



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112018004068-1 B1

(22) Data do Depósito: 26/08/2016

(45) Data de Concessão: 06/02/2024

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA MONITORAR PROPRIEDADES DE CIMENTO

(51) Int.Cl.: E21B 33/14; E21B 21/08; E21B 47/06; G01N 11/08.

(30) Prioridade Unionista: 28/08/2015 GB 1515365.3.

(73) Titular(es): EQUINOR ENERGY AS.

(72) Inventor(es): ÅSMUND HJULSTAD; JAN OVE BREVIK.

(86) Pedido PCT: PCT NO2016050176 de 26/08/2016

(87) Publicação PCT: WO 2017/039455 de 09/03/2017

(85) Data do Início da Fase Nacional: 28/02/2018

(57) Resumo: MEDIÇÃO DE PROPRIEDADES DE CIMENTO. Um método de medir a viscosidade de pasta de cimento utilizada para uma cimentação primária de um poço de petróleo ou gás (12) compreende: bombear a pasta de cimento ao longo de um conduto (16) para uma localização de cimentação (20); medir uma primeira perda de pressão ao longo de uma primeira porção horizontal (28) do conduto (16) e uma segunda perda de pressão ao longo de uma segunda porção vertical (30) do conduto (16); e calcular uma viscosidade da pasta de cimento com base, pelo menos em parte, nas primeira e segunda perdas de pressão e uma vazão da pasta de cimento.

“MÉTODO E SISTEMA PARA MONITORAR PROPRIEDADES DE CIMENTO”

[0001] A presente invenção é relativa à medição de propriedades de cimento ao cimentar um revestimento de poço e, em particular, à medição automatizada de viscosidade de cimento sem o uso de equipamento de laboratório.

[0002] Em um processo normal de perfuração, um furo é perfurado no terreno usando uma cabeça de perfuração anexada a uma coluna oca de perfuração. Fluido de perfuração, tipicamente uma lama especial referida como lama de perfuração, é bombeado para baixo da coluna de perfuração e usado para resfriar e lubrificar a broca de perfuração, transportar os fragmentos de rocha de volta à superfície e manter uma pressão adequada no furo para estabilizar paredes do furo. Uma vez que o furo se estenda após o aquífero de água doce mais profundo (tipicamente de 100 a 300 metros), a coluna de perfuração e a cabeça de perfuração são removidas e substituídas por uma tubulação, chamada de revestimento.

[0003] Em seguida, pasta de cimento é bombeada para o revestimento e, então, lama de perfuração é bombeada por trás da pasta de cimento para forçar a pasta de cimento para baixo através do interior do revestimento, para fora através de uma sapata de revestimento no fundo do revestimento, e para cima para dentro do anel entre o revestimento e a parede do furo. Uma vez que ela é forçada para dentro do anel, a pasta de cimento empurra a lama de perfuração para fora do anel e preenche esse espaço, onde ela se deposita. Este cimento fornece uma ligação que fixa o revestimento no lugar e evita que quaisquer fluidos se movam entre o revestimento e o furo. Este processo de cimentação é referido como "cimentação primária".

[0004] São geralmente necessárias várias seções de revestimento para atingir a profundidade desejada do poço, e a natureza dos revestimentos utilizados irá depender da geologia da área e da profundidade do poço. Revestimentos típicos utilizados em poços de petróleo ou gás incluem: um revestimento condutor; um revestimento de superfície; um ou mais revestimentos intermediários; e um revestimento de produção.

[0005] Para instalar cada revestimento subsequente, uma cabeça de perfuração menor é abaixada através do revestimento anterior e um furo mais estreito é perfurado

através do cimento no fundo do revestimento e para o interior do terreno abaixo. Como acima, uma vez que o furo se estenda até a profundidade desejada, a coluna de perfuração e a cabeça de perfuração são removidas e substituídas pelo próximo estágio de revestimento, que é então cimentado pelo mesmo processo.

[0006] Para garantir cimentação correta, medições manuais das propriedades de um lote de teste de cimento são feitas em um laboratório antes da operação de cimentação primária. A viscosidade é uma propriedade importante uma vez que uma pasta de cimento com uma viscosidade muito alta não pode ser bombeada de forma adequada para baixo no revestimento e para cima dentro do anel, mas um cimento com uma viscosidade muito baixa pode se misturar de forma indesejável com os fluidos na frente ou atrás da pasta de cimento quando é bombeada para baixo do revestimento.

[0007] Durante os testes de laboratório, pequenas amostras são misturadas a uma receita que será usada na operação de cimentação, e então testadas. No entanto, durante a própria operação de cimentação, muitas vezes não há possibilidade de medir essas propriedades uma vez que o cimento geralmente é bombeado diretamente para a operação relevante após a produção.

[0008] Em algumas operações, uma ou mais amostras podem ser tomadas após misturar a pasta de cimento e antes que a pasta tenha sido bombeada para dentro do poço. No entanto, estas medições podem não ser representativas da mistura devido à variação através do volume da mistura de cimento (por exemplo, devido à mistura incompleta) ou devido a mudanças das propriedades do cimento ao longo do tempo (como, por exemplo, devido à cura do cimento).

[0009] Pelo menos as modalidades preferidas da presente invenção procuram resolver esses problemas.

[0010] A presente invenção fornece um método de monitorar uma ou mais propriedades de uma pasta de cimento durante a cimentação de um poço de petróleo ou gás, o método compreendendo: direcionar a pasta de cimento ao longo de um conduto para uma localização de cimentação; medir uma primeira perda de pressão ao longo de uma primeira porção do conduto; e calcular uma viscosidade da pasta de

cimento com base, pelo menos em parte, na primeira perda de pressão.

[0011] Este método permite o monitoramento automatizado da viscosidade da pasta de cimento após a mistura final ter sido misturada, porém antes de atingir a operação de cimentação, e sem a necessidade de amostras serem testadas em um laboratório. Além disso, o valor monitorado é menos suscetível a imprecisões devido a mudanças com o tempo, uma vez que a viscosidade é medida apenas pouco antes do fornecimento para a operação de cimentação, ou através do volume da pasta de cimento, uma vez que toda a pasta de cimento que passa através do conduto é analisada.

[0012] Embora o método possa ser aplicado a qualquer operação de cimentação de poço, ele é particularmente aplicável às operações de cimentação primária. Cimentação primária é definida como a cimentação necessária para construir e perfurar um poço. Outras operações de cimentação de poço poderiam, por exemplo, incluir o abandono de um poço ou as reparações à cimentação existente no poço.

[0013] O cálculo pode ainda se basear, pelo menos em parte, em uma vazão da pasta de cimento ao longo do conduto. Por exemplo, a pasta de cimento pode ser bombeada ao longo do conduto, por exemplo, usando uma bomba. Os dados de vazão da bomba podem ser usados para o cálculo.

[0014] O método pode ainda compreender: determinar, com base no valor de viscosidade calculado, o valor que seria fornecido por um viscosímetro de rotação, e de preferência um viscosímetro de rotação de cilindro coaxial testando a pasta de cimento. Em várias modalidades, o viscosímetro simulado pode ser um viscosímetro Couette, tal como um viscosímetro FANN® 35.

[0015] Muitos padrões industriais são definidos em termos de medidas fornecidas por um viscosímetro de rotação de cilindro coaxial, em vez de uma viscosidade SI. Por conseguinte, converter a viscosidade medida em uma saída equivalente de um viscosímetro de rotação (isto é, um ângulo) facilita a comparação destas saídas com os padrões existentes.

[0016] Em uma modalidade, a primeira porção do conduto pode ser substancialmente horizontal. Esta configuração permite a análise de dados que é

independente da densidade da pasta de cimento e, assim, facilitar o cálculo da viscosidade da pasta usando apenas uma única medição de pressão (embora outras medições ainda possam ser usadas para refinar o cálculo).

[0017] Preferivelmente, a primeira porção do conduto está em um ângulo com a horizontal inferior a 5° , e de preferência inferior a 2° , e mais preferivelmente inferior a 1° .

[0018] O método preferivelmente compreende ainda: medir uma segunda perda de pressão ao longo de uma segunda porção do conduto, a primeira porção do conduto estando em um primeiro ângulo em relação à horizontal e a segunda porção do conduto estando em um segundo ângulo diferente em relação à horizontal, em que a viscosidade da pasta de cimento é calculada com base na primeira perda de pressão e na segunda perda de pressão.

[0019] A medição de uma segunda perda de pressão em um ângulo diferente permite que o sistema separe os efeitos da densidade daqueles da viscosidade, permitindo assim que a viscosidade seja calculada sem requerer entradas adicionais, embora dados adicionais de outras fontes possam novamente ainda ser usados para refinar o cálculo.

[0020] A segunda porção do conduto está preferencialmente em um ângulo de pelo menos 45° da horizontal e é de preferência substancialmente vertical. Em várias modalidades, a segunda porção do conduto está em um ângulo com a vertical inferior a 5° , e de preferência inferior a 2° , e mais preferivelmente inferior a 1° .

[0021] O método pode ainda compreender: calcular uma densidade da pasta de cimento com base na primeira perda de pressão e na segunda perda de pressão. O uso de duas perdas de pressão permite que os efeitos de densidade e de viscosidade sejam separados. A densidade da pasta de cimento pode ser outro fator útil para determinar propriedades anormais do cimento.

[0022] O método compreende de preferência: comparar o valor de viscosidade calculado com um valor de viscosidade predeterminado; e tomar uma ação quando uma diferença entre o valor de viscosidade calculado e o valor de viscosidade predeterminado exceder um limite.

[0023] De igual modo, o método pode compreender: comparar o valor de densidade calculado com um valor de densidade predeterminado; e tomar uma ação quando uma diferença entre o valor de densidade calculado e o valor de densidade predeterminado exceder um limite.

[0024] Isto é, se uma propriedade anormal ou inesperada do cimento é detectada, então pode ser tomada uma ação adequada. Por exemplo, a vazão da pasta de cimento pode ser diminuída para reduzir a taxa de cisalhamento da pasta de cimento. Em casos extremos, a ação pode ser parar a operação de cimentação. Para anomalias menores, a ação pode incluir registrar detalhes da anormalidade para análise posterior.

[0025] O método pode ainda compreender: mudar a vazão da pasta de cimento bombeada ao longo do conduto e determinar uma segunda viscosidade da pasta de cimento na nova vazão.

[0026] A viscosidade do cimento varia em relação à sua taxa de cisalhamento. Portanto, alterando a vazão do cimento através do conduto, é possível medir a viscosidade do cimento a diferentes taxas de cisalhamento. Isto proporciona informações adicionais para detectar propriedades anormais do cimento.

[0027] Em algumas modalidades, o método pode ainda compreender medir a temperatura da pasta de cimento, de preferência dentro do conduto. A viscosidade varia significativamente com a temperatura e, portanto, uma medição de viscosidade é de preferência acompanhada por uma medição de temperatura correspondente.

[0028] Em outras modalidades, o método pode compreender ainda: ajustar a viscosidade calculada com base na temperatura medida da pasta de cimento. Por exemplo, a viscosidade calculada pode ser ajustada para fornecer uma viscosidade equivalente para uma temperatura de referência diferente da temperatura medida.

[0029] Tipicamente, os vários padrões de cimento irão definir a viscosidade aceitável da pasta de cimento a uma temperatura de referência específica. Usando técnicas e pressupostos conhecidos quanto à variação da viscosidade com temperatura, é possível usar a temperatura medida para determinar qual seria a viscosidade equivalente da pasta de cimento na temperatura de referência, que pode

então ser comparada ao padrão relevante.

[0030] Vista de outro aspecto, a invenção também pode ser vista para fornecer um sistema configurado para executar o método descrito acima. A presente invenção, portanto, também proporciona um sistema para monitorar uma ou mais propriedades de uma pasta de cimento, o sistema compreendendo: uma fonte de pasta de cimento; um conduto que conecta a fonte de pasta de cimento a um local de cimentação; um primeiro sensor de pressão configurado para medir uma primeira perda de pressão ao longo de uma primeira porção do conduto; e um dispositivo de processamento configurado para calcular uma viscosidade da pasta de cimento com base, pelo menos em parte, na primeira perda de pressão.

[0031] O sistema pode compreender uma bomba configurada para bombear a pasta de cimento ao longo do conduto. O cálculo realizado pelo dispositivo de processamento pode ainda ser baseado, pelo menos em parte, em uma vazão da pasta de cimento ao longo do conduto. A bomba pode ser configurada para fornecer dados representativos da vazão da pasta de cimento para o dispositivo de processamento.

[0032] O sistema pode ser configurado para alterar uma vazão da pasta de cimento bombeada ao longo do conduto pela bomba; e o dispositivo de processamento pode ser configurado para determinar uma segunda viscosidade da pasta de cimento na nova vazão.

[0033] O dispositivo de processamento pode ainda ser configurado para determinar, com base no valor de viscosidade calculado, o valor que seria fornecido por um viscosímetro de rotação, e de preferência um viscosímetro de rotação de cilindro coaxial testando a pasta de cimento. Em várias modalidades, o viscosímetro simulado pode ser um viscosímetro Couette, tal como um viscosímetro FANN® 35.

[0034] A primeira porção do conduto pode ser substancialmente horizontal. De preferência, a primeira porção do conduto está em um ângulo com a horizontal inferior a 5°, e de preferência inferior a 2°, e mais preferencialmente inferior a 1°.

[0035] O sistema pode ainda compreender um segundo sensor de pressão configurado para medir uma segunda perda de pressão ao longo de uma segunda

porção do conduto, estando a primeira porção do conduto em um primeiro ângulo em relação à horizontal e a segunda porção do conduto em um segundo ângulo diferente em relação à horizontal, em que a viscosidade da pasta de cimento é calculada com base, pelo menos em parte, na primeira perda de pressão e na segunda perda de pressão.

[0036] A segunda porção do conduto está de preferência em um ângulo de pelo menos 45° a partir da horizontal e é de preferência substancialmente vertical. Em várias modalidades, a segunda porção do conduto está em ângulo com a vertical inferior a 5°, e de preferência inferior a 2°, e mais preferencialmente inferior a 1°.

[0037] O dispositivo de processamento pode ser configurado para calcular uma densidade da pasta de cimento com base na primeira perda de pressão e na segunda perda de pressão.

[0038] O dispositivo de processamento pode ser configurado para comparar o valor de viscosidade calculado com um valor de viscosidade predeterminado; e tomar uma ação quando uma diferença entre o valor de viscosidade calculado e o valor de viscosidade predeterminado exceder um limite.

[0039] De igual modo, o dispositivo de processamento pode ser configurado para comparar o valor de densidade calculado com um valor de densidade predeterminado; e tomar uma ação quando uma diferença entre o valor de densidade calculado e o valor de densidade predeterminado exceder um limite.

[0040] O sistema pode ainda compreender um sensor de temperatura configurado para medir a temperatura da pasta de cimento, de preferência enquanto está dentro do conduto. O processamento pode ser configurado para ajustar a viscosidade calculada com base na temperatura medida da pasta de cimento. Por exemplo, a viscosidade calculada pode ser ajustada para proporcionar uma viscosidade equivalente para uma temperatura de referência diferente da temperatura medida.

[0041] Certas modalidades preferidas da invenção serão agora descritas em maior detalhe, apenas a título de exemplo e com referência aos desenhos anexos, em que a única figura - Figura 1 - ilustra uma porção de um aparelho usado para uma operação de cimentação primária para um poço de petróleo ou gás.

[0042] Na Figura 1, é mostrado um aparelho 10 sendo usado para executar uma operação de cimentação primária para um revestimento 18 que foi posicionado dentro de um furo 20 de um poço de petróleo ou gás 12.

[0043] Uma pasta de cimento é preparada para uma receita pré-selecionada e armazenada como um suprimento de cimento 13. A partir do suprimento de cimento 13, a pasta de cimento é então fornecida para uma bomba 14. A bomba 14 bombeia a pasta de cimento ao longo de um conduto 16 que liga a bomba 14 ao revestimento 18. O diâmetro do conduto 16 será tipicamente igual ao diâmetro do revestimento 18, mas diâmetros maiores e menores podem ser usados.

[0044] Existem dispostos ao longo do conduto inúmeros sensores 22, 24, 26 para monitorar continuamente as propriedades da pasta de cimento durante a operação de cimentação primária. Nesta modalidade, os sensores incluem um primeiro sensor de pressão diferencial 22, um sensor de temperatura 24 e um segundo sensor de pressão diferencial 26.

[0045] O primeiro sensor de pressão diferencial 22 mede a perda de pressão ao longo de uma primeira porção 28 do conduto 16 e o segundo sensor de pressão diferencial 26 mede a perda de pressão ao longo de uma segunda porção 30 do conduto 16. O comprimento das porções 28, 30 pode variar, mas normalmente será entre 1 e 30 metros de comprimento.

[0046] Os ângulos, em relação à horizontal, das primeira e segunda porções 28, 30 podem estar em qualquer ponto entre 0 graus e 180 graus, mas deveriam estar pelo menos em ângulos diferentes um dos outro, e essas porções 28, 30 são, de preferência, substancialmente horizontais e substancialmente verticais, respectivamente. Na Figura 1, a primeira porção 28 está orientada em uma direção aproximadamente horizontal, enquanto que a segunda porção 30 está orientada em uma direção aproximadamente vertical.

[0047] Os dados de cada um dos sensores 22, 24, 26, bem como dados da bomba 14 são transmitidos para um dispositivo de processamento 32. Com base pelo menos nas medições de dois sensores de pressão diferencial 22, 26, o dispositivo de processamento 32 determina a densidade e viscosidade da pasta de cimento. Valores

medidos subordinados adicionais também podem incluir a velocidade do fluxo (determinada pela bomba 14 ou um medidor de fluxo) e a temperatura (determinada pelo sensor de temperatura 24).

[0048] Os dados podem ser analisados automaticamente e fornecer aviso imediato quando as propriedades do cimento se desviarem das propriedades esperadas. Isso pode indicar, por exemplo, que a pasta de cimento foi insuficientemente misturada ou misturada com a receita errada, ou que a pasta de cimento começou a curar. Uma decisão pode então ser tomada, de forma automática ou por um supervisor humano, para parar a operação de cimentação antes que a pasta de cimento anômala seja bombeada para o revestimento.

[0049] A pasta de cimento apresenta propriedades não-newtonianas, na medida em que sua viscosidade varia em relação à taxa de cisalhamento. Os vários padrões, portanto, definem propriedades aceitáveis em várias taxas de cisalhamento. Assim, embora o aparelho 10 possa ser operado de modo a analisar a viscosidade apenas a uma única taxa de cisalhamento (o que ainda proporcionaria uma verificação de segurança útil), o aparelho 10 poderia também ser operado para analisar a viscosidade em várias taxas de cisalhamento, isto é, a bomba 14 pode ser configurada para alterar a vazão da pasta de cimento para facilitar o exame da viscosidade em várias taxas de cisalhamento. Em um exemplo, a bomba 14 pode operar periodicamente a uma ou mais vazões diferentes para permitir que medições de viscosidade sejam feitas, antes de retornar a vazão para condições normais de operação.

[0050] Os aparelhos de teste de laboratório mais comumente utilizados para cimento são os viscosímetros de rotação de cilindro coaxial e, de fato, muitos padrões da indústria são definidos em termos de medições de viscosímetro de rotação de cilindro coaxial. O dispositivo de processamento 32 é, pelo menos em um modo de operação, portanto, adaptado para simular um viscosímetro de rotação de cilindro coaxial e para produzir medições de viscosidade em um formato correspondente às aquelas que teriam sido fornecidas por um teste equivalente da pasta de cimento usando um viscosímetro de rotação. Isso facilita a comparação da saída do dispositivo

de processamento 32 com os padrões respectivos.

[0051] Os viscosímetros de rotação de cilindro coaxial são amplamente classificados como sistemas "Couette" ou "Searle". O viscosímetro de rotação mais comum é o viscosímetro FANN® 35, que é um viscosímetro Couette de rolo cilíndrico coaxial. Em um sistema Couette, tal como o viscosímetro FANN® 35, para realizar um teste de viscosidade, uma amostra de fluido de teste é contida em um espaço anular formado entre dois cilindros. O cilindro externo, ou rotor, é girado a velocidades conhecidas através de engrenagem, e o arraste viscoso exercido pelo fluido gera um torque no cilindro interno, ou 'bob'.

[0052] O 'bob' é suportado por uma mola de torção e o torque gerado provoca uma deflexão rotacional do 'bob', que é medida e então relacionada às condições de teste e às constantes do instrumento. Dependendo do material sendo testado, várias combinações de rotor-'bob' e/ou molas de torção podem ser substituídas para estender a faixa de medição de torque, ou para aumentar a sensibilidade da medição de torque. Um sistema Searle funciona de forma semelhante, exceto que o 'bob' é girado em vez de o cilindro externo.

[0053] A viscosidade varia significativamente com a temperatura e, portanto, padrões de viscosidade de cimento são geralmente definidos a uma temperatura de referência específica. Na prática, no entanto, o cimento testado pelo método descrito acima raramente estará a essa temperatura de referência e, portanto, é necessário corrigir a temperatura antes da comparação com o padrão relevante.

[0054] O sensor de temperatura 24 está localizado ao longo do conduto 16 e está configurado para medir a temperatura da pasta de cimento dentro do conduto 16. Esta temperatura medida é fornecida ao dispositivo de processamento 32.

[0055] O dispositivo de processamento 32 é então configurado para corrigir a viscosidade calculada que é determinada com base nas perdas de pressão medidas pelos sensores de pressão diferencial 22, 26 para considerar a temperatura da pasta de cimento, ou seja, proporcionar uma viscosidade equivalente a uma temperatura de referência do padrão relevante. A viscosidade equivalente pode então ser facilmente comparada aos valores de viscosidade fornecidos no padrão.

[0056] A correção da viscosidade pode ser realizada pelo dispositivo de processamento 32 utilizando técnicas e pressupostos conhecidos em relação à variação da viscosidade com temperatura.

[0057] Nas modalidades acima, são utilizados dois sensores de pressão diferencial 22, 26. Embora seja preferida a utilização de dois sensores de pressão diferencial 22, 26, a viscosidade da pasta de cimento pode ser determinada usando apenas um único sensor de pressão diferencial. Por exemplo, usando o primeiro sensor de pressão diferencial 22 quando a primeira porção 28 do conduto 16 é substancialmente horizontal, a perda de pressão é amplamente independente dos efeitos de gravidade e, portanto, a perda de pressão é dominada por perdas de viscosidade. Alternativamente, a viscosidade pode ser calculada utilizando apenas o segundo sensor de pressão diferencial 26 quando a segunda porção 30 do conduto 16 não é horizontal, mas onde a densidade é conhecida por outros meios (tal como com base na composição da pasta de cimento ou de ensaios de laboratório, ou parando a bomba 14 de modo que a perda de pressão se baseie apenas na densidade).

[0058] Além disso, embora a modalidade mostrada na Figura 1 mostre os sensores 22, 24, 26 como monitorando o conduto principal 16 que fornece a pasta de cimento ao poço 12, em outras modalidades, os sensores 22, 24, 26 podem monitorar um subconduto menor que transporta apenas uma porção da pasta de cimento.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de monitorar uma ou mais propriedades de uma pasta de cimento durante a cimentação de um poço de petróleo ou gás, o método caracterizado pelo fato de compreender:

direcionar a pasta de cimento ao longo de um conduto para um local de cimentação;

medir uma primeira perda de pressão ao longo de uma primeira porção do conduto;

calcular uma viscosidade da pasta de cimento com base pelo menos em parte na primeira perda de pressão;

medir uma temperatura da pasta de cimento; e

ajustar a viscosidade calculada com base na temperatura medida para fornecer uma viscosidade equivalente para uma temperatura de referência diferente da temperatura medida.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a primeira porção do conduto ser substancialmente horizontal.

3. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de compreender ainda:

medir uma segunda perda de pressão ao longo de uma segunda porção do conduto, estando a primeira porção do conduto em um primeiro ângulo em relação à horizontal e a segunda porção do conduto em um segundo ângulo diferente em relação à horizontal,

em que a viscosidade da pasta de cimento é calculada com base na primeira perda de pressão e na segunda perda de pressão.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de compreender ainda:

calcular uma densidade da pasta de cimento com base na primeira perda de pressão e na segunda perda de pressão.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de compreender ainda:

comparar o valor de viscosidade calculado com um valor de viscosidade predeterminado; e

tomar uma ação quando uma diferença entre o valor de viscosidade calculado e o valor de viscosidade predeterminado exceder um limite.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de compreender ainda:

alterar uma vazão da pasta de cimento dentro do conduto; e

determinar uma segunda viscosidade da pasta de cimento na nova vazão.

7. Sistema para monitorar uma ou mais propriedades de uma pasta de cimento, o sistema caracterizado pelo fato de compreender:

uma fonte de pasta de cimento;

um conduto que liga a fonte de pasta de cimento a um local de cimentação;

um primeiro sensor de pressão configurado para medir uma primeira perda de pressão ao longo de uma primeira porção do conduto;

um dispositivo de processamento configurado para calcular uma viscosidade da pasta de cimento com base pelo menos em parte na primeira perda de pressão; e

um sensor de temperatura configurado para medir a temperatura da pasta de cimento,

em que o dispositivo de processamento é configurado para ajustar a viscosidade calculada com base na temperatura medida para fornecer uma viscosidade equivalente para uma temperatura de referência diferente da temperatura medida.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de o dispositivo de processamento ser configurado para determinar, com base no valor de viscosidade calculado, o valor que seria fornecido por um viscosímetro de rotação de cilindro coaxial testando a pasta de cimento.

9. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 ou 8, caracterizado pelo fato de a primeira porção de conduto ser substancialmente horizontal.

10. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 9, caracterizado pelo fato de compreender ainda:

um segundo sensor de pressão configurado para medir uma segunda perda de pressão ao longo de uma segunda porção do conduto, estando a primeira porção do conduto em um primeiro ângulo em relação à horizontal e a segunda porção do conduto em um segundo ângulo diferente em relação à horizontal,

em que o dispositivo de processamento é configurado para calcular a viscosidade da pasta de cimento com base na primeira perda de pressão e na segunda perda de pressão.

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de o dispositivo de processamento ser ainda configurado para calcular uma densidade da pasta de cimento com base na primeira perda de pressão e na segunda perda de pressão.

12. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 11, caracterizado pelo fato de o dispositivo de processamento ser configurado para comparar o valor de viscosidade calculado com um valor de viscosidade predeterminado e tomar uma ação quando uma diferença entre o valor de viscosidade calculado e o valor de viscosidade predeterminado exceder um limite.

13. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 12, caracterizado pelo fato de compreender ainda:

uma bomba para bombear a pasta de cimento ao longo do conduto, sendo a bomba configurada para alterar uma vazão da pasta de cimento dentro do conduto, e o dispositivo de processamento ser configurado para determinar uma segunda viscosidade da pasta de cimento na nova vazão.

Fig. 1

