

**"MÉTODO E DISPOSITIVO PARA PARTIDA A FRIO DE UM SISTEMA DE
PRODUÇÃO SUBMARINA"**

Campo da Invenção

5 A presente invenção se refere a um método e um
dispositivo para dar partida a um fluxo de hidrocarbonetos
propenso a formar hidratos, através de uma linha de
escoamento de produção submarina, cuja partida é feita numa
condição fria, durante uma parada ou início de um sistema
10 de produção submarina.

Em particular, a presente invenção se refere a um
método e um dispositivo para produção de hidrocarbonetos
dominantes de petróleo isentos de hidratos (ao contrário da
produção de gás substancialmente seco) em longas linhas de
15 escoamento submarinas (por exemplo, da ordem de 100 km). Em
intervalos de longas distâncias, meios de alívio de
formação de hidratos e cera em estado uniforme são obtidos,
através da manutenção de transferência de fluido quente em
uma linha de escoamento isolada termicamente. A invenção se
20 refere à partida em condições frias de tal linha de
escoamento.

Antecedentes da Invenção

A transferência de petróleo não-processado de um
25 reservatório para uma plataforma em distâncias de até 25 km
é bastante comum e projetos mais recentes tem implementado
esquemas para distâncias maiores que 50 km. A maioria
dessas instalações usa uma ou diversas linhas de escoamento
isoladas termicamente, com o objetivo de manter os fluidos
30 bem quentes no estado uniforme, de modo a evitar a formação
de hidratos, ceras e asfaltenos.

A maioria de tais instalações utiliza uma
configuração dupla de linha de escoamento, o que facilita a
circulação de petróleo bruto estabilizado no sistema de

linha de escoamento antes de uma parada planejada, dessa forma, eliminando a sensibilidade aos efeitos indesejáveis de baixas temperaturas. Ao reiniciar a produção, metanol e outros produtos químicos de inibição de hidratos, são
5 injetados dentro da corrente do poço para evitar que os hidratos na corrente do poço sejam resfriados pela tubulação da linha de escoamento. Alternativamente, a circulação de petróleo bruto quente estabilizado é usada para aquecer as linhas de escoamento.

10 Para casos de extremas distâncias (por exemplo, da ordem de 100 km), o uso de um sistema duplo de linha de escoamento para produção (além de uma tubulação de injeção de água) pode se tornar inviável economicamente.

15 Resumo da Invenção

Constitui um objetivo da presente invenção, proporcionar um método mais econômico e um dispositivo, através do qual possa ser estabelecido um regime isento de hidratos numa linha de escoamento de produção, durante uma
20 parada de um sistema de produção ou numa partida inicial do dito sistema.

Outro objetivo da presente invenção é proporcionar um método e um dispositivo, através do qual o uso de meios químicos de inibição de formação de hidratos
25 possa ser evitado no curso do estabelecimento de um regime isento de hidratos, numa linha de escoamento de produção, durante uma parada de um sistema de produção ou numa partida inicial do dito sistema.

Ainda outro objetivo da presente invenção é
30 proporcionar um método e um dispositivo, pelo qual o uso de linhas de escoamento de dupla configuração possa ser evitado, no curso da manutenção ou no estabelecimento de um regime isento de hidratos, numa linha de escoamento de

produção, durante uma parada de um sistema de produção ou numa partida inicial do dito sistema.

Ainda outro objetivo da presente invenção é proporcionar um método e um dispositivo, pelo qual a taxa
5 de energia de qualquer instalação de aquecimento elétrico direto (DEH) instalado na linha de escoamento possa ser reduzida.

Esses e outros objetivos são alcançados pelo método e dispositivo conforme definidos nas reivindicações
10 anexas.

Vantajosamente, o método e dispositivo da presente invenção são implementados para partida numa condição fria de uma linha de escoamento submarina, para conduzir um fluxo de hidrocarbonetos, tal como, um fluxo de
15 hidrocarbonetos não-processado dominante de petróleo de fase múltipla, cuja linha de escoamento é durante uma (longa) parada ou durante uma primeira partida, carregada com água de injeção proveniente de uma linha produzida de injeção de água.

Resumidamente, o método da invenção é caracterizado pela descarga de água aquecida dentro da linha de escoamento, preferivelmente, em grandes quantidades, a partir de um reservatório de água, para aquecimento da linha de escoamento, antes de descarregar em
25 tal linha hidrocarbonetos propensos à formação de hidratos, de modo que quando os hidrocarbonetos são introduzidos (em um instante de tempo) dentro da linha de escoamento, se estabelece um regime isento de hidratos devido à elevada temperatura.

Em modalidades preferidas, o presente método, vantajosamente, inclui uma ou diversas das seguintes etapas:

- conectar hidraulicamente o reservatório à linha de escoamento, a jusante do sistema de produção, ou a uma

- instalação de bomba que proporciona fluxo de produção através da linha de escoamento;
- conectar hidráulicamente o reservatório a uma linha de injeção de água, através de um primeiro conduto, o qual
5 supre água ao reservatório para aquecimento;
 - misturar o volume injetado de água aquecida, o qual é descarregado do reservatório através de um segundo conduto, com a água que é descarregada da linha de injeção de água através de um terceiro conduto, preferivelmente, por meio
10 de um edutor, o qual é acionado, preferivelmente, através da pressão na linha de injeção de água;
 - controlar o fluxo de água dentro e/ou fora do reservatório por meio de válvulas de controle de pressão e/ou válvulas de controle de fluxo, de modo que a pressão
15 no reservatório permaneça essencialmente constante e essencialmente na pressão ambiente;
 - aquecer o volume de água no reservatório, o qual é equipado com isolamento térmico e um dispositivo aquecedor, em que o dispositivo aquecedor é disposto sobre um módulo
20 separadamente recuperável, incluindo um motor e uma bomba para circulação de água;
 - proporcionar um circuito indutivo para um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor;
 - construir o enrolamento primário do circuito indutivo na
25 forma de um enrolamento de transformador normal, formando o secundário na forma de um pedaço de metal sólido, e depositando, essencialmente, todo o pó no circuito magnético, na forma de calor resultante das correntes parasitas geradas no pedaço de metal sólido;
 - 30 - proporcionar um circuito condutivo para um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor;
 - desviar energia para o elemento aquecedor, a partir de um suprimento de energia idealizado para outra finalidade numa operação em estado uniforme, tal como, para energizar uma

bomba de descarga de fluido ou qualquer outro equipamento submarino energizado eletricamente;

- operar um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor, com um gás à base de oxigênio-hidrogênio, suprido na forma de suprimentos separados de gás para hidrogênio e para oxigênio, respectivamente;

- queimar hidrogênio em oxigênio, e adicionar o produto na forma de vapor ao volume de água no reservatório;

- conectar as linhas de suprimento de hidrogênio e oxigênio a uma célula de combustível, ativando a célula de combustível para proporcionar a energia elétrica necessária para o aquecimento e/ou ao equipamento de controle de operação associado ao reservatório e/ou ao sistema de produção submarina;

- incluir no reservatório uma fase gasosa efetiva para aumentar as constantes de tempo da função controle de pressão/circuito controle de pressão;

- injetar um tamponamento de água aquecida antes do fluxo de produção, através da linha de escoamento, o tamponamento de água tendo uma extensão na faixa de 5-100 km e uma temperatura de água de 90-30°C.

Para a prática do presente método, é proporcionado um dispositivo para dar partida numa condição fria durante uma parada ou durante uma primeira partida de um sistema de produção submarina, dito sistema de produção compreendendo um fluxo de hidrocarbonetos propensos a formar hidratos, através de uma linha de escoamento submarina. O dispositivo compreende:

- um reservatório contendo água;

- um dispositivo aquecedor efetivo para aquecimento da água contida no reservatório; e

- um dispositivo de injeção pelo qual um volume de água aquecida pode ser descarregado do reservatório dentro da linha de escoamento, de modo a estabelecer pela elevada

temperatura um regime isento de hidratos na linha de escoamento, antes da descarga do fluxo de hidrocarboneto proveniente do sistema de produção submarina.

Nas modalidades preferidas, o dispositivo inclui
5 uma ou diversas das seguintes características:

- o reservatório é conectado hidráulicamente através do conduto à linha de escoamento a jusante do sistema de produção ou a uma instalação de bomba que proporciona fluxo de produção através da linha de escoamento;
- 10 - o reservatório, através de um primeiro conduto, é conectado hidráulicamente a uma linha de injeção de água, a qual supre água ao reservatório de água quente para aquecimento;
- a água aquecida descarregada do reservatório através de
15 um segundo conduto, é misturada com a água que é descarregada através de um terceiro conduto da linha de injeção de água, e injetada dentro da linha de escoamento através de um segundo conduto, preferivelmente, por meio de um edutor, o qual é acionado, preferivelmente, através da
20 pressão na linha de injeção de água;
- a pressão no reservatório é mantida essencialmente constante e numa pressão essencialmente ambiente por meio de válvulas de controle de pressão e/ou válvulas de controle de fluxo, que controlam o fluxo de água dentro
25 e/ou fora do reservatório;
- o reservatório é equipado com isolamento térmico e um dispositivo aquecedor, dito dispositivo aquecedor sendo instalado em um módulo de recuperação separado, incluindo um motor e uma bomba para circulação de água;
- 30 - um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor é ativado por um circuito indutivo, dito circuito indutivo tendo um primário construído na forma de um enrolamento normal de transformador, e um secundário formado como uma peça de metal sólido, em que substancialmente toda a energia no

circuito magnético é depositada na forma de calor resultante de correntes parasitas geradas no pedaço de metal sólido;

5 - um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor é alternativamente ativado por um circuito condutivo, no qual a energia do aquecedor é desviada de um suprimento de energia idealizado para outra finalidade numa operação em estado uniforme, tal como, a finalidade de energizar uma bomba de descarga de fluido ou outro equipamento submarino
10 eletricamente energizado;

- um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor é ativado por um gás à base de oxigênio-hidrogênio, fornecido na forma de suprimentos de gás separados para hidrogênio e oxigênio, respectivamente, o calor sendo gerado pela queima
15 do hidrogênio em oxigênio e o produto na forma de vapor sendo adicionado ao conteúdo de água no reservatório de água quente;

- as linhas de suprimento de hidrogênio e oxigênio são conectadas a uma célula de combustível ativada para prover
20 a energia elétrica necessária para aquecimento e/ou para o equipamento de controle de operação associado com o reservatório de água quente e/ou com o sistema de produção submarina;

- o reservatório contém uma fase gasosa efetiva para
25 aumentar as constantes de tempo da função controle de pressão/circuito de controle de pressão.

Um conceito de única linha de escoamento, de acordo com a presente invenção, oferece vantagens em relação a um sistema de linha de escoamento duplo, tanto
30 com relação à perda de calor no ambiente, como com relação à aquisição e ao custo de instalação.

Outras vantagens, assim como, características vantajosas da presente invenção se tornarão evidentes a partir da descrição seguinte e das reivindicações anexas.

Breve Descrição dos Desenhos

A invenção é divulgada a seguir, fazendo-se referência aos desenhos diagramáticos anexos, os quais
5 ilustram modalidades da invenção que são divulgadas como Exemplos não-limitativos. Nos desenhos:

- a figura 1 ilustra os efeitos da descarga de um grande volume de água quente dentro de uma linha de escoamento de produção a frio (11 horas);
- 10 - a figura 2 ilustra os efeitos da descarga de um grande volume de água quente dentro de uma linha de escoamento de produção a frio (23 horas);
- a figura 3 é um esquema diagramático de um reservatório térmico conectado a uma linha de injeção de água e a uma
15 linha de escoamento de produção, respectivamente;
- a figura 4 é um simplificado PFD (diagrama de fluxo de processo), mostrando um tanque reservatório térmico, um circuito aquecedor e dispositivos acessórios; e
- a figura 5 ilustra o princípio básico de um circuito de
20 aquecimento indutivo e a figura 6 ilustra uma instalação simples do tanque reservatório térmico.

Descrição Detalhada de Modalidades Preferidas da Invenção

A descrição do cenário de produção "fundo do mar
25 para a costa" de um campo específico em consideração será usada em seguida, para ilustrar o uso de um reservatório térmico, em conformidade com a presente invenção. Deve ser observado que a invenção não se restringe ao cenário descrito, podendo ser aplicada a uma variedade de cenários
30 de campos e tendo desenvolvimento com valores de parâmetros bastante diferentes. No entanto, a fim de ilustrar o efeito técnico da invenção, foi selecionado um caso específico com a finalidade de aplicar análise termodinâmica sobre os efeitos técnicos que podem ser obtidos. Cálculos globais de

condições de fluxo numa linha de escoamento de produção (12) foram executados por meio de técnicas e ferramentas amplamente aceitas (OLGA). Assim, os efeitos da introdução de água aquecida dentro da linha de escoamento de produção
5 são bem demonstrados para condições de tempo real.

As características de um cenário do estado da técnica que é aqui usado para fins ilustrativos são as seguintes:

- distância do sistema de produção submarina para a costa:
10 95 km;
- uma linha de escoamento de produção (12) e uma linha de injeção de água (10), ambas com 22 polegadas (aproximadamente, 600 mm) de diâmetro nominal;
- instalação de bomba de múltiplas fases (5) e (6),
15 proporcionando a pressão necessária para produção de transferência de fluido através da linha de escoamento (12);
- linha de escoamento de produção (12), a qual é isolada para $4 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$;
- 20 - pressão e temperatura da cabeça de poço com escoamento baixo - a temperatura é suficiente para manter o fluido de produção isento de hidratos em todos os casos de estado uniforme, porém, a pressão natural é insuficiente para propelir os fluidos para a costa;
- 25 - durante a parada (e após um certo período de tempo de resfriamento), a linha de produção (12) tem uma circulação por meio de água proveniente de uma linha de injeção (10), usando um *pig*;
- ao reiniciar sob condições frias, um volume de até 2000
30 m^3 de metanol é injetado dentro da linha de escoamento de produção (12), a um custo, tipicamente, de 0,6 milhões de USD, conforme um procedimento típico de partida observado no estado da técnica.

Com referência às figuras 3, 4 e 6 constantes nos desenhos, uma modalidade da invenção, preferivelmente, compreende um tanque cilíndrico isolado (1), localizado próximo a uma instalação de produção submarina (13). Esta
5 pode ter a forma de um caixão perfurado de uma plataforma de perfuração ou de um DSV (Embarcação de Apoio de Mergulho), sendo forrada com uma parede cilíndrica externa. O tanque é pendurado no cilindro externo, retirado da plataforma de perfuração, preferivelmente, usando uma
10 coluna de perfuração ou de um DSV usando o guindaste do convés traseiro. A movimentação do cilindro e do tanque para a interface da coluna de perfuração é feita diretamente pela suspensão desses dispositivos do convés de um barco de suprimento. Supõe-se que o volume do tanque é
15 de 1000 m³, por exemplo, 10 metros (H, altura) por 5,6 metros (raio), alternativamente, com um dispositivo de levantamento pesado na área de instalação de estruturas de gabaritos, onde a instalação pode ser usada. Uma terceira opção é um reboque subsuperficial, conforme recentemente
20 demonstrado em projetos de desenvolvimento na área submarina, apresentando um método de instalação de custo econômico. O tanque (1) define um reservatório contendo água aquecida, conforme será explicado a seguir.

A base do tanque, através de um primeiro conduto
25 (36) e de uma válvula (35) é hidraulicamente conectável à linha de injeção (10), o topo do tanque, através de um segundo conduto (37) e de uma válvula (4), é hidraulicamente conectável à linha de escoamento de produção (12). O tanque (1), durante produção em estado
30 uniforme, é enchido com água à temperatura, por exemplo, de 250°C, supondo o aquecimento durante um longo período de tempo (embora a produção esteja se processando em estado uniforme) por meio de uma linha de suprimento de energia dedicada (não mostrado), em níveis moderados de energia, ou

seja, da ordem de 500 kW. Opcionalmente, na parada, os suprimentos de energia do motor da bomba de múltiplas fases (8) e (9) podem ser desviados por meio de um dispositivo interruptor ou de comutação submarino (7), para suprir
5 energia a aquecedores elétricos (2) e trazer a temperatura para o nível exigido, suposta para fins da presente discussão como sendo de 250°C, o que corresponde a uma pressão de aproximadamente 40 bar (4000 kPa), isto é, a pressão ambiente a 400 metros de profundidade da água para
10 o caso específico usado no exemplo ilustrativo.

Quando a produção é interrompida, a linha de escoamento (12) é purgada com água de injeção proveniente da linha de injeção de água (10). Um *pig*, normalmente, seria liberado de um lançador de *pigs* (contendo uma bateria
15 de *pigs* (não mostrado)) para separar os hidrocarbonetos da água de purga. A linha de escoamento (12) no exemplo em questão apresenta um volume de cerca de 15.000 m³.

Ao purgar a linha de escoamento (12) com um volume de 1000 m³ de água à temperatura de 250°C
20 proveniente do reservatório de água quente (1), misturada com um adequado volume de água proveniente de linha de injeção (10), o teor de energia térmica combinada introduzido na linha de escoamento (12) será suficiente para aquecer a tubulação da linha de escoamento (12) para
25 uma temperatura adequada para iniciar uma produção regular. A água fria na linha de injeção (10) é descarregada através de um terceiro conduto (38), que será misturada com a água quente proveniente do tanque (1). A mistura, preferivelmente, é obtida por meio de um edutor (15), o
30 qual é acionado, preferivelmente, pela pressão da linha de injeção (10), dessa forma, produzindo água a uma temperatura que efetivamente aquece a linha de escoamento (12). Exemplos específicos de cálculo apresentados abaixo ilustram os efeitos que podem ser obtidos mediante

introdução de água quente na linha de escoamento de produção, conforme aqui mencionado.

Mediante uso de metanol para comparação, e supondo um dia depois de tempo de vida do campo, um pior cenário de injeção de metanol poderia ser da ordem de 2.000 m³ (tomado como 25% em volume da fase aquosa, supondo uma fração de 50% de água em volume, isto é, em torno de 8.000 m³ de água na linha de escoamento) a um custo de cerca de 600 kUSD. Uma fração de 50% de água no presente contexto é uma estimativa conservadora, uma vez que os poços são normalmente produzidos para uma fração de água de 90%.

Em termos de OPEX, isso poderia sugerir vantagem em favor do reservatório térmico. Em termos de CAPEX, a linha de metanol de diâmetro normalmente grande poderia ser comparada com um caso de uma menor linha de suprimento, e a soma das instalações do tanque, incluindo os sistemas de energia/força submarina e/ou as instalações de *manifold*. Para longos percursos, essa comparação, normalmente, irá se colocar a favor do reservatório térmico.

O tanque (1) irá necessitar de substancial isolamento térmico (2). Em termos de confinamento de pressão, o tanque é proposto de ter uma compensação com uma proteção de excesso de pressão (19) e (20). Uma vez que é disponível uma injeção de água relativamente limpa, uma menor descarga acidental para o ambiente é assumida como aceitável. Assim, o tanque é apenas solicitado a manipular forças mecânicas. Um excesso de pressão acidental pode ser de característica externa, sendo compensado por meio de injeção de água dentro do tanque (1) proveniente da linha de injeção (10) ou tal excesso de pressão pode ser de característica interna, compensado por alívio de pressão para o ambiente. As válvulas de isolamento sugeridas (19) e (20) podem ser controladas a partir de um *pod* (câmara estanque) de controle de *manifold* ou a partir de um *pod*

dedicado (não mostrado). As conexões de processo entre o *manifold* e o tanque (1), tipicamente, podem se apresentar na forma tubos de ponte ou de by-pass rígidos (não mostrado, equipamento submarino padrão), similar às
5 conexões tipicamente usadas entre os conjuntos de válvulas e os *manifolds*.

Com referência à figura 5, o elemento aquecedor (2), numa modalidade preferida, é organizado na forma de indutores, baseados em correntes indutoras parasitas,
10 dentro de um bloco sólido de aço (24) (similar a um transformador sem enrolamento secundário e tendo um bloco sólido de aço, ao invés de ferro laminado para um núcleo). Os enrolamentos primários (22) (supostamente organizados numa configuração trifásica) devem ser feitos de cabo
15 isolado. Os enrolamentos indutores, todas as vezes, são localizados em um ambiente frio. Na modalidade preferida, toda a instalação de aquecedor (2), com bomba de circulação (14) e conector tipo união de água (não mostrado) é organizado como um módulo separado, o qual pode ser
20 recuperado independentemente do tanque para manutenção. Todas as conexões e ferramentas de processo necessárias consistem de modelos à prova de condição submarina.

A injeção de 1.000 m³ de água quente e da água da linha de injeção (10) é executada mediante controle
25 simultâneo da entrada de fluxo e saída de fluxo do reservatório térmico e da linha de injeção (10) dentro da linha de produção (12), respectivamente. Um controle de *choke* (dispositivo tipo regulador de escoamento ou afogador) pode ser necessário como sendo mais rápido do que
30 um modelo escalonado convencional, e um controle elétrico é visualizado. Adequadas válvulas de controle (16), (17) e (18) são disponíveis como componentes à prova de condição submarina.

5 Numa modalidade preferida, todo o volume de água é injetado a jusante da instalação de bomba (5), (6), mediante um excesso de pressão disponível na linha de injeção (10) e no reservatório térmico (1), antes do bombeamento da produção se realizar. A injeção é executada por meio de um edutor (15), o qual é ativado pela pressão na linha de injeção (10) e onde a água proveniente da linha de injeção (10) e do tanque (1) é misturada durante a injeção na linha de escoamento de produção (12).

10

Exemplo

Um caso exemplificativo é analisado a seguir, com a finalidade de ilustração de um cenário típico.

15 Obviamente, o conceito também se aplica a outros valores de parâmetros associados a outros cenários.

Análise de Garantia de Fluxo com Cálculo de Temperatura de Parede

Dados da Instalação:

Comprimento da Tubulação: 93.000 m

20 ID: 22"

Espessura da Parede: aço carbono de 1"

Isolamento: Polipropileno 680 1"/2"

Temperatura da Água Ambiente: 4°C

Coeficiente Global de Transferência de Calor:

25 Isolamento de 1": ~6,5 W/m²K

Isolamento de 2": ~3,5 W/m²K

Fluxo de Água: 0,4 m³/s = 34.560 m³/d

Velocidade do Fluxo: 1,63 m/s

Reservatório de Água: 1.000 m³ à temperatura de 250°C.

30

Ao misturar a água do reservatório quente com água fria (temperatura ambiente) em diversas proporções, se obtém a tabela de dados seguinte para temperatura de mistura e duração de injeção até que a água quente seja

exaurida, dada a dimensão do tubo e o fluxo mencionados acima. Detalhes do fluxo de fluido para esse teste em particular são apresentados como segue:

Proporção Mistura	Fluxo quente	Fluxo frio	Temperatura Mistura	Tempo de Injeção	Extensão do Tamponamento de Água Quente
$x = F_h/F_c$	m^3/s	m^3/s	Graus °C	Minuto	Metro
1	0,4	0	250	42	4.078
0,5	0,2	0,2	127	83	8.155
0,2	0,08	0,32	53,2	208	20.388
0,175	0,07	0,33	47,05	238	23.300
0,15	0,06	0,34	40,9	278	27.184
0,125	0,05	0,35	34,75	333	32.620
0,1	0,04	0,36	28,6	417	40.775
0,09	0,036	0,364	26,14	463	45.306
0,08	0,032	0,368	23,68	521	50.969
0,07	0,028	0,372	21,22	595	58.250
0,06	0,024	0,376	18,76	694	67.959
0,05	0,02	0,38	16,3	833	81.551

5

Análise Térmica

Aço Carbono

C_p : 480 J/kgK

k : 45 W/mK

10 ρ : 7.860 kg/m³

Polipropileno 680

C_p : 2.000 J/kgK

k : 0,155 J/mK

ρ : 680 kg/m³

15 Água:

C_p : 4.200 J/kgK

ρ : 1.040 kg/m³.

Um reservatório térmico de 1.000m³ sob temperatura de 250°C, nas condições ambientes de 4°C, terá uma entalpia em excesso de $\sim 1 \cdot 10^{12}$ J.

5 A tubulação de ferro nesse exemplo terá uma capacidade térmica total de $\sim 1,6 \cdot 10^{10}$ J/K, proporcionando um aumento de temperatura teórico (adiabático) de 63°K. A perda de calor e de capacidade térmica do isolamento de polipropileno irá diminuir o valor desse número, mas a
10 análise mostra que existe suficiente energia disponível para elevar a temperatura do tubo nesse exemplo ilustrativo.

Simulação

15 As simulações são executadas conforme especificado abaixo e ilustradas nas figuras 1 e 2 dos desenhos. Nas figuras 1 e 2, a escala horizontal indica o comprimento do tubo da linha de escoamento em metros, a escala vertical à direita indica a temperatura em °C da
20 superfície da parede interna do tubo, e a escala vertical à esquerda indica as frações de volume de água/petróleo de um fluxo total de 1 (100%).

A simulação foi processada durante três horas com água fria em uma tubulação resfriada, antes da injeção de
25 água quente. No exemplo abaixo, a mistura foi selecionada tendo uma temperatura da água de 34,75°C. Assim, essa temperatura foi mantida por um período de tempo de 333 minutos para produzir um tamponamento de água quente de 32 km de extensão. Após a injeção de água quente, uma produção
30 normal de petróleo foi imediatamente iniciada.

Os detalhes de produção para esse teste em particular são:

- Temperatura: 53°C

- Velocidade de Fluxo: 21.383 m³/s/d líquido
- GOR (Proporção de Gás/Petróleo): 223
- Fração de água (WC): 0,01.

Esse particular fluido de produção, com um alto teor de gás e uma baixa fração de água, é propenso a um rápido resfriamento com associada formação de hidratos, devido ao trabalho de expansão e à baixa capacidade térmica. O processamento do teste sem aquecimento intermediário, isto é, produção de petróleo dentro de uma tubulação fria, mostrou que os hidrocarbonetos na zona de transição se situaram bem dentro da região de hidratos, conforme se esperava.

As simulações em que foi inserido um *pig* durante mudança de água/produção são também mostradas. Um *pig* é vantajosamente usado ou, ainda, um gás natural pode invadir o tamponamento de água aquecida e uma tubulação não-aquecida, desde que sejam fornecidos suficiente tempo e/ou distância.

A figura 1 mostra o perfil de temperatura de parede interna para o fluido através da tubulação e a fração de volume de água durante algum tempo dentro da simulação. O tamponamento de água quente é evidente, seguido pelo petróleo. A transição abrupta da fração de água para petróleo é devida a um *pig* que é processado no interior da tubulação para separar as frações de volume de água/petróleo.

Na figura 2, o mesmo caso é mostrado em um período de tempo próximo ao ponto em que o tamponamento de água quente está próximo de sair da tubulação, conforme visto no lado direito do diagrama, o que é óbvio pela descontinuidade de água induzida pelo *pig*. A temperatura da parede nesse ponto é de 27°C.

Nenhum dos testes realizados com aquecimento se enquadrou dentro do regime de hidratos, mediante o uso de qualquer espessura do isolamento.

Opcionalmente, se for desejável um rápido ciclo de aquecimento da água do reservatório térmico, a instalação de bomba (5, 6) pode ser usada para prover um sistema de aquecimento mais rápido. Ao desviar a água do lado de entrada do tanque (1) (água fria) para a entrada da(s) bomba(s) (5), operar a(s) bomba(s) (5) e descarregar a água de alta pressão através das válvulas de *choke* (reguladoras de escoamento) (circuito não mostrado) no lado de saída do tanque (água quente), a total potência nominal do sistema de bombas (5) pode ser hidraulicamente desviada para aquecimento. Isso iria aumentar a complexidade da tubulação do *manifold*, do sistema de válvulas e isolamento, porém, é tecnicamente factível, necessitando apenas de componentes testados no campo. Dependendo do teor de areia na água de injeção, pode ocorrer um significativo desgaste nos *chokes* (elementos reguladores de escoamento), mas, os tempos de operação seriam de curta duração. Diversos elementos redutores de pressão dispostos em série poderiam, substancialmente, reduzir o desgaste. A(s) bomba(s) de múltiplas fases (5) são alimentadas com água fria a partir da base do tanque e teriam de ser monitoradas muito próximo da água quente na entrada da bomba. Essa ação somente pode prosseguir até a máxima temperatura de operação das unidades de bombeamento, pelo que, além desse ponto, outros meios de aquecimento serão empregados, conforme descrito.

O desvio da energia elétrica dentro dos aquecedores indutivos pode ser também conseguido. Isso iria precisar de uma unidade de comutação submarina (7), substancialmente indutiva, baseada no(s) elemento(s) aquecedor(es) (2). Supõe-se que essa opção seja significativamente mais custosa do que o sistema de desvio

hidráulico, mas, de qualquer modo, pode alcançar a sugerida temperatura de 250°C. Alternativamente, podem ser usados elementos aquecedores condutivos.

Em termos de controle e monitoramento, o controle da pressão interna no tanque (1) pode parecer o mais crítico. A instrumentação, essencialmente, constaria de sensores de pressão e temperatura (ver as referências PT e TT na figura 3) de modelo submarino comum. Na medida em que são possíveis diversos sensores, os mesmos são instalados, preferivelmente, em módulos aquecedores separadamente recuperáveis.

Numa modalidade preferida, um ou diversos acumuladores hidráulicos ou pneumáticos são montados na parte inferior do tanque, na seção fria (não mostrado). A provisão de uma fase gasosa reduz o problema de controle de pressão mediante aumento das constantes de controle do tempo.

Logicamente, a invenção não é de nenhum modo restrita às modalidades descritas acima. Ao contrário, diversas possibilidades de modificações se tornam evidentes para um especialista versado na técnica, sem que seja afastada a idéia básica da invenção, tal como definida nas reivindicações anexas.

Breve Descrição das Referências dos Desenhos

- (1) tanque de armazenamento de água quente;
- (2) circuito aquecedor elétrico;
- 5 (3) isolamento térmico;
- (4) válvula de isolamento;
- (5) bomba de múltiplas fases ou sistema de bombas de múltiplas fases;
- (6) motor de transmissão para a bomba de múltiplas fases;
- 10 (7) interruptores de circuito ou chaves de isolamento;
- (8) transformador;
- (9) linha de suprimento de energia (cabo) proveniente da costa;
- (10) linha de injeção de água;
- 15 (11) linha de suprimento de energia para um aquecedor elétrico;
- (12) linha de escoamento de produção;
- (13) representação simbólica de um sistema de produção submarina;
- 20 (14) bomba de pequena circulação;
- (15) edutor;
- (16) válvula tipo choke (reguladora de escoamento) ou válvula de controle de pressão;
- (17) válvula tipo choke ou válvula de controle de pressão;
- 25 (18) válvula tipo choke ou válvula de controle de pressão;
- (19) válvula de alívio de excesso de pressão;
- (20) válvula de alívio de excesso de pressão;
- (21) válvula de isolamento;
- (22) representa os enrolamentos primários de um circuito aquecedor indutivo;
- 30 (23) núcleo de ferro laminado de um circuito indutivo trifásico;
- (24) haste de aço sólido;
- (30) acessório de suspensão ou levantamento;

- (31) coluna de perfuração ou sistema de cabos;
- (32) solo do fundo do mar;
- (35) válvula de isolamento;
- (36) primeiro conduto para conectar hidráulicamente o
5 reservatório (1) e a linha de injeção (10);
- (37) segundo conduto para conectar hidráulicamente o
reservatório (1) e a linha de escoamento de produção (12);
- (38) terceiro conduto para descarregar a mistura na água
proveniente da linha de injeção (10).

REIVINDICAÇÕES

1. Método para dar partida, numa condição fria posterior a uma parada ou na partida inicial de um sistema de produção submarino (13), a um fluxo de hidrocarbonetos propenso a formar hidratos, através de uma linha de escoamento de produção submarina (12), **caracterizado** pelas etapas de:

- prover um volume de água aquecida em um reservatório de água quente (1), e
- injetar o volume de água aquecida proveniente do reservatório de água quente na linha de escoamento, de modo a estabelecer mediante uma elevada temperatura, um regime isento de hidratos na linha de escoamento, antes da descarga do fluxo de hidrocarbonetos proveniente do sistema de produção submarino.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelas etapas de conectar hidraulicamente o reservatório (1) à linha de escoamento (12), localizada a jusante do sistema de produção, ou a uma instalação de bomba (5, 6), que proporciona um fluxo de produção através da linha de escoamento (12).

3. Método, de acordo com as reivindicações 1 ou 2, **caracterizado** pela etapa de conectar hidraulicamente o reservatório (1) a uma linha de injeção de água (10) através de um primeiro conduto (36), fornecendo água ao reservatório (1) para aquecimento da mesma.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pela etapa de misturar o volume injetado de água aquecida, o qual é descarregado do reservatório (1) através de um segundo conduto (37), com água proveniente da
5 linha de injeção de água (10), que é descarregada através de um terceiro conduto (38), preferivelmente, por meio de um edutor (15), o qual é acionado, preferivelmente, através da pressão na linha de injeção de água (10).

5. Método, de acordo com quaisquer das
10 reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pela etapa de controlar o fluxo de água dentro e/ou fora do reservatório (1) por meio de válvulas de controle de pressão e/ou válvulas de controle de fluxo, de modo que a pressão no reservatório permaneça essencialmente constante e essencialmente na
15 pressão ambiente.

6. Método, de acordo com quaisquer das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pela etapa de aquecer o volume de água no reservatório (1), o qual é equipado com isolamento térmico (3) e um dispositivo aquecedor (2), em
20 que o dispositivo aquecedor (2) é disposto sobre um módulo separadamente recuperável, incluindo um motor e uma bomba para circulação de água.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pela etapa de proporcionar um circuito
25 indutivo para um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor (2).

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pela etapa de construir o enrolamento

primário do circuito indutivo na forma de um enrolamento de transformador normal, formando o secundário na forma de um pedaço de metal sólido, e depositando, essencialmente, todo o pó no circuito magnético, na forma de calor resultante das correntes parasitas geradas no pedaço de metal sólido.

9. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pela etapa de proporcionar um circuito condutivo para um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor (2).

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pela etapa de desviar energia para o elemento aquecedor, a partir de um suprimento de energia idealizado para outra finalidade numa operação em estado uniforme, tal como, para energizar uma bomba de descarga de fluido.

15. Método, de acordo com quaisquer das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pela etapa de operar um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor (2) com um gás à base de oxigênio-hidrogênio, suprido na forma de suprimentos separados de gás para hidrogênio e para oxigênio, respectivamente.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pela etapa de queimar hidrogênio em oxigênio, e adicionar o produto na forma de vapor ao volume de água no reservatório (1).

25. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pela etapa de conectar as linhas de suprimento de hidrogênio e oxigênio a uma célula de combustível, ativando a célula de combustível para

proporcionar a energia elétrica necessária para o aquecimento (2) e/ou ao equipamento de controle de operação associado ao reservatório (1) e/ou ao sistema de produção submarino (13).

5 14. Método, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pela etapa de incluir no reservatório uma fase gasosa efetiva para aumentar as constantes de tempo da função controle de pressão/circuito controle de pressão.

10 15. Método, de acordo com quaisquer das reivindicações anteriores, **caracterizado** pela etapa de injetar um tamponamento de água aquecida antes do fluxo de produção, através da linha de escoamento, o tamponamento de água tendo uma extensão na faixa de 5-100 km e uma
15 temperatura de água de 90-30°C.

16. Dispositivo para dar partida, numa condição fria posterior a uma parada ou na partida inicial de um sistema de produção submarino (13), a um fluxo de hidrocarbonetos propenso a formar hidratos, através de uma
20 linha de escoamento de produção submarina (12), **caracterizado** pelo fato de apresentar:

- um reservatório (1) contendo água;
- um dispositivo aquecedor (2), efetivo para aquecer a água contida no reservatório (1); e
- 25 - um dispositivo de injeção (15), através do qual um volume de água aquecida pode ser descarregada do reservatório dentro da linha de escoamento, de modo a estabelecer mediante uma elevada temperatura, um regime isento de

hidratos na linha de escoamento, antes da descarga do fluxo de hidrocarbonetos proveniente do sistema de produção submarino.

17. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 5 16, **caracterizado** pelo fato de que o reservatório (1) é conectado hidráulicamente à linha de escoamento (12), localizada a jusante do sistema de produção, ou a uma instalação de bomba (5, 6) que provê um fluxo de produção através da linha de escoamento (12).

10 18. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que o reservatório (1) é através de um primeiro conduto (36) conectado hidráulicamente a uma linha de injeção de água (10) que fornece água ao reservatório de água quente (1) para 15 aquecimento da mesma.

19. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de que a água aquecida descarregada do reservatório (1) através de um segundo conduto (37) é misturada com a água descarregada da linha 20 de injeção de água (10) através de um terceiro conduto (38) e injetada dentro da linha de escoamento (12) através do dito segundo conduto (37), preferivelmente, por meio de um edutor (15), o qual é acionado, preferivelmente, mediante pressão na linha de injeção de água (10).

25 20. Dispositivo, de acordo com quaisquer das reivindicações 16 a 19, **caracterizado** pelo fato de que a pressão no reservatório (1) é mantida essencialmente constante e numa pressão essencialmente ambiente, por meio

de válvulas de controle de pressão e/ou válvulas de controle de fluxo, que controlam o fluxo de água dentro e/ou fora do reservatório (1).

21. Dispositivo, de acordo com quaisquer das reivindicações 16 a 20, **caracterizado** pelo fato de que o reservatório (1) é equipado com isolamento térmico e um dispositivo aquecedor (2), dito dispositivo aquecedor sendo instalado em um módulo separadamente recuperável, incluindo um motor e uma bomba para circulação de água.

22. Dispositivo, de acordo com quaisquer das reivindicações 16 a 20, **caracterizado** pelo fato de que um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor (2) é acionado por um circuito indutivo, dito circuito indutivo tendo um primário construído na forma de um enrolamento de transformador normal, e um secundário formado como um pedaço de metal sólido, no qual, essencialmente, todo o pó no circuito magnético é depositado na forma de calor resultante das correntes parasitas geradas no pedaço de metal sólido.

23. Dispositivo, de acordo com quaisquer das reivindicações 16 a 21, **caracterizado** pelo fato de que um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor (2) é acionado por um circuito condutivo, dentro do qual a energia do aquecedor é desviada a partir de um suprimento de energia idealizado para outra finalidade numa operação em estado uniforme, de modo a energizar uma bomba de descarga de fluido.

24. Dispositivo, de acordo com quaisquer das

reivindicações 16 a 21, **caracterizado** pelo fato de que um elemento aquecedor no dispositivo aquecedor (2) é acionado pela alimentação de gás de oxigênio-hidrogênio, suprido na forma de suprimentos de gás separados para hidrogênio e para oxigênio, respectivamente, o calor sendo gerado pela 5 queima do hidrogênio em oxigênio, e o produto na forma de vapor sendo adicionado ao teor de água no reservatório de água quente.

25. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 10 24, **caracterizado** pelo fato de que as linhas de suprimento de hidrogênio e oxigênio são conectadas a uma célula de combustível, ativada para proporcionar a energia elétrica necessária para o aquecimento (2) e/ou ao equipamento de controle de operação associado ao reservatório de água 15 quente (1) e/ou ao sistema de produção submarino (13).

26. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o reservatório (1) contém uma fase gasosa efetiva para 20 aumentar as constantes de tempo da função controle de pressão/circuito controle de pressão.

Profile data at: 3.965e+004 [s]

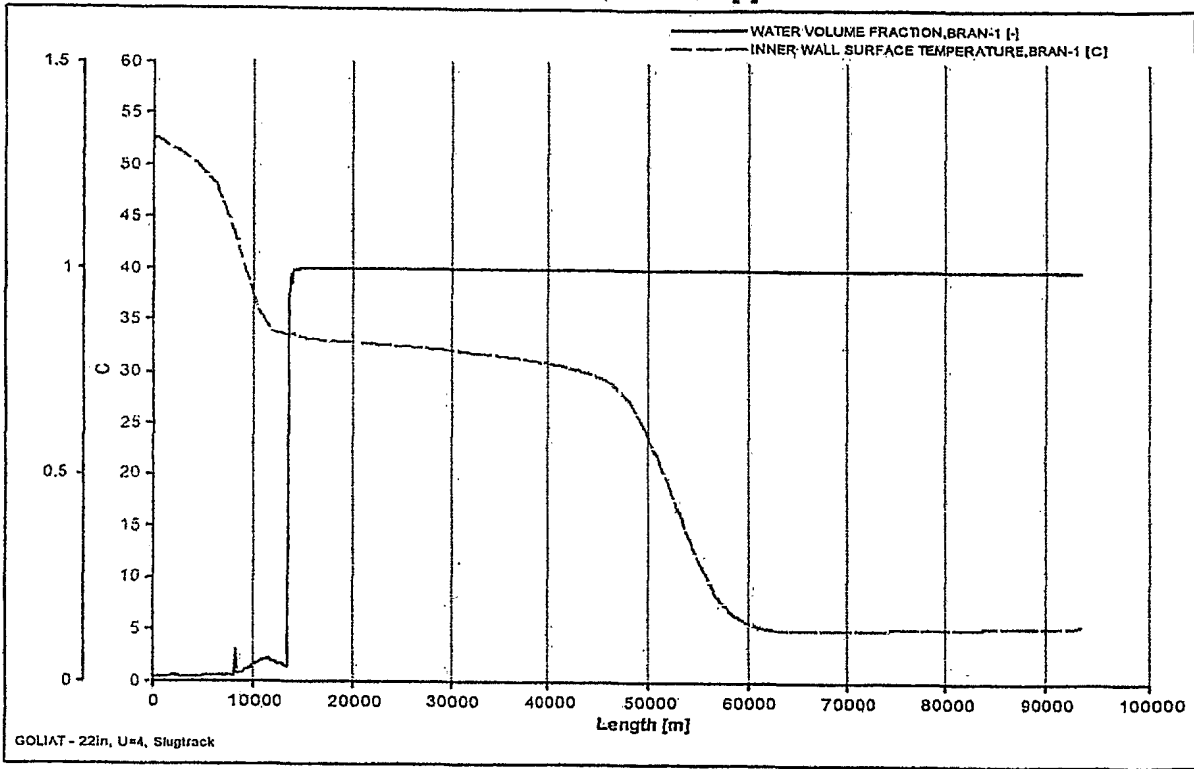


Fig. 1

Profile data at: 8.289e+004 [s]

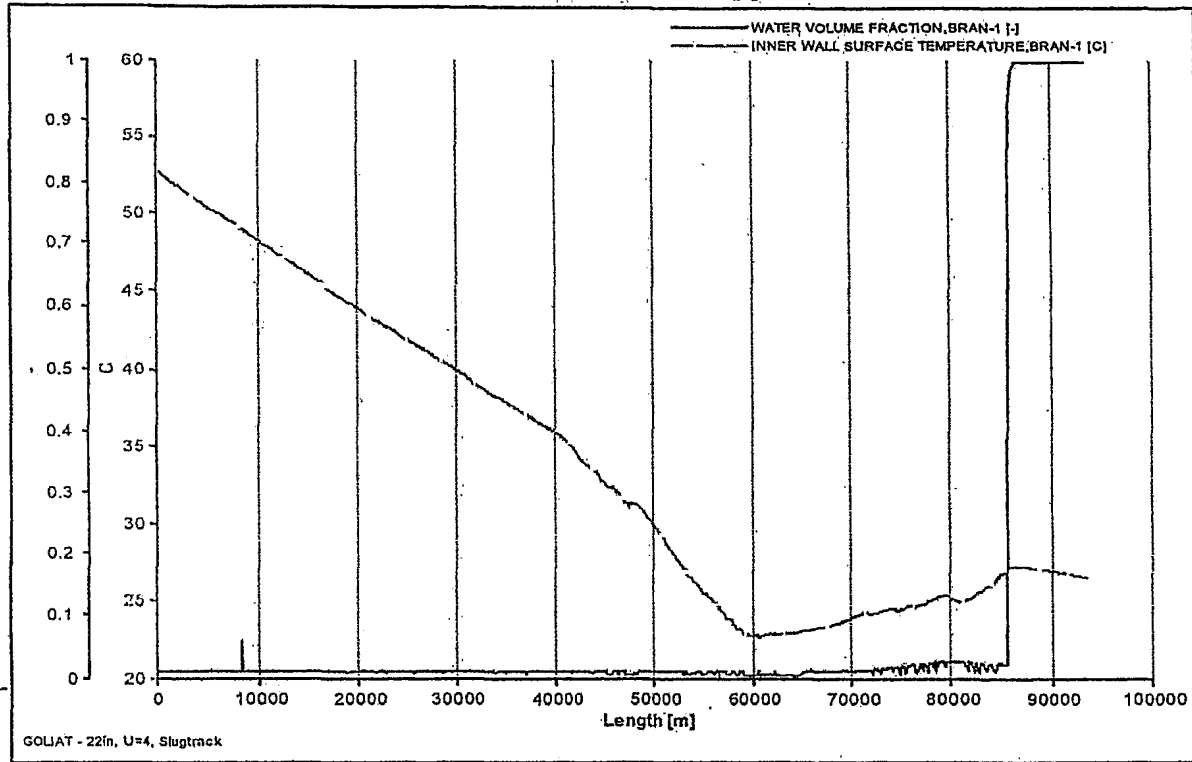


Fig. 2

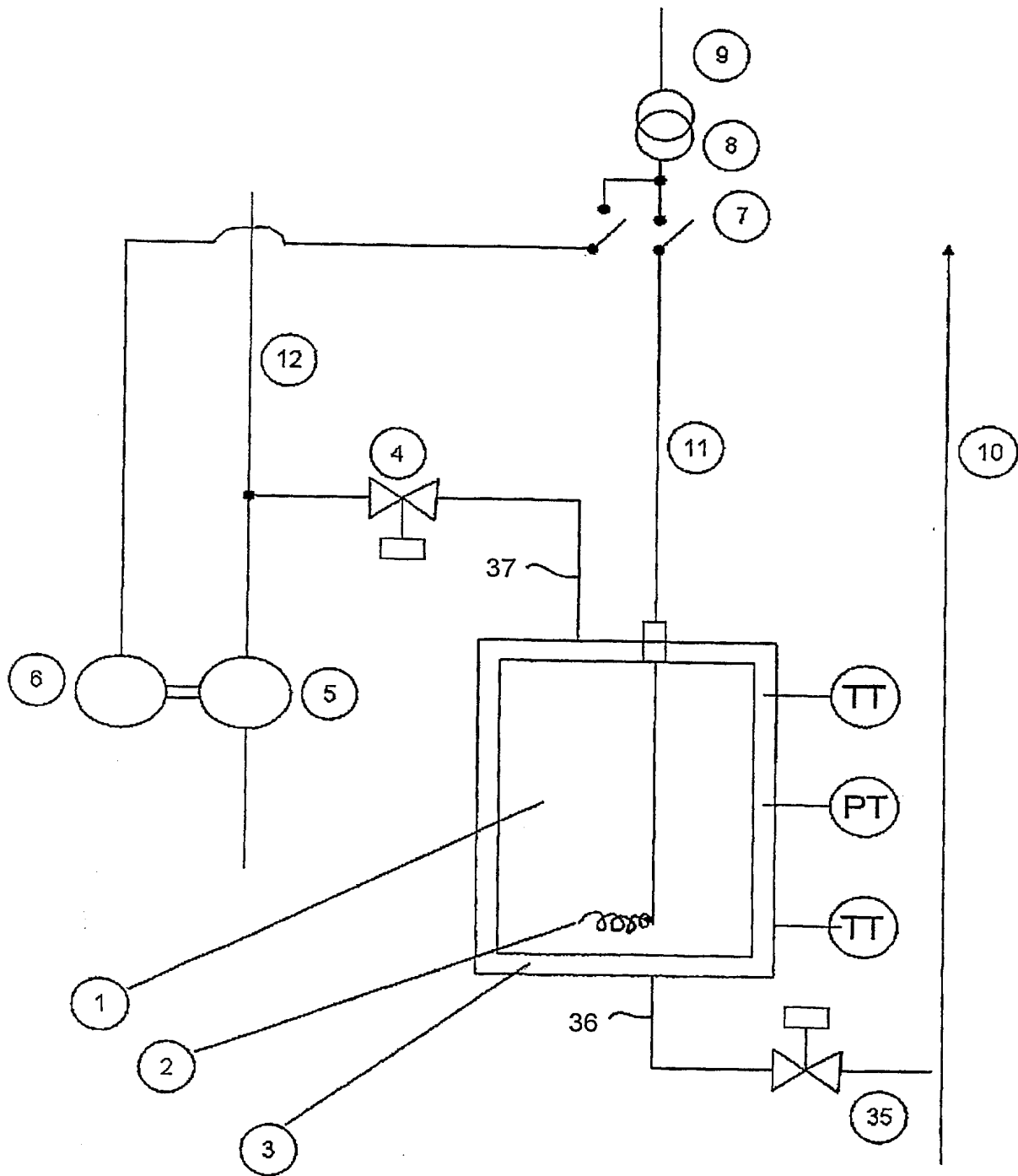


Fig. 3

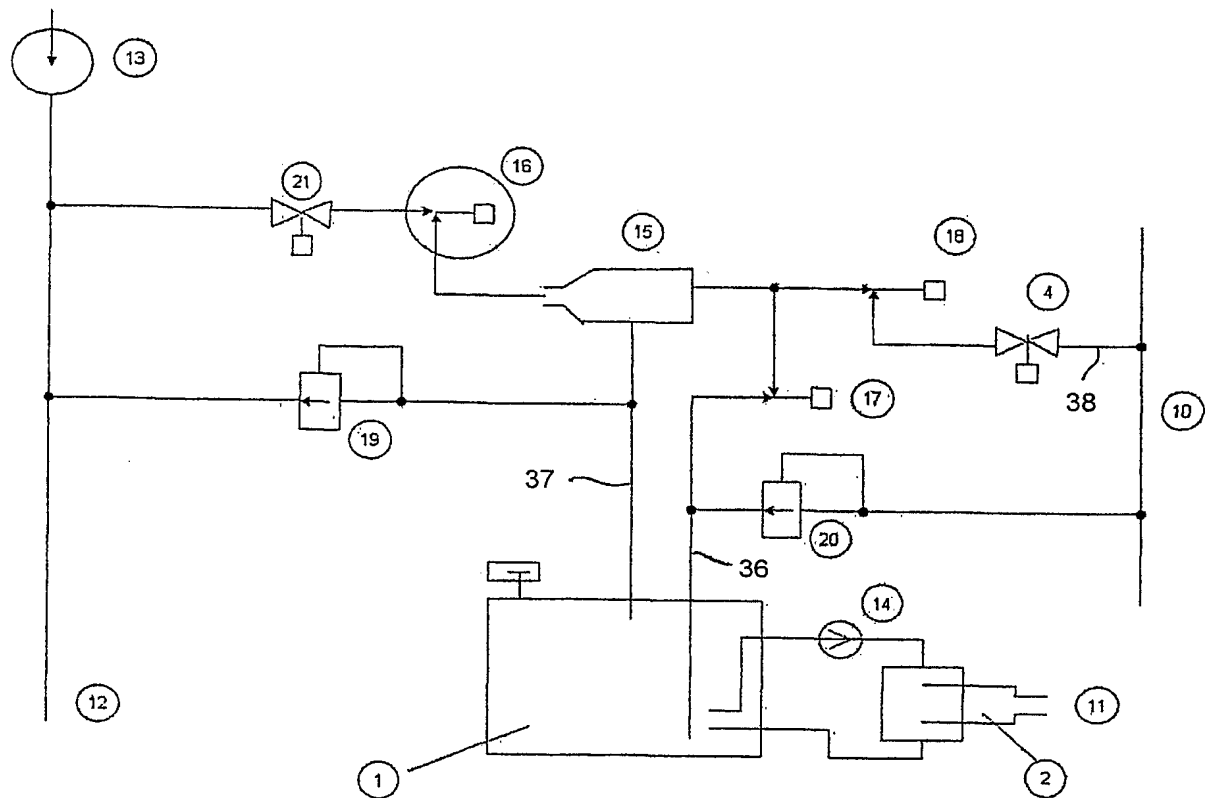


Fig. 4

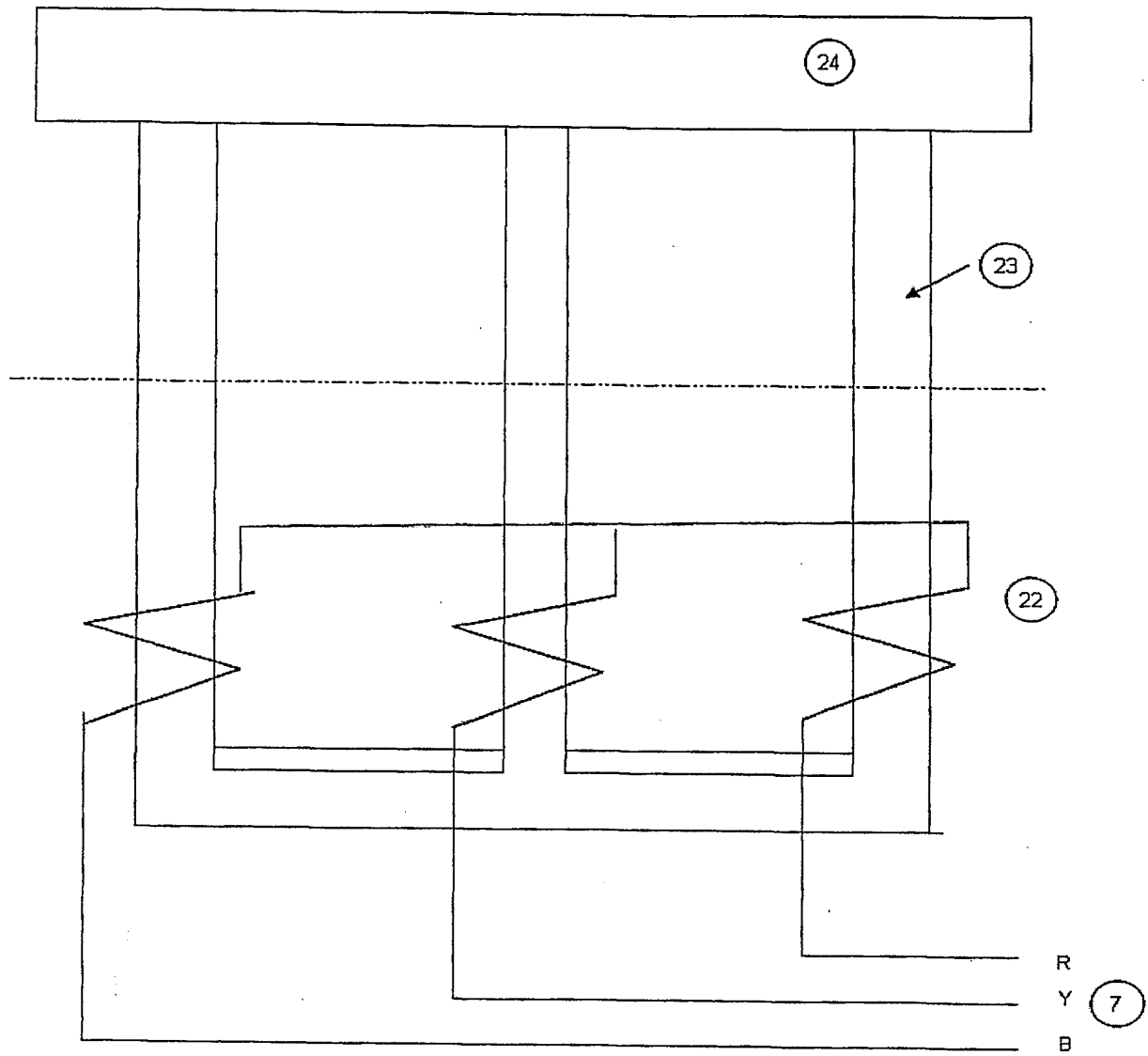


Fig. 5

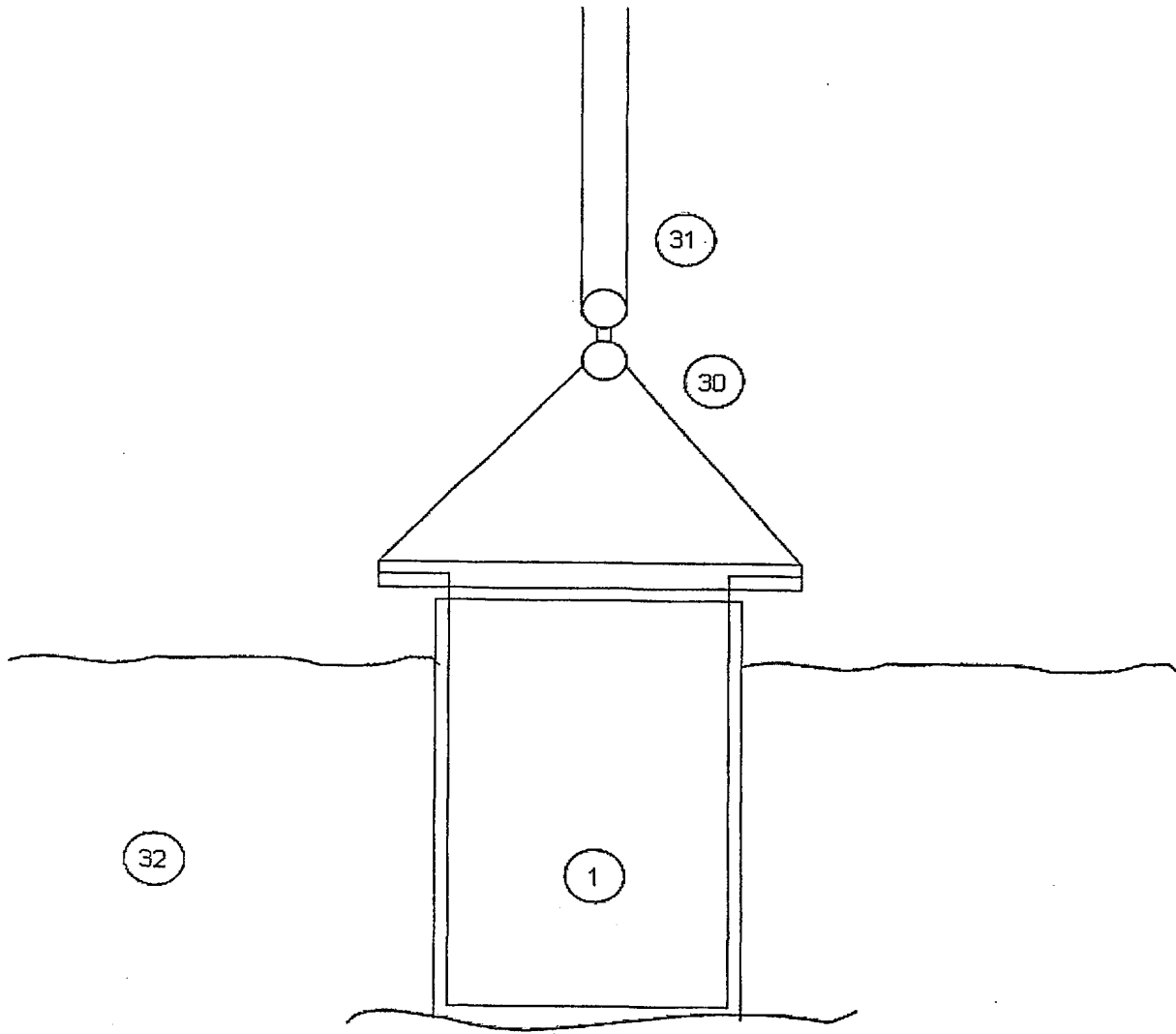


Fig. 6

RESUMO**"MÉTODO E DISPOSITIVO PARA PARTIDA A FRIO DE UM SISTEMA DE
PRODUÇÃO SUBMARINO"**

5

A presente invenção proporciona um método e um dispositivo, através dos quais é estabelecido um regime isento de hidratos numa linha de escoamento de produção submarina (12), antes da descarga na mesma de um fluxo de produção de um produto de hidrocarboneto propenso a formar hidratos, durante uma parada ou durante a partida inicial de um sistema de produção. O regime isento de hidratos é obtido mediante injeção na linha de escoamento de um volume de água aquecido, antes da descarga do produto de hidrocarboneto proveniente do sistema de produção submarino.

10

15