



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0606595-3 B1

(22) Data do Depósito: 10/01/2006

(45) Data de Concessão: 07/08/2018



(54) Título: MÉTODO PARA TRANSPORTAR UM FLUIDO PRODUZIDO ATRAVÉS DE UM TUBO AO MESMO TEMPO QUE LIMITA DEPÓSITOS EM UMA LOCALIZAÇÃO DESEJADA DE PAREDE INTERNA DO TUBO

(51) Int.Cl.: F17C 11/00

(30) Prioridade Unionista: 08/09/2005 US 60/715,250, 12/01/2005 US 60/643,320

(73) Titular(es): SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B. V.

(72) Inventor(es): SZABOLCS ROLAND BALKANYI; JAMES GEORGE BROZE; JOSEPH OSCAR ESPARZA; GREGORY JOHN HATTON; AJAY PRAFUL MEHTA; JOHNNY FRANK NIMMONS; CHIEN KUEI TSAI; GEORGE JOHN ZABARAS; MOYE WICKS, III

(85) Data do Início da Fase Nacional: 11/07/2007

“MÉTODO PARA TRANSPORTAR UM FLUIDO PRODUZIDO ATRAVÉS DE UM TUBO AO MESMO TEMPO QUE LIMITA DEPÓSITOS EM UMA LOCALIZAÇÃO DESEJADA DE PAREDE INTERNA DO TUBO”

5

Campo da Invenção

São divulgadas tubos, sistemas e métodos para transportar produtos fluidos a partir de um ou mais poços, mais particularmente é divulgado retardamento de crescimento de depósito, tubos, sistemas e métodos para transportar correntes de produção de poço.

10

Fundamentos

Quando fluido produzido é transportado através de tubulações em um ambiente que resfria o fluido, por exemplo, até temperaturas menores do que 5 °C, para certos tipos de fluidos produzidos podem se formar depósitos em paredes da tubulação. Alguns destes depósitos podem ser, por exemplo, depósitos de cera, uma vez que a cera solidifica devido às temperaturas frias, ou hidratos gasosos. Tais depósitos de parede servem para reduzir o rendimento da tubulação, uma vez que eles bloqueiam parte da abertura da tubulação e reduzem a vazão do fluido produzido e/ou aumentam a pressão na tubulação. Inúmeras soluções para os problemas de depósitos em tubulação foram propostas. Uma solução é uma tubulação aquecida, que serve para manter o óleo escoando através da tubulação acima da temperatura na qual sólidos poderiam formar. Foram concedidas patentes à Shell Oil Company na área de tubulações aquecidas eletricamente, as quais solucionam este problema.

25

Uma outra solução para o problema de depósitos em uma parede de tubulação é isolar a tubulação para manter o óleo bruto a uma temperatura elevada.

É desejado evitar o problema de deposição em uma parede de tubulação.

Nos casos em que depósitos não são evitados, é desejado que os depósitos sejam facilmente removidos por um pistão raspador.

Nos casos que utilizam pistões raspadores para remover depósitos, é desejado que a corrente de passagem de pistão raspador seja uma
5 lama de depósito deslocados pelo pistão raspador e fluido produzido.

Sumário da Invenção

Um aspecto da invenção fornece um método para transportar o fluido produzido através de um tubo, enquanto limita depósitos em uma localização desejada de parede interna do tubo, que compreende fornecer um
10 tubo que tem uma rugosidade superficial interna R_a menor do que 2,5 microns em dita localização desejada da parede interna do tubo, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 1 dina/cm² (0,001 gf/cm²) em dita localização desejada de parede interna do tubo.

15 Vantagens da invenção incluem um ou mais do que segue:
transporte de fluidos produzidos com depósitos reduzidos de maneira significativa;
transporte de fluidos produzidos sem depósitos;
uma força reduzida requerida para a passagem do pistão
20 raspador; e
geração de uma lama de fluido ao passar o pistão raspador.

Breve Descrição dos Desenhos

A Figura 1 é uma vista de uma plataforma e de um poço submarino satélite conectado por meio de uma tubulação submarina.

25 A Figura 2 é uma vista em seção transversal lateral de uma tubulação.

A Figura 3 é uma vista em seção transversal extrema da tubulação da Figura 2.

A Figura 4 é uma vista em seção transversal lateral de uma

tubulação.

A Figura 5 é uma vista em seção transversal extrema da tubulação da Figura 4.

5 A Figura 6 é uma vista em seção transversal lateral de uma tubulação.

A Figura 7 é uma vista em seção transversal lateral de uma tubulação.

A Figura 8 é uma vista de um tubo liso com um depósito.

10 A Figura 9 é uma vista de um tubo de rugosidade padrão com um depósito.

A Figura 10 é uma plotagem de uma rugosidade superficial Ra para quatro tubos diferentes.

A Figura 11 é uma plotagem da distribuição de Rti para quatro tubos diferentes.

15 A Figura 12 é uma plotagem de um ângulo de distribuição para quatro tubos diferentes.

A Figura 13 é um mapa de deposição como uma função de rugosidade e tensão de cisalhamento na parede.

20 A Figura 14 é uma plotagem de queda de pressão através de um pistão raspador.

Descrição Detalhada

Em uma configuração é divulgado um tubo adaptado para transportar óleo bruto, o óleo bruto tendo uma temperatura menor do que a 65 °C em no mínimo uma porção do tubo, na qual o tubo compreende uma
25 rugosidade superficial menor do que a 0,025 mm. Em algumas configurações o óleo bruto tem uma temperatura menor do que 55 °C. Em algumas configurações o óleo bruto tem uma temperatura menor do que 38 °C. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,025 mm e 0,0025 mm. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,025 mm

e 0,01 mm. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,01 mm e 0,0025 mm.

Em uma configuração é divulgado um sistema para produzir e transportar óleo bruto, que compreende um poço para produzir o óleo bruto; uma instalação de processamento para processar o óleo bruto; e uma tubulação para atravessar no mínimo uma porção da distância entre o poço e a instalação de processamento, no qual no mínimo uma porção da tubulação se desloca através de uma atmosfera que tem uma temperatura menor do que 20 ° C, no qual a tubulação compreende uma rugosidade superficial em sua superfície interior menor do que 0,025 mm. Em algumas configurações a atmosfera tem uma temperatura menor do que 15 °C. Em algumas configurações a atmosfera tem uma temperatura menor do que 15 °C. Em algumas configurações a atmosfera tem uma temperatura menor do que 10 °C. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,025 mm e 0,0025 mm. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,025 mm e 0,01 mm. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,01 mm e 0,0025 mm.

Em uma configuração é divulgado um método para produzir e transportar óleo bruto, que compreende extrair o óleo bruto a partir de um poço, colocar o óleo bruto em uma tubulação para transportar o óleo bruto para longe do poço; no qual no mínimo uma porção da tubulação se desloca através de uma atmosfera que tem uma temperatura ambiente menor do que 20 °C; e no qual a tubulação tem uma rugosidade superficial menor do que 0,025 mm em uma superfície interior. Em algumas configurações atmosfera têm uma temperatura menor do que 15 °C. Em algumas configurações a atmosfera tem uma temperatura menor do que 15 °C. Em algumas configurações a atmosfera tem uma temperatura menor do que 10 °C. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,025 mm e 0,0025 mm. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,025 mm

e 0,01 mm. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,01 mm e 0,0025 mm.

Em uma configuração é divulgado um sistema para produzir e transportar óleo bruto, que compreende um dispositivo poço; um dispositivo de processamento; e uma tubulação para conectar o dispositivo poço com o dispositivo de processamento; no mínimo uma porção da tubulação se deslocando através de uma atmosfera que tem uma temperatura ambiente menor do que 20 °C e um dispositivo para reduzir a rugosidade superficial em uma superfície interior da tubulação. Em algumas configurações a atmosfera tem uma temperatura menor do que 15 °C. Em algumas configurações a atmosfera tem uma temperatura menor do que 10 °C. Em algumas configurações o meio para retardamento compreende uma rugosidade superficial menor do que 0,025 mm e 0,0025 mm. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,025 mm e 0,01 mm. Em algumas configurações a rugosidade superficial está entre 0,01 mm e 0,0025 mm.

Em uma configuração é divulgado um método para transportar um fluido produzido através de um tubo ao mesmo tempo que limita depósitos em uma localização desejada da parede interna do tubo, que compreende fornecer um tubo que tem uma rugosidade superficial interna R_a e a menor do que 0,5 microns em dita localização desejada de parede interna do tubo, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 1 dina/cm² (0,001 gf/cm²) em dita localização desejada de parede interna do tubo.

Em uma configuração é divulgado um método para transportar um fluido produzido através de um tubo ao mesmo tempo que limita depósitos em uma localização desejada da parede interna do tubo, que compreende fornecer um tubo que tem uma rugosidade superficial interna R_a e a menor do que 1 micron em dita localização desejada de parede interna do tubo, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido

tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 20 dina/cm² (0,02 gf/cm²) em dita localização desejada de parede interna do tubo.

Em uma configuração é divulgado um método para transportar um fluido produzido através de um tubo ao mesmo tempo que limita depósitos em uma localização desejada da parede interna do tubo, que compreende fornecer um tubo que tem uma rugosidade superficial interna R_a e a menor do que 1,5 microns em dita localização desejada de parede interna do tubo, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 100 dina/cm² (0,102 gf/cm²) em dita localização desejada de parede interna do tubo.

Em uma configuração é divulgado um método para transportar um fluido produzido através de um tubo ao mesmo tempo que limita depósitos em uma localização desejada da parede interna do tubo, que compreende fornecer um tubo que tem uma rugosidade superficial interna R_a e a menor do que 2,5 microns em dita localização desejada de parede interna do tubo, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 400 dina/cm² (0,408 gf/cm²) em dita localização desejada de parede interna do tubo.

Em uma configuração é divulgado um método para transportar um fluido produzido através de um tubo ao mesmo tempo que limita depósitos em uma localização desejada da parede interna do tubo, que compreende fornecer um tubo que tem uma raiz quadrada média de ângulo de rugosidade superficial interna menor do que 5 graus em dita localização desejada de parede interna do tubo, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 1 dina/cm² (0,001 gf/cm²) em dita localização desejada de parede interna do tubo.

Em uma configuração é divulgado um método para transportar um fluido produzido através de um tubo ao mesmo tempo que limita

depósitos em uma localização desejada da parede interna do tubo, que compreende fornecer um tubo que tem uma raiz quadrada média de ângulo de rugosidade superficial interna menor do que 6 graus em dita localização desejada de parede interna do tubo, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 20 dina/cm² (0,02 gf/cm²) em dita localização desejada de parede interna do tubo.

Em uma configuração é divulgado um método para transportar um fluido produzido através de um tubo ao mesmo tempo que limita depósitos em uma localização desejada da parede interna do tubo, que compreende fornecer um tubo que tem uma raiz quadrada média de ângulo de rugosidade superficial interna menor do que 7 graus em dita localização desejada de parede interna do tubo, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 100 dina/cm² (0,102 gf/cm²) em dita localização desejada de parede interna do tubo.

Em uma configuração é divulgado um método para transportar um fluido produzido através de um tubo ao mesmo tempo que limita depósitos em uma localização desejada da parede interna do tubo, que compreende fornecer um tubo que tem uma raiz quadrada média de ângulo de rugosidade superficial interna menor do que 9 graus em dita localização desejada de parede interna do tubo, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 400 dina/cm² (0,408 gf/cm²) em dita localização desejada de parede interna do tubo.

Em uma configuração é divulgado o método para calcular tensão de cisalhamento ótima em um sistema de tubulação que compreende fornecer um tubo que tem uma rugosidade superficial interna Ra de menos do que 5 microns, forçar um fluido produzido através do tubo na temperatura

operacional e aumentar o valor da tensão de cisalhamento na parede interna do tubo até que nenhum depósito de cera seja formado na parede interna.

Em uma configuração é divulgado um método para transportar o fluido produzido através de um tubo e formar depósitos que requeiram menos força para passar o pistão raspador e que produzam uma lama quando da passagem do pistão raspador que compreende fornecer um tubo que tem uma rugosidade superficial interna R_a menor do que 3 microns, forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 1 dina/cm^2 ($0,001 \text{ gf/cm}^2$) em no mínimo uma porção do tubo, e fornecer um pistão raspador complacente, superdimensionado, não metálico. Em algumas configurações o pistão raspador compreende um pistão raspador de desvio no qual a passagem do pistão raspador resulta em uma lama diluída do fluido e dos depósitos.

Em uma modalidade é divulgado um método para impedir depósitos na parede interna de um tubo, encanamento, tubulação, linha de escoamento e/ou encanamento de poço (daqui em diante referida como tubulação ou tubo) durante a produção e transporte de fluidos produzidos, por exemplo em tubulações utilizadas em águas profundas, onde o problema de deposição é comum devido à temperatura ambiental baixa do ambiente que circunda a tubulação.

Quando fluidos produzidos são transportados, sólidos podem precipitar e depositar na parede da tubulação. Por exemplo, constituintes parafínicos de óleos brutos podem precipitar quando os óleos brutos são resfriados abaixo de uma temperatura crítica, daqui em diante referida como a temperatura de aparecimento de cera. Parafina sólida, algumas vezes designada como cera, que é transportada para a parede da tubulação, ou cera que se forma na parede do tubo ou que pode colar na parede e com o tempo a cera pode reduzir a área de seção transversal do tubo que é disponível para escoamento. A temperatura na qual cera sai da solução varia de um cru ou um

condensado para o próximo, com alguns crus ou condensados caindo fora da solução alguns componentes parafínicos em temperaturas tão elevadas quanto 55 °C. Uma solução para evitar que cera se forme em uma parede da tubulação, é manter a temperatura na tubulação de transporte acima da temperatura de aparecimento de cera, para evitar que a cera deposite na parede do tubo ou mesmo crie um tampão de cera.

Em uma configuração é divulgada uma solução alternativa para evitar que depósitos se formem em uma parede de tubulação, pelo que sólidos são deixados sair dos fluidos de produção porém desencorajados de aderir à parede do tubo e formar tampões. Se sólidos são deixados sair porém impedidos de aderir à parede do tubo, o volume do fluido pode continuar a escoar como uma lama com sólidos suspensos. Isto pode ser realizado fazendo as paredes internas dos tubos de transporte mais lisas do que as paredes de tubo normalmente utilizadas em linhas de escoamento submarinas e tubulações seja mecanicamente, com revestimentos e/ou com eletropolimento, e controlando a velocidade de transporte, de modo a fornecer uma tensão de cisalhamento crítica na parede dentro da tubulação. Em geral, de maneira significativa, eliminar a rugosidade da parede interna do tubo irá diminuir a força requerida para remover um depósito e em alguns casos diminuir a velocidade de acumulação de depósito no tubo. Em algumas configurações, a força requerida para remover cera, asfaltenos e/ou depósitos inorgânicos como hidratos, sais e/ou sais e/ou escamas, pode ser diminuída utilizando uma parede lisa de tubo.

Reduzir a velocidade de deposição de cera em tubulações também pode diminuir a frequência necessária de passagem de pistão raspador (isto é, raspagem mecânica). Capacidade de vazão pode ser mantida mais próxima da capacidade livre de depósito como resultado da diminuição das obstruções ao escoamento e/ou dos bloqueios criados por depósitos.

Fazendo referência agora à Figura 1, em uma modalidade, é

ilustrado um poço satélite remoto 12 que é conectado à plataforma 14 com tubulação submarina 10. A tubulação submarina 10 inclui seção de fundo do mar 19 e seção de subida 8. A seção de fundo do mar 19 pode ter até 30 ou mais quilômetros de comprimento. A tubulação 10 pode ser composta de trechos de 12 m de tubulação soldados juntos. É comum formar segmentos de tubo individuais de 48 m chamados ‘quads’ (quatro trechos) que foram soldados juntos quando foram colocadas submersos para formar a tubulação 10. A seção de fundo do mar 19, que pode ter um quilômetro ou mais abaixo da superfície 28 do oceano, termina no deslizador 20. Também está ilustrada uma tubulação de exportação 26 para transportar óleo ou outros produtos a partir da plataforma 14 para a costa. A plataforma 14 pode incluir instalações de superfície 16, como é conhecido na técnica. O tubo tradicionalmente utilizado em tubulação submarina 10 e tubulação de exportação 26 é referido daqui em diante como “tubo tradicional”. Isto é, o tubo tradicional é o tubo padrão em relação à rugosidade correntemente utilizada para tubulação 10 e tubulação 26.

Fazendo referência às Figuras 2 e 3, a seção de fundo do mar 19 da tubulação está ilustrada. A seção de fundo do mar inclui uma passagem 102 e uma parede 104 que envolve a passagem 102. A parede 104 inclui rugosidade superficial 104a típica de tubo tradicional. Fluidos produzidos podem ser encerrados na parede 104 e passados através da passagem 102.

Fazendo referência às Figuras 4 e 5, fluidos produzidos foram passados através da passagem 102 de tubo tradicional onde a seção de fundo do mar 19 é exposta a um ambiente de temperatura fria de modo que o depósito 106 foi depositado sobre a rugosidade superficial 104a. Quando o depósito 106a é depositado, a passagem 102 é restringida. Em geral, quanto maior a rugosidade superficial 104a maior a força de adesão do depósito 106 à parede do tubo.

Em algumas configurações, fazendo referência à Figura 6, a

seção de fundo do mar 19 está ilustrada, a qual inclui a passagem 202 envolvida pelas paredes 204. As paredes 204 têm rugosidade superficial 204a que é significativamente mais lisa do que a rugosidade superficial 104a de tubo tradicional.

5 Ainda fazendo referência à Figura 6, quando fluidos produzidos são passados através da passagem 202 a uma velocidade para a qual a tensão de cisalhamento na parede excede um valor crítico, algum ou nenhum depósito é depositado na rugosidade superficial 204a. Em geral, uma combinação de uma rugosidade superficial mais lisa 204a e uma tensão de
10 cisalhamento na parede acima do valor crítico, conduz a pouca ou nenhuma deposição de depósitos. Para uma superfície de tubo muito lisa, a tensão de cisalhamento crítica na parede, requerida para impedir depósitos é de baixa para moderada; quando a rugosidade superficial do tubo aumenta, a tensão de cisalhamento crítica na parede, requerida para impedir depósitos aumenta. Em
15 tubos com rugosidade igual àquela de tubo tradicional, a tensão de cisalhamento na parede, requerida para impedir depósitos, pode estar acima daquela fornecida por velocidades operacionais normais.

 Em uma configuração não é requerido utilizar um pistão raspador para limpar depósitos de cera da parede 204, uma vez que nas tensão
20 de cisalhamento fornecida na parede, pouca ou nenhuma cera deposita na rugosidade superficial 204a quando comparada à rugosidade superficial 104a de tubo tradicional.

 Em uma configuração não é requerido utilizar um pistão raspador para limpar depósitos de cera da parede 204 como muitas vezes é
25 requerido para limpar depósitos de cera 106, uma vez que na tensão de cisalhamento na parede fornecida pouca ou nenhuma cera deposita na rugosidade superficial 204a quando comparada à rugosidade superficial 104a de tubo tradicional.

 A Figura 8 é uma vista ampliada de uma superfície

perfeitamente lisa. As linhas aerodinâmicas do escoamento são paralelas à superfície. Quando escoamento passa ao redor de um depósito, ou arraste sobre o depósito é na direção do escoamento e paralelo à superfície de contato entre o depósito e a parede. Esta configuração de escoamento-parede aplica a
5 tensão de cisalhamento máxima na interface depósito-parede e, conseqüentemente, é a configuração a mais eficiente para impedir ou remover depósitos.

A Figura 9 é uma vista ampliada de uma rugosidade superficial 104a de tubo tradicional. Com uma tal superfície rugosa as linhas
10 aerodinâmicas do escoamento não seguem a superfície, e vórtices são produzidos, como mostrado no lado esquerdo da Figura 9, onde o escoamento sobre um pico de uma superfície rugosa gera vórtices no vale a jusante. Estes vórtices podem aplicar um arraste fraco e incoerente sobre os depósitos. Este arraste genericamente não é paralelo ao contato depósito-parede. Devido a
15 isto, depósitos são capazes de se acumularem nos vales. Uma vez que os depósitos enchem um vale, o depósito pode ser ancorado à parede sobre toda a área superficial do vale e podem se tornar mais difíceis de remover. Conseqüentemente, rugosidade superficial e vazão desempenham um grande papel na determinação de quando e onde depósitos se formam, e quando e
20 onde eles são removidos.

Rugosidade superficial é quantificada de diversas maneiras. No ASME B46.1-2002, aqui incorporado para referência, “Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)” R_a é definida como a média aritmética dos valores absolutos dos desvios de altura do perfil sobre o
25 comprimento de avaliação e medida a partir da linha média. R_a é o parâmetro de rugosidade mais comumente utilizado em medição de acabamento superficial. Uma outra medida da rugosidade superficial é a raiz quadrada média da distribuição do ângulo em relação à horizontal α_{rms} , ao longo da superfície. Uma outra medida da rugosidade superficial R_{ti} é a distância

vertical local até cada ponto i a partir do vale o mais inferior no intervalo de amostra. Uma outra medida da rugosidade superficial é a raiz quadrada média da R_{ti} para um único comprimento de amostra $R_{ti_{rms}}$.

A Figura 10 mostra os perfis de parede para quatro tubos. O eixo horizontal x mostra distância (em centímetros (cm)) ao longo do plano da superfície média, e o eixo vertical (z) mostra desvio em altura (em microns) a partir da superfície média. Acima do eixo x , a partir de 0,0 polegada até 0,029 cm está mostrada a altura relativa até a média da superfície para o Tubo A, um tubo tradicional de aço inoxidável comercial com uma rugosidade típica de tubos utilizados em tubulações de linhas de escoamento submarinas. À direita dos dados para o Tubo A na Figura 10 estão dados para tubos mais lisos. Acima do eixo x , desde 0,29 cm até 0,65 cm está mostrado z para o Tubo B, um tubo de aço inoxidável comercial. Acima do eixo x , desde 0,65 cm até 0,98 cm está mostrado z para o Tubo C, um tubo de aço inoxidável comercial com uma rugosidade menor, comercializado para ter uma rugosidade R_a de 0,25 microns, ou menos. Acima do eixo x , desde 0,98 cm até 1,3 cm está mostrado z para Tubo D, um tubo de aço inoxidável comercial com uma rugosidade ainda menor, comercializado para ter uma rugosidade R_a de 0,125 microns ou menos. A diferença em variação em z entre Tubo A, o tubo tradicional e tubos B-D é muito grande.

A Figura 11 mostra as distribuições de R_{ti} para os quatro tubos mostrados na Figura 10. A Figura 12 mostra as distribuições α de ângulo para os ditos quatro tubos mostrados na Figura 10. Os valores de R_a e da raiz quadrada média do ângulo das distribuições para os ditos quatro tubos estão listados na Tabela 1 abaixo. O Tubo A, o tubo tradicional, tem medidas de rugosidade que são bastante diferentes daquelas de Tubos B-D, os tubos lisos.

Tabela 1 - Valores de parâmetros de rugosidade superficial

Descrição do tubo	R_a	raiz quadrada média do ângulo	raiz quadrada média de R_{ti}
Tubo A	>60	>13	>175
Tubo B	25	6	150

Tubo C	2,5	4	25
Tubo D	<2,5	<2	<8

O tubo tradicional, o padrão corrente para tubulação 10 e tubulação 26, pode ter uma rugosidade superficial absoluta R_t de aproximadamente 50 ou 75 microns ou maior, e um α_{rms} de aproximadamente 13 graus ou mais, quando comprado de um fornecedor. R_t , similar a R_{ti} definida mais cedo, é a distância vertical a mais longa desde o pico até o vale sobre um comprimento medido.

Em algumas configurações da invenção com tensões de cisalhamento na parede, de moderadas para elevadas, tubulação lisa adequada 10 ou tubulação 26, têm uma rugosidade superficial 204a R_a de menos que aproximadamente 25 microns R_a , ou menos do que metade da rugosidade superficial R_a de tubo de aço padrão 104a.

Em algumas configurações desta invenção com tensão de cisalhamento na parede moderada para elevada, tubulação adequada 10 ou tubulação 26 tem uma rugosidade superficial 204a α_{rms} de menos que aproximadamente 9 graus ou menos do que dois terços da rugosidade superficial α_{rms} de tubo de aço padrão 104a.

Em algumas configurações desta invenção com tensão de cisalhamento na parede moderada para elevada, tubulação lisa adequada 10 ou tubulação 26 tem uma rugosidade superficial 204a R_a de menos que aproximadamente 15 microns R_a , ou menos do que um quarto da rugosidade superficial R_a de tubo de aço padrão 104a.

Em algumas configurações desta invenção com tensão de cisalhamento na parede moderada para elevada, tubulação adequada 10 ou tubulação 26 tem uma rugosidade superficial 204a α_{rms} de menos que aproximadamente 7 graus ou menos do que metade da rugosidade superficial α_{rms} de tubo de aço padrão 104a.

Em algumas configurações desta invenção com tensão de cisalhamento na parede moderada para elevada, tubulação lisa adequada 10

ou tubulação 26 tem uma rugosidade superficial 204a Ra de menos que aproximadamente 10 microns Ra, ou menos do que um sexto da rugosidade superficial Ra de tubo de aço padrão 104a.

Em algumas configurações desta invenção com tensão de
5 cisalhamento na parede moderada para elevada, tubulação adequada 10 ou tubulação 26 tem uma rugosidade superficial 204a α_{rms} de menos que aproximadamente 6 graus ou menos do que metade da rugosidade superficial α_{rms} de tubo de aço padrão 104a.

Em algumas configurações desta invenção com tensão de
10 cisalhamento na parede pequena para elevada, tubulação lisa adequada 10 ou tubulação 26 tem uma rugosidade superficial 204a Ra de menos que aproximadamente 5 microns ou menos do que um décimo da rugosidade superficial Ra de tubo de aço padrão 104a.

Em algumas configurações desta invenção com tensão de
15 cisalhamento na parede pequena para elevada, tubulação adequada 10 ou tubulação 26 tem uma rugosidade superficial 204a α_{rms} de menos que aproximadamente 5 graus ou menos do que aproximadamente um terço da rugosidade superficial α_{rms} de tubo de aço padrão 104a.

Em algumas configurações a rugosidade superficial 204a e/ou
20 a rugosidade superficial 104a pode se revestida com o revestimento adequado para reduzir o valor da rugosidade superficial.

Fazendo referência agora à Figura 7, a tubulação 19 é
ilustrada, a qual inclui a passagem 302 envolvida por paredes 304. As paredes 304 definem a passagem 302 tendo um diâmetro de 2R 306, ou um raio R.
25 Uma porção de passagem 302 tem um comprimento L 308 a partir do ponto 310 até o ponto 312. A pressão é P1 no ponto 310 e a pressão é P2 no ponto 312. A queda de pressão ao longo do comprimento L 308 desde o ponto 310 até o ponto 312 é P1-P2. A área de seção transversal da passagem 302 é πR^2 . A força através do fluido na passagem 302 desde o ponto 310 até o ponto 312

é $(P1-P2)(\pi R^2)$. Esta força é igual em magnitude e oposta em direção à resistência total na parede na passagem 302 desde o ponto 310 até o ponto 312. A resistência total na parede é a tensão de cisalhamento na parede τ vezes a área de interface de parede-fluido na passagem 302 desde o ponto 310 até o ponto 312, cuja área é $2\pi RL$. A Equação 1 mostra que a força devido à tensão de cisalhamento na parede é igual à força requerida para mover um fluido através da passagem 302.

$$(P1-P2)(\pi R^2) = \tau (2\pi RL) \quad (1)$$

Resolvendo para τ a partir da equação 1 produz

$$\tau = ((P1-P2)(R)) / (2L) \quad (2)$$

Em algumas configurações, fluidos produzidos que passam através da tubulação 10 ou tubulação 26 têm uma tensão de cisalhamento na parede, na parede 204 de, no mínimo, aproximadamente 1 dina/cm² (0,001 gf/cm²).

Em algumas configurações, fluidos produzidos que passam através da tubulação 10 ou tubulação 26 têm uma tensão de cisalhamento na parede, na parede 204 de, no mínimo, aproximadamente 20 dina/cm² (0,02 gf/cm²).

Em algumas configurações, fluidos produzidos que passam através da tubulação 10 ou tubulação 26 têm uma tensão de cisalhamento na parede, na parede 204 de, no mínimo, aproximadamente 100 dina/cm² (0,102 gf/cm²).

Em algumas configurações, fluidos produzidos que passam através da tubulação 10 ou tubulação 26 têm uma tensão de cisalhamento na parede, na parede 204 de, no mínimo, aproximadamente 400 dina/cm² (0,408 gf/cm²).

Em algumas configurações, para calcular a vazão ótima para o óleo bruto ou condensado que escoar através da tubulação 19, uma tubulação que tem uma rugosidade superficial menor do que aproximadamente 200

micro- polegadas é selecionada e testada com o óleo bruto que será bombeado através dela em uma instalação de teste, onde o óleo bruto é resfriado em uma faixa de temperatura na qual o cru será transportado através da tubulação 10 ou tubulação 26. A vazão e/ou a tensão de cisalhamento na parede é então

5 aumentada até que não haja qualquer deposição, ou que o equipamento não seja capaz de produzir uma vazão mais elevada. Se o equipamento não é capaz de produzir uma vazão mais elevada, uma tubulação mais lisa pode ser selecionada, tal como uma tubulação que tem uma rugosidade superficial menor do que aproximadamente 10 micro-polegadas e então a vazão e/ou a

10 tensão de cisalhamento na parede pode ser aumentada até um tal momento que não haja deposição de cera ou o equipamento não possa bombear mais rápido, e tubos mais lisos devem ser testados, tal como um tubo que tem uma rugosidade superficial menor do que aproximadamente 15 microns, até um momento em que um tubo liso é encontrado, o qual produz pouca ou nenhuma

15 deposição de cera sob as condições operacionais.

Diferentes sistemas de fluido têm diferentes tendências de deposição e requerem combinações diferentes de rugosidade e tensão de cisalhamento na parede, para evitar depósitos. Não obstante, a rugosidade necessária para impedir depósito para correntes de fluido produzidas com

20 tensões de cisalhamento da parede que correspondem ao limite superior de velocidades de produções práticas, é muito menor do que a rugosidade de tubo tradicional. Para correntes com tensões de cisalhamento na parede menores, a rugosidade necessária para impedir depósitos é ainda menor.

Aqueles versados na técnica irão apreciar que diversas

25 modificações e variações são possíveis em termos das configurações divulgadas, modalidades, materiais e métodos, sem se afastar de seu espírito e escopo. Conseqüentemente, o escopo das reivindicações anexas aqui abaixo e seus equivalentes funcionais não deveriam estar limitados por configurações particulares descritas e ilustradas aqui, como estas, uma vez que estas são

meramente tomadas como exemplo por natureza.

Exemplo

Um circuito fechado de escoamento para teste de deposição foi utilizada. Seções de teste com diferentes rugosidades de parede interna foram instaladas. Testes de deposição foram conduzidos por um período de 6 dias com bombeamento de temperatura controlada de óleo bruto com cera, a partir de um campo de água profunda no golfo do México. Resumo de resultados estão mostrados na Figura 13. Na Figura 13 losangos brancos indicam um PASSA em um teste de deposição, isto é, deposição zero ou insignificante: triângulos cinzentos indicam resultado MARGINAL e losangos negros indicam uma FALHA, isto é, deposição significativa e quantificável. O valor x é o R_a , e o valor y a tensão de cisalhamento na parede calculada a partir de propriedades de fluido, vazões, e diâmetro de tubo. Como a Figura 13 indica, os ditos tubos lisos B-D utilizados na seção de teste da malha de escoamento mostraram redução significativa em deposição comparada a tubo A liso (teste FALHA). Deveria ser observado que o tubo é consideravelmente mais liso do que o Tubo A, o tubo tradicional. Como a Figura 3 ainda indica, o dito tubo liso D utilizado na seção de teste da malha de escoamento não teve qualquer, ou quantidade significativa insignificante de depósito (teste PASSA). Os dados da Figura 13 demonstram a redução em deposição no tubo com rugosidade R_a menor e tensão de cisalhamento de parede maior.

Outros testes foram conduzidos na malha de escoamento para teste de deposição, no qual depósitos foram formados em tubo muito mais liso do que um tubo tradicional, porém não liso o suficiente para impedir que formem depósitos. Os tubos tiveram então pistões raspadores passados, e dados foram coletados na passagem do pistão raspador e correntes resultante da passagem de pistão raspador. Alguns destes dados estão mostrados na Figura 14. A força (diretamente relacionada à pressão diferencial na seção de teste dP) requerida para passar o pistão raspador no depósito a partir da

parede do tubo polido, era significativamente menor do que aquela utilizada para passar o pistão raspador por depósitos formados em um teste similar com tubo padrão. Além disto, a corrente da passagem do pistão raspador do tubo liso produziu uma lama, enquanto a corrente de passagem de pistão raspador do tubo tradicional produziu um aglomerado viscoso de cera e óleo absorvido.

5

REIVINDICAÇÕES

1. Método para transportar um fluido produzido através de um tubo ao mesmo tempo que limita depósitos em uma localização desejada de parede interna do tubo, caracterizado pelo fato de compreender:

5 fornecer um tubo que tem uma rugosidade superficial interna Ra menor do que 2,5 microns e uma raiz quadrada média de ângulo de rugosidade superficial interna menor do que 5 graus na localização desejada de parede interna do tubo; e,

10 forçar o fluido produzido através do tubo, no qual o fluido produzido tem uma tensão de cisalhamento na parede de no mínimo 1 dina/cm² (0,001 gf/cm²) na localização desejada de parede interna do tubo.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a rugosidade superficial interna Ra é menor do que 1 micron na localização desejada de parede interna do tubo; e no qual a tensão de cisalhamento na parede é no mínimo 20 dina/cm² (0,002 gf/cm²) na localização desejada de parede interna do tubo.

3. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a rugosidade superficial interna Ra é menor do que 1,5 microns na localização desejada de parede interna do tubo, no qual a tensão de cisalhamento na parede é no mínimo 100 dina/cm² (0,102 gf/cm²) na localização desejada de parede interna do tubo.

4. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a tensão de cisalhamento na parede é no mínimo 400 dina/cm² (0,408 gf/cm²) na localização desejada de parede interna do tubo.

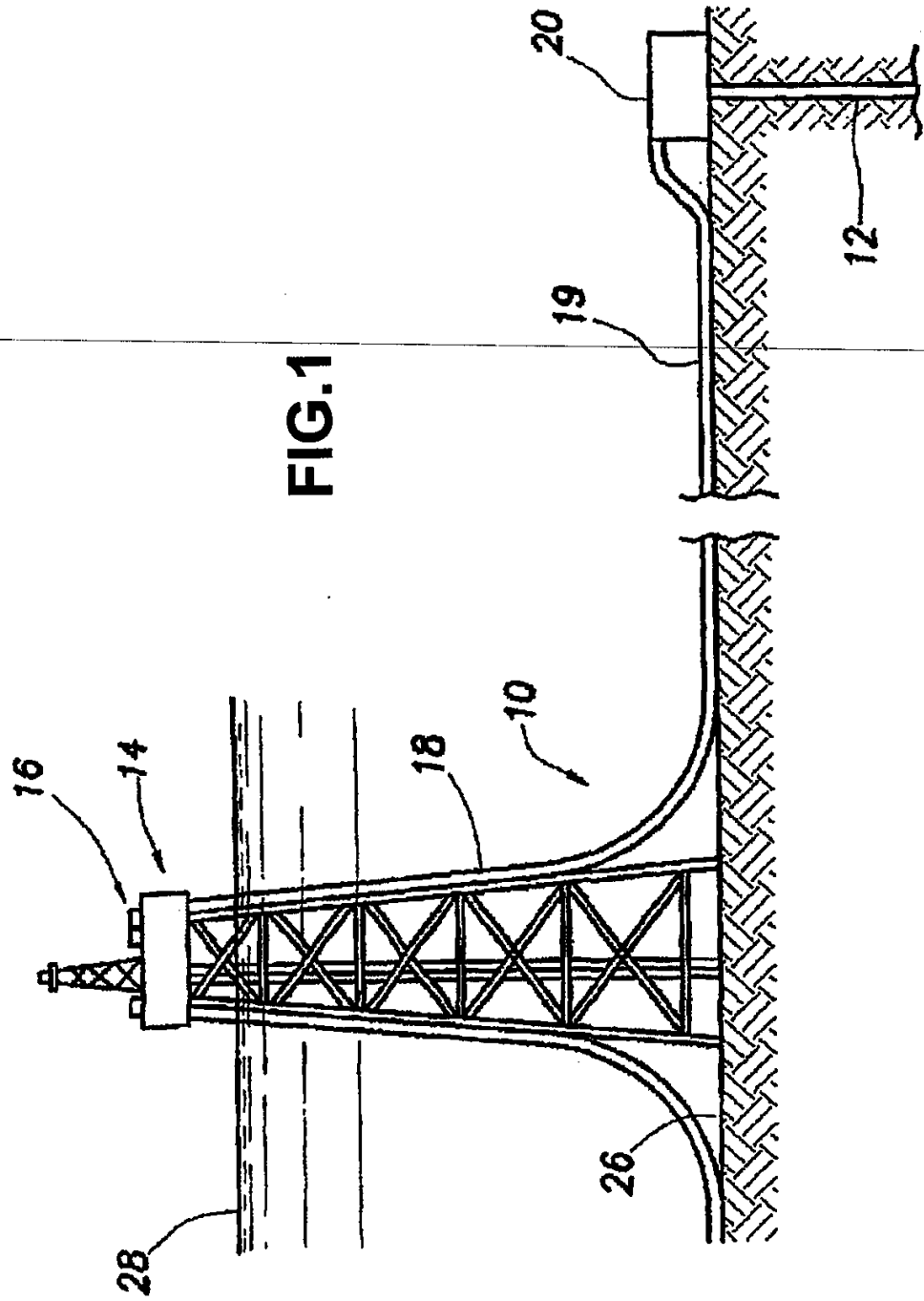


FIG. 1

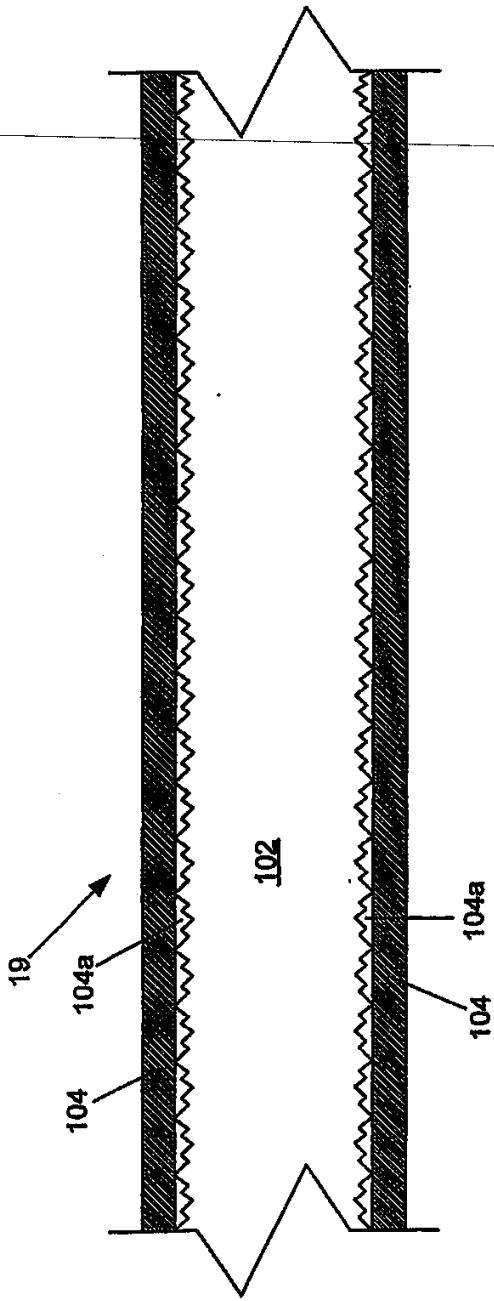


FIG.2

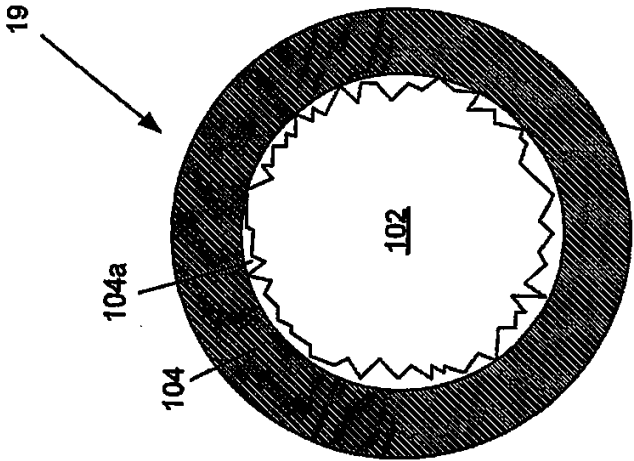


FIG.3

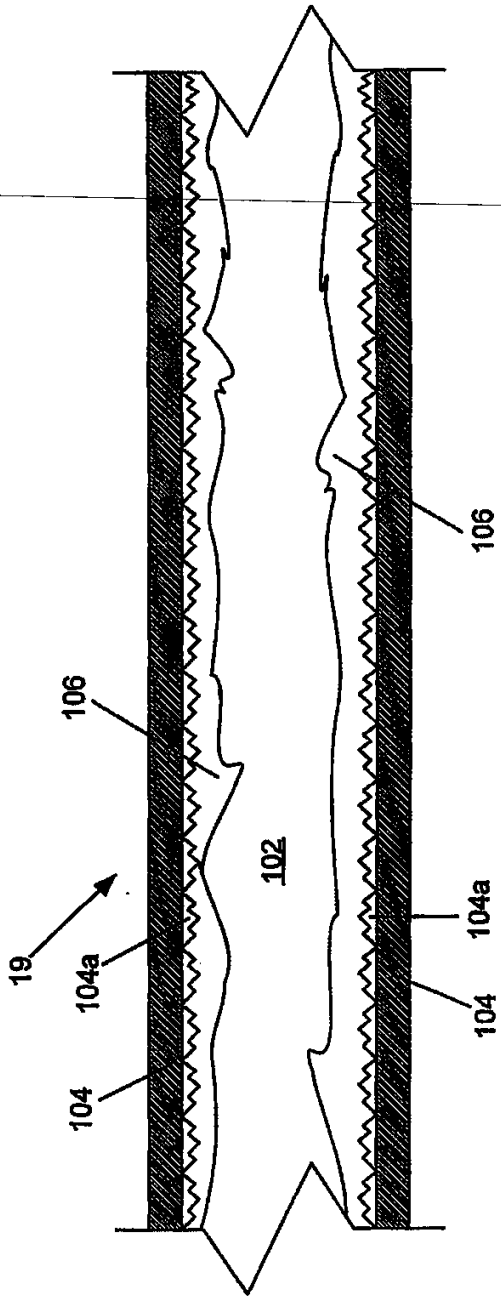


FIG.4

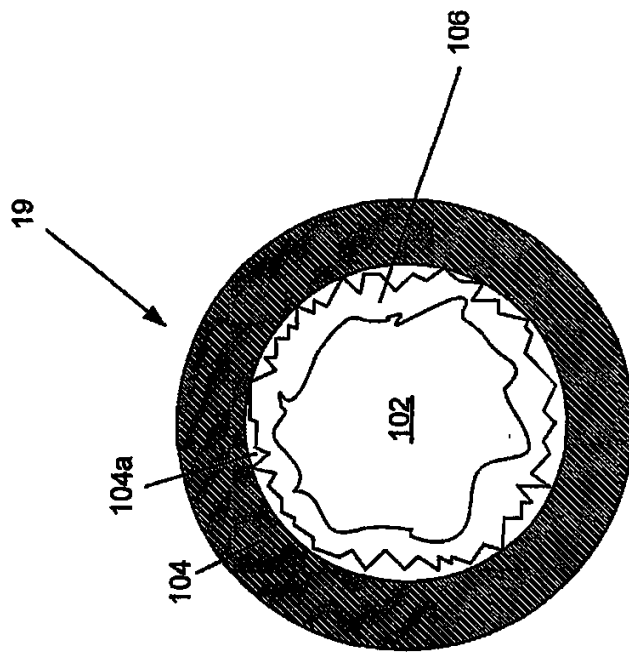


FIG.5

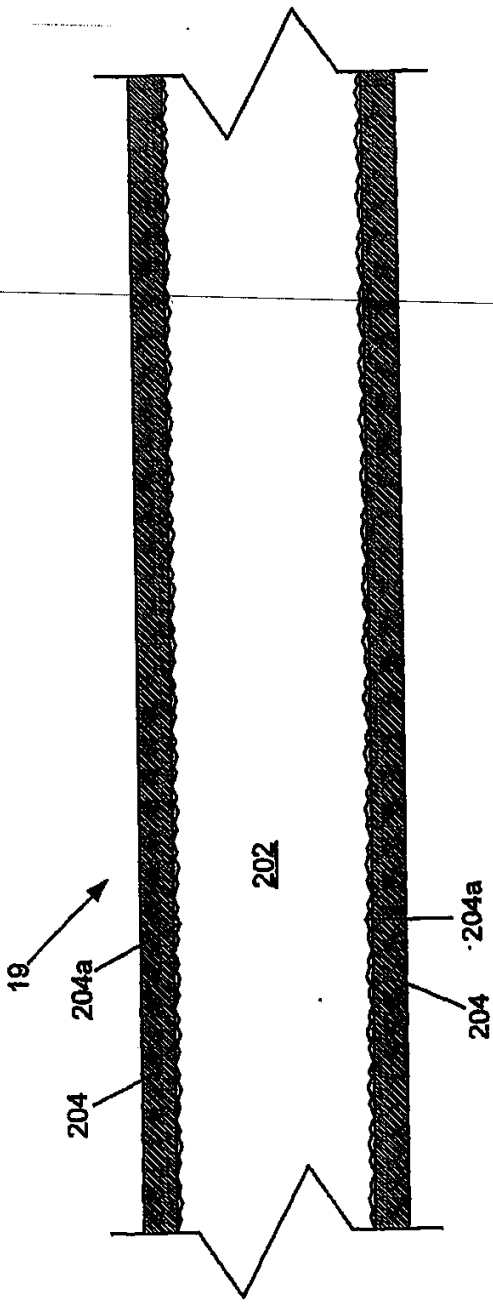


FIG.6

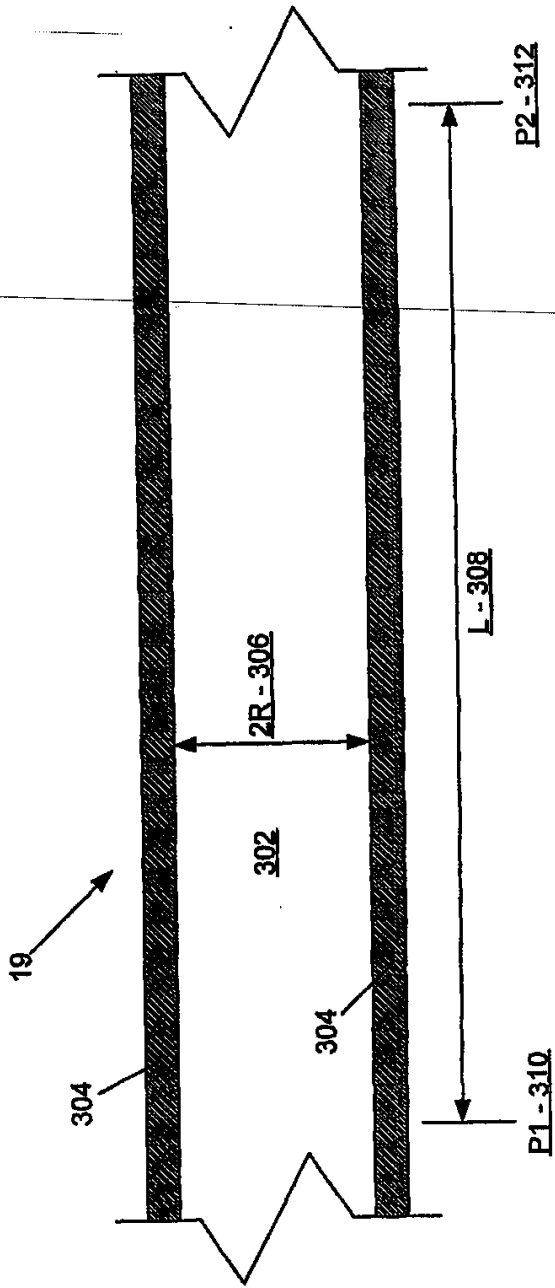


FIG.7

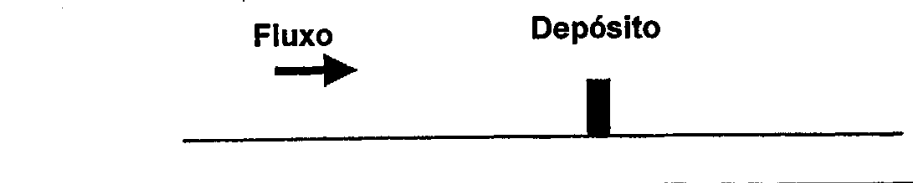


FIG. 8 Superfície de tubo liso perfeito

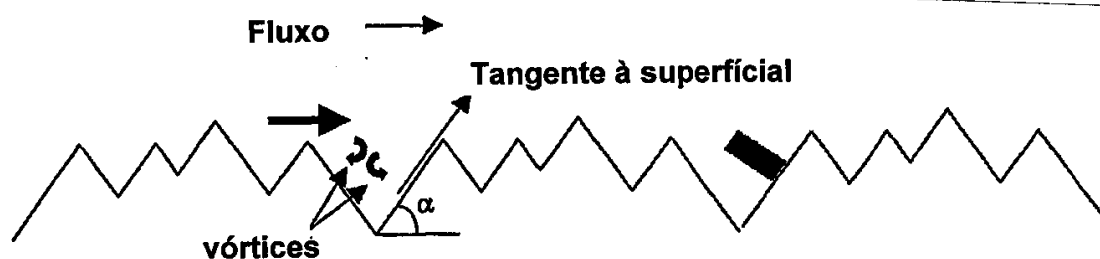


FIG. 9 Superfície de tubo regular

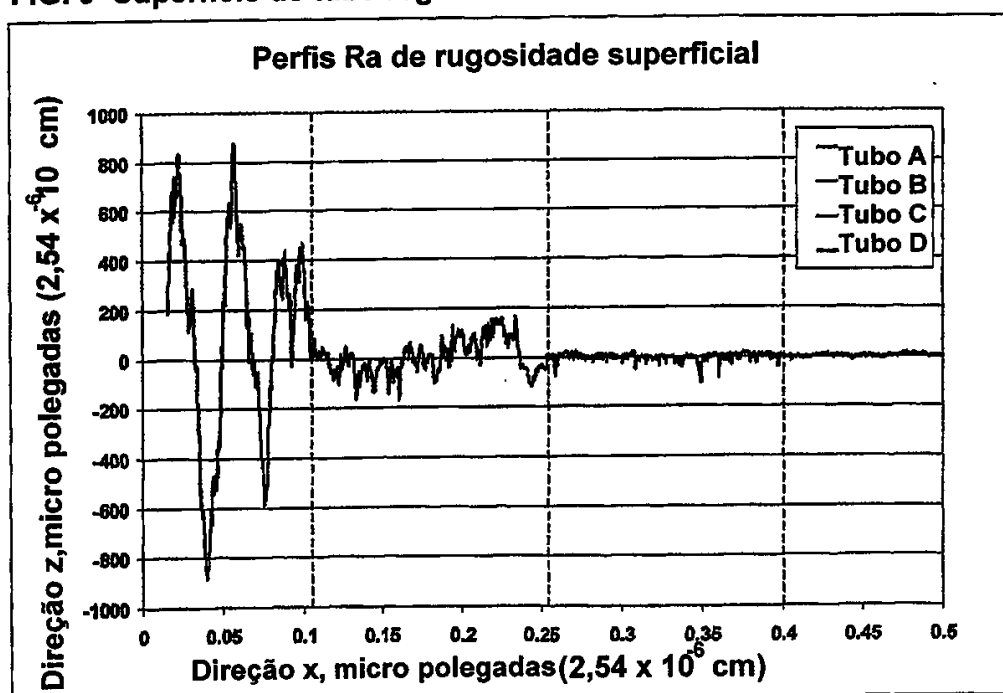


FIG. 10 Perfis Ra de rugosidade superficial

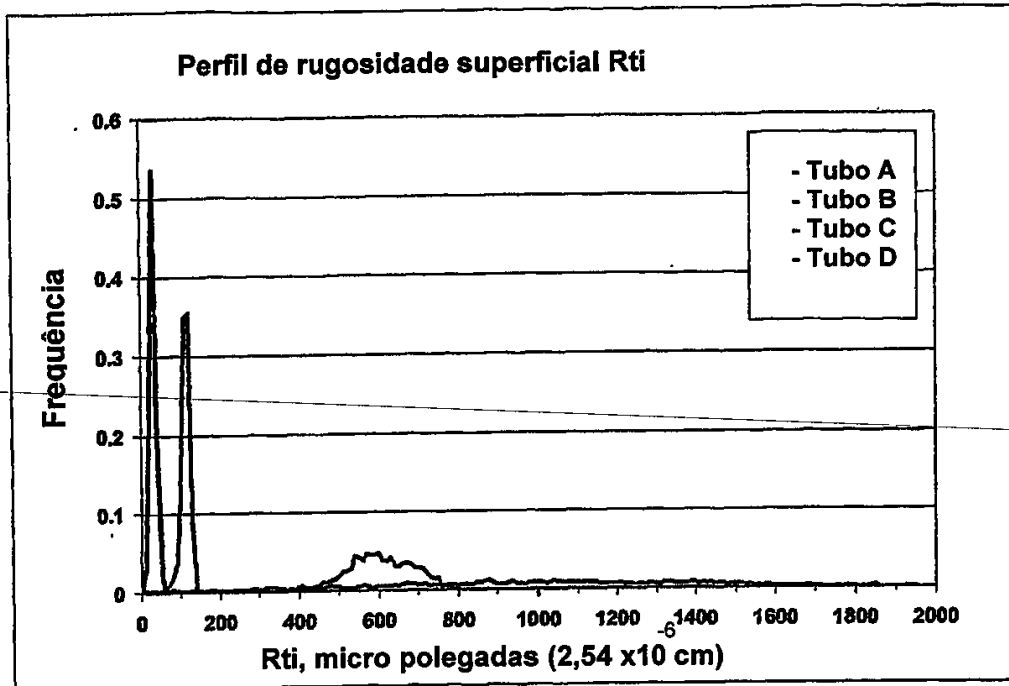


FIG.11 Distribuição Rti de rugosidade

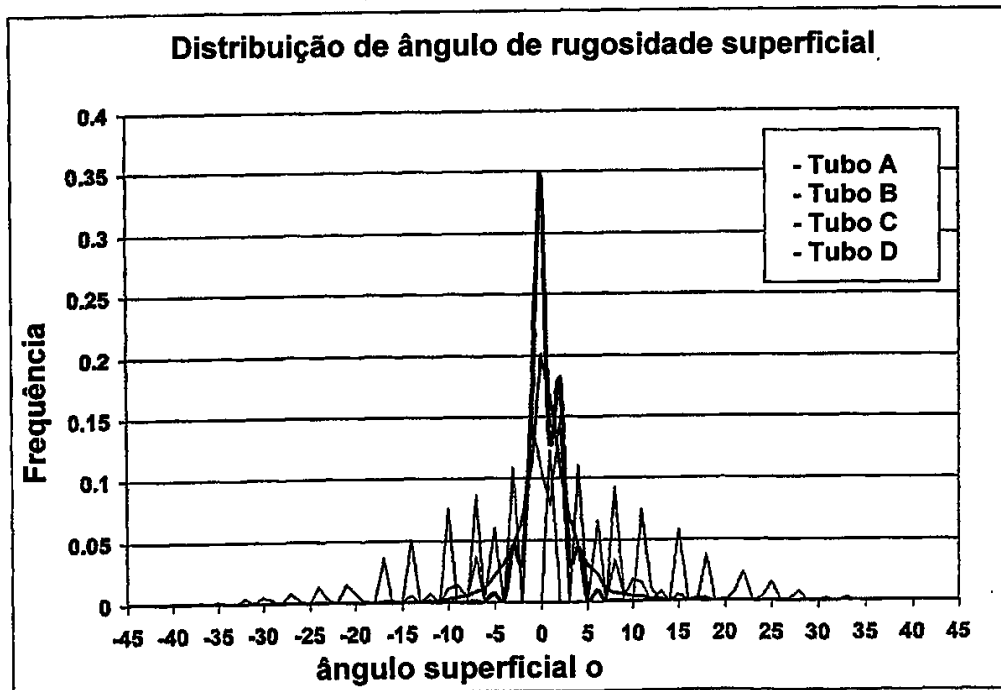


FIG.12 Distribuição de ângulo de rugosidade superficial

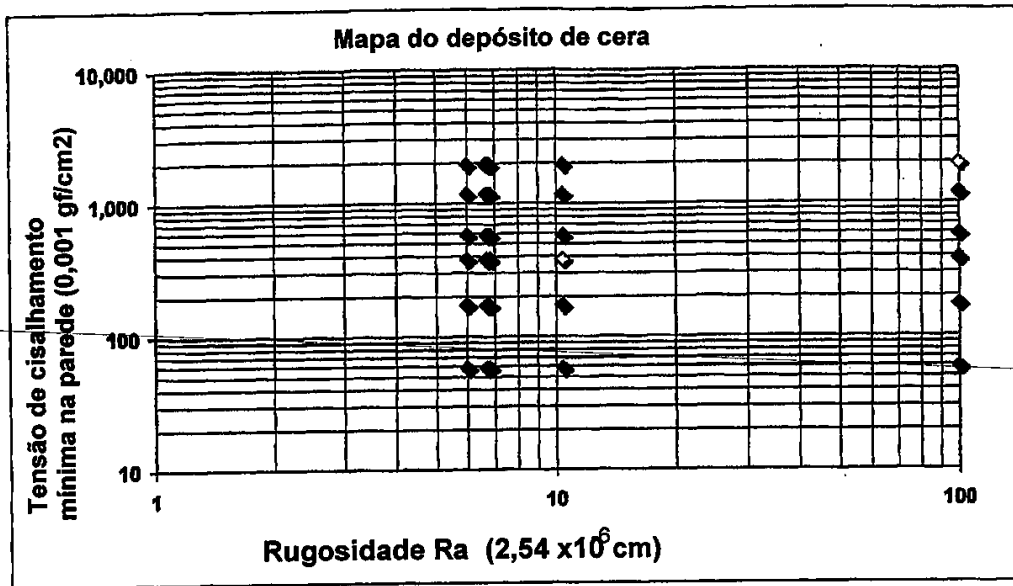


FIG. 13 Mapa de depósito- Efeito de tensão de cisalhamento na parede e rugosidade superficial na deposição

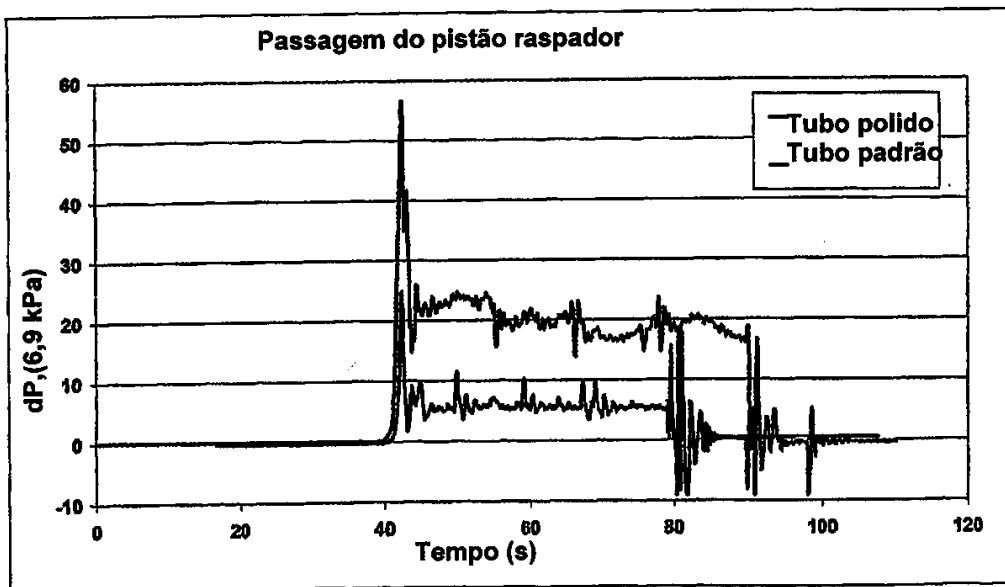


FIG.14 Queda de pressão através de seção de teste durante passagem do pistão raspador