menor que 1 são ditos pseudoplásticos, enquanto os que apresentam valores maiores do que 1 são chamados dilatantes;
- **GEL INICIAL (Gi):** é um indicativo da dificuldade que um fluido apresenta para reiniciar o movimento após parada de dez segundos;
- **GEL FINAL (Gf):** é um indicativo da dificuldade que um fluido apresenta para reiniciar o movimento após parada de dez minutos.

Os aditivos químicos utilizados para reduzir os parâmetros reológicos de pastas de cimento são denominados dispersantes. O mecanismo de atuação destes aditivos consiste na adsorção do dispersante nas partículas de cimento, impedindo sua floculação e dispersando o sistema. Esta dispersão está relacionada com as forças de repulsão geradas entre as moléculas do aditivo adsorvidas nas partículas de cimento, cuja origem pode ser eletrostática e/ou através de repulsão estérea, dependendo da composição do aditivo. A adição de dispersantes pode produzir efeitos secundários indesejáveis tais como: aumento da água livre e da decantação dos sólidos, tornando a pasta menos estável, bem como influenciando no tempo de pega da mesma.

2. Objetivo da Prática

Determinar as propriedades e parâmetros reológicos das pastas de cimento utilizando um viscosímetro rotativo, de acordo com o modelo adotado: (a) Modelo de Bingham: viscosidade plástica (VP) e limite de escoamento (LE); (b) Modelo de Potência: índice de comportamento de fluxo (n) e índice de consistência (K). Determinar também o gel inicial (Gi) e gel final (Gf).

3. Materiais e Métodos

- Cronômetro ou timer elétrico;
- Termômetro ou termopar com precisão de ± 2 °F (± 1 °C);
- Viscosímetro Rotativo;

4. Preparação das pastas para ensaio

Este procedimento é recomendado para a faixa de temperatura de 80°F (27°C) a 180°F (82°C). O aparelho (bob, rotor e copo) deve estar limpo, seco e pré-aquecido na temperatura de teste antes do início da utilização do aparelho.

- Preparar a pasta de cimento conforme item 3.1 referente a aula prática I “Preparo de pasta”;
- Homogeneizar a pasta conforme item 3.2 referente a aula prática I “Homogeneização”;
- Verter imediatamente a pasta de cimento no copo do viscosímetro até a linha de marcação. O copo, bob e rotor do viscosímetro devem ser mantidos na temperatura de teste dentro da faixa de ± 5 °F (± 2 °C) durante o ensaio, usando um copo de aquecimento de dimensão suficiente de forma a garantir um bom controle de temperatura. Realizar, esta operação em, no máximo, um minuto;
- Instalar o copo na base do viscosímetro, certificando-se que os pinos do copo encaixam-se nos orifícios da base;
- Ligar o aparelho a 3 rpm ou na mais baixa rotação;
- Levantar o copo pré-aquecido até que o nível do líquido esteja alinhado com a linha de marcação do rotor;
- Registrar a temperatura da pasta no copo do viscosímetro antes da primeira leitura;
- Após 10 segundos de rotação a 3 rpm, efetuar a leitura inicial. Efetuar todas as leituras restantes após 10 segundos na velocidade de teste em ordem crescente de rotação até o limite de 300 rpm. Concluir as leituras após 10 segundos na velocidade de teste em ordem decrescente de rotação até o limite de 3 rpm. A mudança para a próxima velocidade deve ser feita imediatamente após a tomada de cada leitura.
- Após estas leituras, registrar temperatura da pasta no copo do viscosímetro;
- Realizar acondicionamento da pasta por 1 minuto a 300 rpm para determinação dos géis da pasta de cimento;
- Desligar o viscosímetro por 10 segundos e ajustá-lo para uma rotação de 3 rpm (velocidade de 5,1 s⁻¹);
- Registrar a deflexão máxima observada imediatamente após o início da rotação do aparelho. Usar esta leitura para calcular o gel após 10 segundos.
- Registrar o valor como gel inicial;
- Desligar o viscosímetro por 10 minutos e medir a temperatura da pasta. Registrar o valor como temperatura final de teste;
- Iniciar rotação e registrar a deflexão máxima observada imediatamente após o início da rotação do aparelho. Usar esta leitura para calcular o gel após 10 minutos. Registrar o valor como gel final.

5. Resultados

5.1 Cálculo da razão entre as leituras

Calcular a razão entre as leituras ascendentes e descendentes para cada velocidade. A razão pode ser usada para ajudar a qualificar determinadas propriedades da pasta:

- Quando a razão para todas as velocidades é aproximadamente 1: indica que a pasta não apresenta sedimentação e que a mesma possui propriedades reológicas independentes do tempo, na temperatura média de teste.
- Quando a maioria dos valores da razão é superior a 1: indica sedimentação da pasta na temperatura média de teste. Outra indicação de sedimentação da pasta é a obtenção de diferenças de leituras, ascendentes menos descendentes, para a mesma rotação, superiores a + 5 com coeficiente de mola igual a 1.
- Quando a maioria dos valores da razão é inferior a 1: indica geleificação da pasta na temperatura média de teste.

NOTA: As diferenças significativas nas leituras indicam que a pasta de cimento é instável, isto é, situa-se entre a sedimentação extrema e a geleificação excessiva. Neste caso, ajustes na composição da pasta devem ser considerados.

- Utilizar a média das leituras $[(\text{ascendente} + \text{descendente})/2]$ para cada rotação para o cálculo dos parâmetros reológicos. Registrar a temperatura de teste como a média das temperaturas registradas.

5.2 Cálculo dos parâmetros reológicos

Aplicar o método de regressão linear utilizando a média das leituras para as velocidades superiores a 6 rpm;

- Para o modelo de Bingham, determinar o coeficiente linear A e o coeficiente angular B da equação. Se os valores de tensão de cisalhamento estiverem expressos em lbf/100 pés² e os da taxa de deformação em s⁻¹, os parâmetros reológicos, viscosidade plástica - VP e limite de escoamento – LE, em unidades de campo podem ser calculados pelas equações abaixo:

$$VP \text{ (cP)} = 478,8 \times B \text{ unidades de campo}$$

$$LE \text{ (lbf/100 pés}^2\text{)} = A \text{ unidades de campo}$$

Se os valores de tensão de cisalhamento estiverem expressos em Pa e os da taxa de deformação em s⁻¹, os parâmetros reológicos, viscosidade plástica - VP e limite de escoamento – LE, em unidades SI podem ser calculados pelas equações a seguir:

$$VP \text{ (Pa.s)} = B \text{ unidades SI (M1.12)}$$

$$LE \text{ (Pa)} = A \text{ unidades SI (M1.13)}$$

Para o modelo de Potência, determinar o coeficiente linear A e o coeficiente angular B da equação M1.3 (escala logarítmica). Independente do sistema de unidades adotado, o índice de comportamento é igual a inclinação B, isto é, $n = B$. Entretanto, se os valores de tensão de cisalhamento estiverem expressos em Pa e os da taxa de deformação em s⁻¹, o índice de consistência k em unidades de campo (lbf sn/pés²) é dado pela equação:

$$k \text{ (lbf sn/pés}^2\text{)} = 0,01 \times 10A \text{ unidades de campo}$$

Se os valores de tensão de cisalhamento estiverem expressos em Pa e os da taxa de deformação em s^{-1} , o índice de consistência k em unidades SI (Pa sn) é dado pela equação.

k (Pa sn) = 10A unidades SI

- Escolher o modelo mais apropriado. O modelo cujo índice de correlação (r) mais se aproximar de 1 será o escolhido. Entretanto, se a diferença entre os índices de correlação dos dois modelos for menor do que 0,05, adotar o modelo da lei de potência.

NOTA: Para aplicação do método de regressão linear, são necessárias, pelo menos, três leituras de deflexões da mola até 300 rpm. Em casos específicos, por exemplo, pastas altamente viscosas, utilizar leituras de 6 e 3 rpm ou alterar a combinação rotor-bob ou ainda mudar a mola para outra com fator diferente, de modo a poder aplicar o método de regressão linear.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
INSTITUTO DE QUÍMICA-IQ
NÚCLEO TECNOLÓGICO EM CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Disciplina: QUI 0059 – Fund. de Perf. e Cimentação de Poços de Petróleo

AULA PRÁTICA IV- Teste de Filtrado

1. Introdução/definição: Controle de filtrado em pastas de cimento

Os aditivos controladores de filtrado são essenciais para a prevenção da perda de água da pasta de cimento para uma formação permeável e porosa, devido ao peso exercido pela coluna hidrostática. Esses aditivos diminuem a velocidade de filtração pela redução da permeabilidade do reboco e/ou pelo aumento da viscosidade da fase aquosa. A perda do filtrado acarreta na desidratação prematura da pasta, que pode causar dano à formação rochosa e falha na operação de cimentação.

2. Objetivo da Prática

Determinar a perda da fase líquida, em condição estática, a partir do volume de pasta de cimento contido num filtro-prensa API, através de um elemento filtrante, submetido a um diferencial de pressão de 1000 psi e na temperatura requerida para o teste, durante período de tempo máximo de trinta minutos.

Tal informação possibilita estimar a suscetibilidade da pasta de cimento em perder parte de sua fase aquosa para a formação.

3. Materiais e Métodos

3.1 Preparação das pastas para ensaio

Aparelhagem:

- Filtro Prensa BTAP, baixa temperatura e alta pressão, dotado de jaqueta de aquecimento e termômetro.
- Fonte de pressão: a pressão será fornecida por nitrogênio ou outra fonte segura e inerte, capaz de manter uma pressão constante de 1000 psi;
- Proveta graduada;
- Cronômetro com precisão de um segundo;
- Termômetro;

Materiais:

- Água destilada, Cimento Portland Classe Especial ou Classe G e aditivos químicos.

Procedimento:

- Preparar e homogeneizar a pasta de cimento conforme AULA PRÁTICA I;
- Pré-aquecer a célula do Filtro-Prensa o mais rápido possível que a jaqueta aquecedora permitir, até atingir a temperatura de teste;
- Montar a célula do Filtro-Prensa conforme instruções do fabricante;
- Com a válvula de entrada de nitrogênio fechada, verter a pasta de cimento no interior da célula;
- Colocar a peneira e os “o-rings” na célula e posicioná-la de modo que a face de 325 mesh da peneira fique voltada para dentro da célula;
- Fechar a célula imediatamente, segundo as instruções do fabricante;
- Fechar a válvula de saída do filtrado;
- Acoplar a mangueira de pressão na válvula posicionada no topo da célula do Filtro- Prensa junto com a trava de segurança;
- Abrir a fonte de Nitrogênio e aplicar uma pressão de 1000 psi e mantê-la durante os trinta minutos de teste;
- Posicionar a proveta graduada de forma a coletar o filtrado;
- Abrir as válvulas situadas respectivamente no topo e no fundo da célula;
- Coletar o filtrado e registrar a leitura do volume de filtrado em 30 minutos. OBS: “Se ocorrer a desidratação da pasta antes dos 30 minutos (somente nitrogênio sai da válvula de fundo da célula), registrar o período de tempo e considerar o teste encerrado”;
- No final do teste, fechar a fonte de pressão e a válvula de entrada do nitrogênio no topo da célula. Despressurizar a mangueira acoplada ao filtro por meio da válvula de alívio. Desconectar a mangueira da célula;
- Remover a célula da jaqueta aquecedora e levá-la para resfriar em água corrente. A pressão no interior da célula é aliviada com a abertura da válvula de entrada de nitrogênio somente após o resfriamento da mesma. Jamais alivie a pressão com as válvulas voltadas para si mesmo;

3.4.5 Resultados:

- Para os testes de filtração que atinjam o período de tempo final de trinta minutos, a perda de fluido é calculada multiplicando-se por 2 o volume de fluido coletado durante o teste. Para os testes que apresentem uma desidratação de pasta em um período de tempo inferior a 30 minutos, extrapolar o volume de filtrado para um tempo igual a 30 minutos mediante a equação:

$$Q_{30} = \frac{2xQ_{tx}5,477}{\sqrt{t}}$$

Onde:

Q_{30} □ Perda de fluido estipulado a um tempo de 30 minutos, em centímetros cúbicos;

Qt □ Volume de fluido coletado até o momento “t” da desidratação, em centímetros cúbicos;

“t” □ Tempo em que ocorreu a desidratação (final do teste), em minutos.

- O resultado deve ser expresso em centímetros cúbicos e deve-se mencionar o tempo final do teste.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
INSTITUTO DE QUÍMICA-IQ
NÚCLEO TECNOLÓGICO EM CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Disciplina: QUI 0059 – Fund. de Perf. e Cimentação de Poços de Petróleo

AULA PRÁTICA V- Influência dos aditivos antiespumante, dispersante e controlador de filtrado.

Roteiro de Aula

Objetivo da aula: Observar a influência dos aditivos químicos antiespumante, dispersante e controlador de filtrado nas propriedades da pasta de cimento

Orientações: Dividir a turma em dois grupos, G1 e G2, respectivamente.

Parte 1 (P1): Influência dos aditivos antiespumante e controlador de filtrado

Objetivo: Observar a influência dos aditivos na formação de bolhas como efeito secundário, demonstrar a ação do aditivo antiespumante e, em seguida, mostrar qualitativamente o efeito positivo e negativo do dispersante em pequenas e grandes concentrações.

Procedimento:

- Preparar duas pastas de acordo com a AULA PRÁTICA I – item 3.1 - uma contendo controlador de filtrado e outra sem a presença deste aditivo, conforme tabela abaixo.

Componente	Pasta A	Pasta B
Cimento	769,28 g	767,04 g
Água potável	346,06 g	350,62 g
Antiespumante	1,00 g *	1,00 g
Dispersante	2,90 g	2,89
Controlador de filtrado	2,31 g	

* O antiespumante da pasta A deve ser adicionado após sua mistura. Compare as Pastas A e B antes de adicionar o aditivo antiespumante.

- Compare as pastas A e B e explique o fenômeno ocorrido.
- Após observar as diferenças entre as pastas, leve-as ao processo de homogeneização no consistômetro atmosférico de acordo com a AULA PRÁTICA I – item 3.2.

Parte 2 (P2): Influência do aditivo dispersante

- Durante os 20 minutos de homogeneização, os alunos deverão preparar mais duas pastas (Pasta C e Pasta D), contendo somente água e cimento, de acordo com a tabela abaixo:

Componente	Pasta C	Pasta D
Cimento	767,27 g	767,27 g
Água potável	354,28 g	354,28 g

- Adicionar, com o auxílio de uma pipeta de pasteur, 2,0 mL do dispersante Glenium na Pasta C e misturar no modo variável do MIXER (1000 rpm).
- Compare as pastas C e D e explique o fenômeno ocorrido.
- Após a mistura colocar as pastas C e D para homogeneizar por 20 min e na sequência realizar o teste de reologia (Aula Prática III). Colocar as sobras das pastas C e D em uma proveta de 250 mL. Observar sinais de decantação após 10 minutos de repouso.
- Comparar o perfil visual da proveta de cada pasta e registrar suas observações.

Parte 3 (P3): Manuseio e procedimentos de operação do filtro prensa FAN 387

Objetivo: Aprender como montar e desmontar a célula do filtro prensa FAN 387, e identificar possíveis falhas do ensaio. Observar o comportamento e a diferença visual entre uma pasta com controle de filtrado e outra sem controle de filtrado.

- O professor explica o procedimento de operação dando ênfase a todos os detalhes de segurança e manuseio do equipamento.
- Todos os procedimentos, como descritos em AULA PRÁTICA IV – item 3.1, deverão ser simulados com a válvula de controle geral de gás fechada.
- Após a orientação do professor, cada aluno deverá praticar os procedimentos de montagem, desmontagem e operação do equipamento.
- Dois funcionários do laboratório receberão as pastas A e B provenientes da Parte 1 (P1) e realizarão o ensaio de filtração estática de cada pasta para a observação do grupo.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
INSTITUTO DE QUÍMICA-IQ
NÚCLEO TECNOLÓGICO EM CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO**

AULA PRÁTICA VI- Eficiência de colchões

1. Introdução/definição: Colchões

Colchão Lavador é o fluido deslocado à frente da pasta de cimento durante a operação de cimentação de poços com a função de remover o fluido de perfuração e melhorar a aderência cimento-formação e cimento-revestimento.

Colchão Espaçador: é o fluido, geralmente viscoso e de peso específico programável, cujo objetivo é formar uma barreira entre a pasta de cimento e o fluido de perfuração, além de auxiliar na remoção do fluido de perfuração e melhorar a aderência cimento-formação e cimento-revestimento.

Obs.: Estes fluidos deverão atender aos seguintes requisitos:

- a) Valor de pH deve ser superior a 5, visto que tais fluidos normalmente ficam entre dois revestimento sem conter inibidor de corrosão, o que terminaria corroendo e furando o revestimento.
- b) Deve está classificado como não inflamável, de acordo com o seu ponto de fulgor.

2. Objetivo da Prática

Verificar a eficiência de colchões através da determinação do tempo de remoção de um filme de fluido de perfuração à base de água ou de óleo num substrato.

3. Materiais e Métodos

3.1 Aparelhagem e Equipamentos

- Balança digital com dispositivo de tara e precisão de 0,01g;
- Consistômetro atmosférico;
- Equipamento de perda de fluido com dispositivo de agitação;
- Equipamento de perda de fluido estática;
- Misturador Hamilton Beach, modelo 936, com respectivo copo ou similar;
- Béquer de 250 ml, de diâmetro de 7 cm;
- Proveta de 5 ml e de 250 ml;
- Cronômetro com precisão de um segundo;
- Viscosímetro rotativo com combinação bob-rotor R1-B1.

3.2 Procedimento

- Observar todas as exigências de segurança de laboratório apropriadas e procedimentos para trabalhos com fluidos sob pressão e temperatura. Observar o ponto de ignição de todos os fluidos antes da realização dos testes, garantindo uma ventilação adequada da área de trabalho. Manusear com cuidado os líquidos inflamáveis.
- Preparar um volume de até 500 mL para cada teste do colchão a ser testado segundo as especificações e recomendações do fornecedor;
- Se a temperatura de circulação for igual ou inferior 88°C (190°F), condicionar o colchão no consistômetro atmosférico até a temperatura de teste de acordo com a taxa de aquecimento do teste de consistometria, a seguir manter nas condições finais por 20 minutos.
- Se a temperatura for superior a 88°C (190°F), utilizar célula do filtro-prensa ou equipamento de perda de fluido com dispositivo de agitação sob pressão de 500 psi, aquecendo desde a temperatura ambiente até a temperatura de teste de acordo com a taxa de aquecimento do teste de consistometria. Manter as condições finais por 20 minutos. Após condicionamento, resfriar até 190°F. Verificar sinais de decantação e a seguir homogeneizar com espátula;
- Lavar previamente o béquer com detergente. Rinsar o béquer com álcool ou acetona e secar em estufa;
- Delimitar no béquer de 250 ml uma janela de visualização correspondente a uma área de 6 cm de altura por 11 cm de comprimento, afastada do fundo de 1 cm conforme apresentado na figura M12.1. Subdividir a janela de visualização em quadrados de 1 cm de lado de forma a mensurar a eficiência de remoção do colchão;

- Utilizar uma amostra representativa do campo com um volume mínimo de 400 mL de fluido de perfuração, homogeneizando-a por um período de 20 minutos em um Misturador Hamilton Beach (velocidade 2) ou qualquer equipamento que proporcione cisalhamento a alta velocidade. Este procedimento é adotado para assegurar que a amostra esteja homogênea, com os sólidos em suspensão. No caso de fluido recém preparado, proceder à rolagem térmica e submetê-la ao cisalhamento, conforme recomendado pelo fornecedor, ou em conformidade com a Norma ISO 10414-1 ou ISO 10414-2 (API RP 13B-1 ou API 13B-2).
- Se temperatura de circulação for igual ou inferior 88°C (190°F), condicionar o fluido de perfuração no consistômetro atmosférico até a temperatura de teste de acordo com a taxa de aquecimento do teste de consistometria, a seguir manter nas condições finais por 20 minutos,. Caso a temperatura seja superior a 88°C (190°F), aquecer durante 50 minutos desde a temperatura ambiente até 88°C (190°F) e manter nestas condições por 20 minutos.

NOTA 1: No caso de fluidos não-aquosos, o valor da estabilidade elétrica (EE) mínima para que o fluido seja considerado estável deve estar de acordo com o descrito no procedimento de ensaio da PETROBRAS. Se a estabilidade elétrica for inferior ao especificado, uma nova amostra deve ser solicitada.

NOTA 2: Quando não houver a disponibilidade de amostra representativa do campo, prepará-la em laboratório. As amostras assim preparadas requerem um condicionamento especial realizado através de envelhecimento estático ou rolagem a quente para simular as propriedades do fluido do campo. De qualquer forma, a amostra preparada em laboratório não é representativa daquela obtida no campo, visto que ela não contém os sólidos perfurados e nem os prováveis fluidos provenientes da formação.

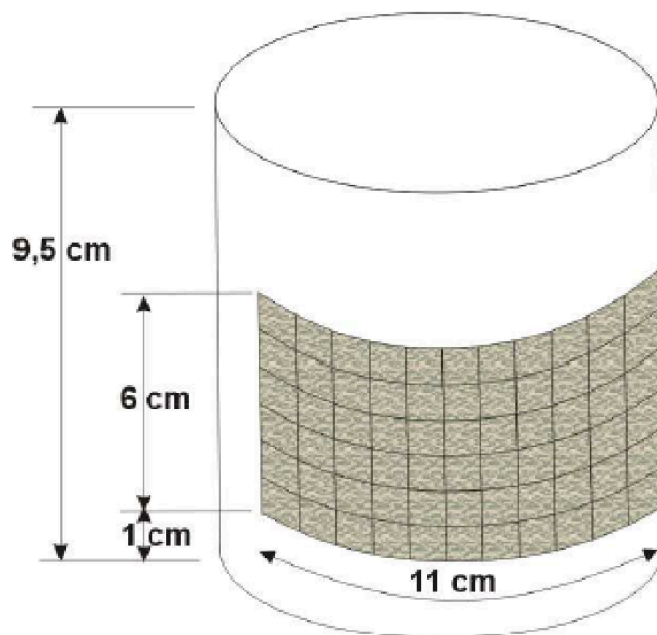
- Verter imediatamente 4 mL do fluido de perfuração para o béquer, previamente limpo, rolando-o sobre a bancada de modo a formar um filme uniforme de reboco em toda sua superfície;
- Inverter o béquer para a retirada do excesso de fluido de perfuração, removendo-o da borda do béquer. Esta operação deve ser realizada em, no máximo, 2 minutos;
- Verter cuidadosamente 200 mL do colchão, direcionando o fluido para o lado oposto da janela de visualização para manter íntegro o filme nela formado;
- Posicionar o béquer na plataforma do viscosímetro rotativo de forma centralizada em relação ao rotor do aparelho;
- Levantar o béquer de forma que a base da janela de visualização esteja alinhada com a base do rotor;
- Acionar o viscosímetro a 300 rpm, disparando ao mesmo tempo o cronômetro;
- Registrar a quantidade de quadrados limpos em 2, 5, 7 e 10 minutos de ensaio.
- Finalizar o teste assim que a remoção total do filme dentro da janela de visualização for obtida, registrar o tempo e temperatura do colchão nesse momento. O tempo do teste está limitado a 10 minutos.
- Calcular o percentual da área limpa em relação à área total da janela de visualização e anotar esse valor como a eficiência do colchão. Cada quadrado representa 1,5% da área total.

4. Resultados

Identificar o fluido de perfuração com os seguintes dados:

- Nome comercial,
- Base (aquosa ou não aquosa),
- Razão água / óleo,
- Procedência,
- Estabilidade elétrica,
- Teor de sólidos,
- Densidade,
- Reologia (medida no laboratório de cimentação, conforme procedimento para pasta de cimento).

Registrar o percentual de remoção do fluido de perfuração pelo colchão em função do tempo dentro da janela de visualização.



CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

Considera-se que o colchão é eficiente quando em 5 minutos a remoção for no mínimo de 70% e em 10 minutos a remoção for total.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
INSTITUTO DE QUÍMICA-IQ
NÚCLEO TECNOLÓGICO EM CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO**

AULA PRÁTICA VII – Compatibilidade reológica de fluidos em operações de cimentação

1. Introdução/definição

Compatibilidade: dois ou mais fluidos, quando misturados em quaisquer proporções, são ditos compatíveis quando não apresentam reações químicas e / ou físicas indesejáveis tais como viscosificação, floculação, sedimentação de sólidos, flotação de sólidos, separação de fases e quando não causam efeitos adversos sobre o tempo de espessamento ou desenvolvimento da resistência à compressão do cimento na operação de cimentação.

Colchão Lavador: fluido normalmente aquoso contendo tensoativos ou não, geralmente isento de sólidos, podendo conter aditivo controlador de filtrado. É usado com o objetivo de remover o fluido de perfuração e o reboco por ele formado, a fim de melhorar a aderência cimento-formação e cimento-revestimento.

Colchão Espaçador: fluido aquoso de reologia e peso específico programáveis, usado com o objetivo de separar a pasta de cimento do fluido de perfuração, a fim de evitar a contaminação da pasta. Poderá ter as mesmas funções do colchão lavador.

Fluido não-aquoso: é o fluido cuja fase contínua é imiscível com a água, tendo como base materiais oleaginosos (óleo diesel, óleo mineral modificado, óleo parafínico, e outros materiais sintéticos como olefinas e ésteres).

NOTA: Os procedimentos de teste a seguir são o mesmo para colchões lavadores ou espaçadores, entretanto o termo colchão será usado daqui para frente para se referir a ambos os fluidos.

2. Objetivo da Prática

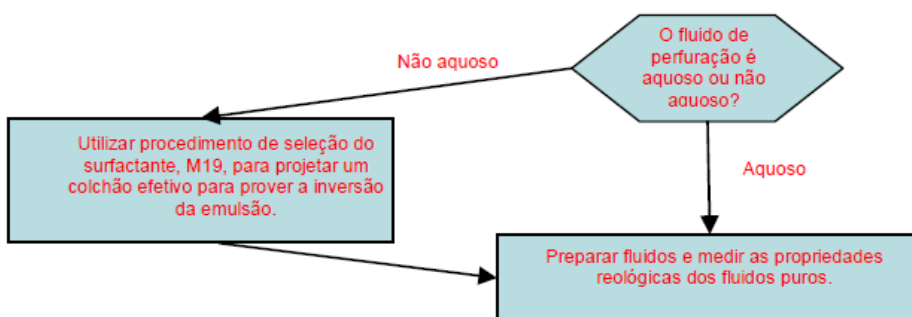
Determinar o grau de compatibilidade de fluidos utilizados nas operações de cimentação. Este procedimento inclui a determinação das propriedades reológicas, força-gel, tempo de espessamento, resistência à compressão, sólidos em suspensão. Este procedimento auxilia na seleção de colchões lavadores e/ou espaçadores mais adequados à operação. Outros fatores tais como, centralização do revestimento, geometria do poço e regime de fluxo dos fluidos devem ser considerados com critério no processo de deslocamento dos fluidos a fim de minimizar a possibilidade de canalização dos fluidos no anular revestimento-formação.

3. Materiais e Métodos

3.1 Aparelhagem e Equipamentos

- Balança digital com dispositivo de tara e precisão de 0,01g;
- Consistômetro atmosférico;
- Equipamento de perda de fluido com dispositivo de agitação;
- Equipamento de perda de fluido estática;
- Misturador Hamilton Beach, modelo 936, com respectivo copo ou similar;
- Proveta de 250 ml;
- Cronômetro com precisão de um segundo;
- Viscosímetro rotativo com combinação bob-rotor R1-B1.
- Banho termo-regulado com circulação e de dimensões necessárias para a submersão do béquer até o nível de fluido;
- Béquer de 1000 ml;
- Termômetro com precisão de 2 oF (1 oC);
- Medidor de pH;
- Espátula.

3.2 Fluxograma com a sequência dos testes



3.3 Preparação do colchão

- Preparar um volume de até 500 ml para cada teste do colchão a ser testado segundo as especificações e recomendações do fornecedor;
- Medir o pH, caso seja inferior a 5, descontinuar o ensaio;
- Condicionar o colchão no consistômetro atmosférico até a temperatura de teste de acordo com a taxa de aquecimento do teste de consistometria, a seguir manter nas condições finais por 20 minutos, se a temperatura de circulação for igual ou inferior 88°C (190°F). Se a temperatura for superior a 88°C (190°F), utilizar célula do filtro prensa ou equipamento de perda de fluido com dispositivo de agitação sob pressão de 500 psi, aquecendo desde a temperatura ambiente até a temperatura de teste de acordo com a taxa de aquecimento do teste de consistometria. Manter as condições finais por 20 minutos. Após condicionamento, resfriar até 190°F. Verificar sinais de decantação e a seguir homogeneizar com espátula.

3.4 Preparação do fluido de perfuração

- Utilizar uma amostra representativa do campo com um volume mínimo de 400 mL de fluido de perfuração, homogeneizando-a por um período de 20 minutos em um Misturador Hamilton Beach (velocidade 2) ou qualquer equipamento que proporcione cisalhamento a alta velocidade. Este procedimento é adotado para assegurar que a amostra esteja homogênea, com os sólidos em suspensão. No caso de fluido recém preparado, proceder à rolagem térmica e submetê-la ao cisalhamento, conforme recomendado pelo fornecedor, ou em conformidade com a Norma ISO 10414-1 ou ISO 10414-2 (API RP 13B-1 ou API 13B-2).
- Condicionar o fluido de perfuração no consistômetro atmosférico até a temperatura de teste de acordo com a taxa de aquecimento do teste de consistometria, a seguir manter nas condições finais por 20 minutos, se temperatura de circulação for igual ou inferior 88°C (190°F). Caso a temperatura seja superior a 88°C (190°F), aquecer durante 50 minutos desde a temperatura ambiente até 88°C (190°F) e manter nestas condições por 20 minutos.

NOTA 1: No caso de fluidos não-aquosos, o valor da estabilidade elétrica (EE) mínima para que o fluido seja considerado estável deve estar de acordo com o descrito no procedimento de ensaio da PETROBRAS. Se a estabilidade elétrica for inferior ao especificado, uma nova amostra deve ser solicitada.

NOTA 2: Quando não houver a disponibilidade de amostra representativa do campo, prepará-la em laboratório. As amostras assim preparadas requerem um condicionamento especial realizado através de envelhecimento estático ou rolagem a quente para simular as propriedades do fluido do campo. De qualquer forma, a amostra preparada em laboratório não é representativa daquela obtida no campo, visto que ela não contém os sólidos perfurados e nem os prováveis fluidos provenientes da formação.

3.5 Preparação da pasta de cimento

- Preparar a pasta de cimento conforme item 3.1 referente a aula prática I “Preparo de pasta”;
- Homogeneizar a pasta conforme item 3.2 referente a aula prática I “Homogeneização”;

3.6 Preparação das misturas

As misturas preparadas para este procedimento podem ser usadas para teste de reologia, tempo de espessamento, resistência à compressão, força-gel estática e sólidos em suspensão. Todas as misturas neste procedimento estão expressas em porcentagem do volume total de mistura. Cada mistura deve ser preparada na proporção adequada e agitada com espátula ou bastão de vidro para agitar suavemente um dos fluidos de teste em um béquer ou copo plástico enquanto o outro fluido está sendo adicionado até a mistura se tornar homogênea. O componente de menor volume deve ser adicionado ao de maior volume. Observar qualquer sinal de incompatibilidade da mistura durante e após o seu preparo. Os sinais de incompatibilidade podem ser observados durante a adição do componente de menor volume, podendo ou não desaparecer ao final da mistura. Registrar o percentual de mistura caso ocorra sinais de

incompatibilidade. Continuar agitando até que a mistura esteja homogênea. O volume de mistura deve ser suficiente para efetuar todos os testes desejados.

NOTA: Os testes devem ser realizados na temperatura ambiente e/ou na temperatura de circulação. Devido a considerações de segurança, a temperatura máxima de ensaio deve ser limitada a 88°C (190°F) quando se utiliza procedimentos na pressão atmosférica.

No.	RAZÃO FLUIDO DE PERFURAÇÃO OU PASTA/COLCHÃO (Percentual Volumétrico)	ESQUEMA DE MISTURA
1	95/5	380 ml fluido de perfuração ou cimento / 20 ml colchão
2	75/25	300 ml da mistura No. 1 e 80 ml de colchão
3	5/95	20 ml fluido de perfuração ou cimento / 380 ml colchão
4	25/75	80 ml fluido de perfuração ou cimento mais 300 ml da mistura No. 3
5	50/50	Partes Iguais (200 ml) da mistura No. 2 e mistura No. 4
6	25/50/25 fluido de perfuração/colchão/cimento	Partes Iguais da mistura No. 5 fluido de perfuração/colchão e mistura No.5 cimento/colchão

3.7 Compatibilidade reológica

- Determinar as propriedades reológicas dos fluidos puros antes do preparo das misturas, quais sejam: fluido de perfuração, pasta de cimento e colchões de acordo com a AULA PRÁTICA III – Reologia PROCELAB;
- Cada mistura homogeneizada com espátula deve ser transferida para o copo do viscosímetro pré-aquecido na temperatura de teste e a seguir devem ser efetuadas as leituras de acordo com o procedimento descrito no item 4 da AULA PRÁTICA III;
- Determinar as propriedades reológicas das misturas Fluido de Perfuração/Colchão e Pasta de Cimento/Colchão de acordo com o procedimento descrito no item 4 da AULA PRÁTICA III;

NOTA: A critério do usuário as propriedades reológicas das misturas de Pasta de Cimento/Fluido de Perfuração podem ser determinadas;

- Determinar as propriedades reológicas de acordo com o item 4 da AULA PRÁTICA III das combinações de misturas de 95/5, 75/25, 50/50, 25/75 e 5/95;
- Determinar as propriedades reológicas de acordo com o item 4 da AULA PRÁTICA III das combinações de misturas Pasta de Cimento / Fluido nas proporções 90/10, 85/15, 80/20 e 70/30, além das mencionadas anteriormente, para os casos de fluidos não aquosos, fluidos aquosos com alto teor polimérico de alto desempenho, fluidos aquosos com peso específico acima de 12 lb/gal e soluções salinas e para operações com temperatura de circulação acima de 122°C (250°F);
- Determinar as propriedades reológicas de acordo com o item 4 da AULA PRÁTICA III da mistura ternária fluido/colchão/pasta de cimento na proporção 25/50/25;

4. Resultados

Os resultados devem ser registrados no formato sugerido pelas tabelas abaixo

Tabela M 11.2 — Compatibilidade reológica da fluido de perfuração, pasta e colchão

Pasta: _____
 Colchão: _____
 Fluido de Perfuração: _____
 Configuração Rotor/Bob/Mola : _____

A - Compatibilidade Reológica entre Fluido de Perfuração e Colchão

Mistura	Temperatura	Leituras (rpm)							VP	LE
	°C	300	200	100	60	30	6	3	cP	lbf/100 pé ²
100 % fluido de perfuração										
95 % fluido de perfuração / 5 % colchão										
75 % fluido de perfuração / 25 % colchão										
50 % fluido de perfuração / 50 % colchão										
25 % fluido de perfuração / 75 % colchão										
5 % fluido de perfuração / 95 % colchão										
100 % colchão										

B - Compatibilidade Reológica entre Pasta de Cimento e Colchão

Mistura	Temperatura	Leituras (rpm)							VP	LE
	°C	300	200	100	60	30	6	3	cP	lbf/100 pé ²
100 % colchão										
95 % colchão / 5 % cimento										
75 % colchão / 25 % cimento										
50 % colchão / 50 % cimento										
25 % colchão / 75 % cimento										
5 % colchão / 95 % cimento										
100 % cimento										

C - Compatibilidade Reológica entre Pasta de Cimento e Fluido de Perfuração

Mistura	Temperatura	Leituras (rpm)							VP	LE
	°C	300	200	100	60	30	6	3	cP	lbf/100 pé ²
100 % Fluido de Perfuração										
95 % fluido de perfuração / 5 % cimento										
75 % fluido de perfuração / 25 % cimento										
50 % fluido de perfuração / 50 % cimento										
25 % fluido de perfuração / 75 % cimento										
5 % fluido de perfuração / 95 % cimento										
100 % cimento										

D - Compatibilidade Reológica entre Pasta de Cimento, Fluido de Perfuração e Colchão.

Mistura	Temperatura	Leituras (rpm)							VP	LE
	°C	300	200	100	60	30	6	3	cP	lbf/100 pé ²
25 % fluido de perfuração / 50 % colchão / 25 % cimento										

CRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE REOLÓGICA

Considera-se que os fluidos são compatíveis quando todas as leituras das misturas se situam entre as leituras dos fluidos puros.

NOTA 1: O espaçador deve ser compatível com o fluido de perfuração e com a pasta de cimento.

NOTA 2: A pasta de cimento geralmente é incompatível com o fluido de perfuração não aquoso.

BIBLIOGRAFIA

- API. API SPEC 10A:; *Specifications for cements and materials for well cementing*, 2000(a).
- NELSON, E.B., *Well cementing*, Saint-Etienne: Schlumberger Educational Services, 1990.

