



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

(21) **PI 1015661-5 A2**

(22) **Data de Depósito:** 20/10/2010

(43) **Data da Publicação:** 02/06/2015
(RPI 2317)



(54) **Título:** DISPOSITIVO E PROCESSO PARA SEPARAÇÃO OU RECUPERAÇÃO DE FLUÍDOS DE DIFERENTE VISCOSIDADE

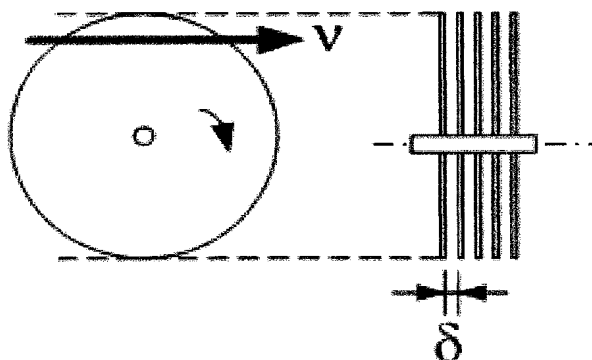
(51) **Int.Cl.:** E02B15/04; C02F101/30

(73) **Titular(es):** Labh2 Inovação Desenvolvimento e Consultoria Ltda

(72) **Inventor(es):** ANTONIO CARNEIRO DE MESQUITA FILHO, HUGO DE VILLELA MIRANDA, PAULO EMÍLIO VALADÃO DE MIRANDA

(57) **Resumo:** DISPOSITIVO E PROCESSO PARA SEPARAÇÃO OU RECUPERAÇÃO DE FLUÍDOS DE DIFERENTES VISCOSIDADE".

A presente invenção descreve um dispositivo e processo para recuperação ou separação de fluidos contaminantes ou não, de viscosidade maior do que o fluido contaminado, sendo o dispositivo composto por um conjunto de lâminas em forma de discos montados em um eixo, de forma a permitir a rotação do conjunto



DISPOSITIVO E PROCESSO PARA SEPARAÇÃO OU RECUPERAÇÃO DE FLUIDOS DE DIFERENTE VISCOSIDADE

CAMPO TÉCNICO

5 A inovação ora proposta diz respeito a um dispositivo e processo para recuperação ou separação de fluidos contaminantes ou não, de viscosidade maior do que o fluido contaminado, sendo o dispositivo composto por um conjunto de lâminas em forma de discos montados em um eixo, de forma a permitir a rotação do conjunto.

TÉCNICAS ANTERIORES

10 Um exemplo clássico de interesse associado à separação e recuperação de fluidos refere-se aos casos de derramamento acidental de óleo ou petróleo no mar ou em rios e lagoas o que ocasiona importantes danos ambientais. Nestes casos, a recuperação do óleo e sua subsequente separação da água envolvem procedimentos prolongados e custosos que
15 movimentam grandes quantidades de água em relação ao volume de óleo recuperado. Outro caso refere-se à separação de óleo da água e do gás no processo de produção e bombeamento de petróleo a partir de um poço de produção, encontrando ainda aplicação em processos de separação de fluídos ou lamas contendo químicos produtos utilizados para perfuração de
20 poços de petróleo.

O problema de contaminação ou lançamento de petróleo ou outros óleos minerais nos rios mares e oceanos é um problema recorrente, agravado em grande parte pelo aumento constante dos volumes produzidos e transportados desses produtos. O *International Tanker*
25 *Owners Pollution Federation Limited (ITOPF)* estima que, de 1970 a 2005,

cerca de 5.700.000 toneladas de óleo foram lançadas ao mar. Em 2010 quantidades muito elevadas de óleo, equivalentes a dezenas de milhares de barris por dia, vazaram por cerca de três meses no Golfo do México, causando fabuloso impacto ambiental e perdas financeiras. Em adição a isto, ressalta-se que as empresas produtoras de petróleo e gás nas bacias marítimas do Rio de Janeiro e de Santos utilizam-se continuamente de métodos dispendiosos e complexos para a separação do óleo produzido da água do mar que o acompanha.

Os métodos atuais de separação de fluidos, principalmente aqueles aplicados à separação do óleo da água incluem:

- Bioremediação com o uso de microrganismos e agentes biológicos para degradar e remover o óleo.
- Acelerador de bioremediação: produtos químicos oleofílicos ou hidrofóbicos, não contendo microrganismos, que se ligam fisicamente aos hidrocarbonetos solúveis e insolúveis. Atuam como agentes aglutinadores na água e na superfície fazendo as moléculas flutuarem na água formando aglomerados de gel.
- Queima controlada: pode reduzir a quantidade de óleo na água se utilizado corretamente, mas só é possível em condições de ventos fracos. Produz poluição atmosférica.
- Dispersantes: agem como detergentes aglomerando-se em torno dos glóbulos de óleo, permitindo que eles se dispersem na água. Os glóbulos de óleo infiltram-se nas águas profundas e podem contaminar letalmente a vida marinha.

- Dragagem: para a coleta de óleo disperso por detergentes e outros óleos mais densos que a água.
- Flutuação: Consiste em utilizar superfícies em forma de anel, disco ou cilindro que ao passar pela superfície do fluido de alta viscosidade que adere à superfície ou é por este drenado junto com grande quantidade de água. O material é subsequentemente removido da superfície através de raspagem. Esse método é muito limitado e pouco eficiente;
- Barreiras flutuantes: servem para conter o óleo em regiões limitadas onde é mais fácil o emprego de métodos de coleta.
- 10 • Absorvedores: absorvem o óleo, mas não permitem a fácil recuperação do mesmo, além de envolver grandes quantidades de material utilizado.
- Bombeamento da superfície: baixo rendimento bombeando uma baixa proporção de óleo em relação à água.
- 15 O dispositivo de que trata esta patente permite a recuperação eficiente do óleo, petróleo ou outro fluido derramado em ambiente aquoso ou mesmo a separação de dois fluidos quaisquer desde que haja entre eles uma diferença adequada entre suas viscosidades. O processo recupera o fluido de maior densidade através de um princípio baseado nas condições de contorno da equação de Navier-Stokes e na teoria da camada limite.
- 20 O processo de recuperação descrito tem como fundamento básico a transferência da energia cinética de um fluido para uma superfície. A eficiência dessa transferência dependerá da viscosidade do fluido e, da sua velocidade.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

O dito dispositivo com o arranjo de discos proposto aproveita os efeitos de viscosidade do fluido, tensão superficial e formação de camada laminar para fazer a separação e recuperação do fluído de maior viscosidade. Os discos são montados em paralelo ao longo de um eixo separados entre eles de uma distância δ , determinada em função da viscosidade do fluído a ser recuperado.

O método proposto tem como principais aplicações a recuperação de petróleo, óleo pesado, óleo leve, óleo vegetal e/ou mineral e gordura vegetal e/ou mineral em meio aquoso. Este meio aquoso pode ser formado por rios, lagos, represas, açudes e cacimbas, cisternas ou reservatórios públicos ou privados de água doce, porções abertas ou fechadas de água salobra ou marinha, independente da concentração de sais dissolvidos na água.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

O dispositivo objeto do presente pedido de patente é constituído por um conjunto de lâminas em forma de discos dispostos em paralelo e montados ao longo de um eixo, sendo separados por uma distância δ entre eles, de forma a permitir a rotação do conjunto como é mostrado na figura 1, onde está representada a vista esquemática do sistema de separação de fluídos.

Os discos mencionados, que constituem a parte principal do equipamento, podem ser confeccionados com materiais metálicos, plásticos, incluindo nylon, PVC, ou materiais compósitos, entre outros. O conjunto de discos poderá ainda ser montado em um cilindro oco, alma, de

modo a flutuar para permitir a sua recuperação em caso de separação do suporte flutuador. A alma oca serve ainda para tornar o equipamento independente de embarcação de apoio ou de suporte reduzindo seu peso da carga da embarcação de suporte e o conseqüente aumento na capacidade de armazenamento do fluído recuperado.

O dispositivo pode operar como turbina, fornecendo energia ao eixo, ou como uma bomba hidráulica para líquidos ou gases.

A operação como turbina é obtida injetando-se um fluído, vapor ou gás, com velocidade v tangencialmente aos discos, como é mostrado na Figura 1. O efeito da adesão e viscosidade aerodinâmica na superfície dos discos causa a resistência ao fluxo de vapor ou gás entre os discos, resultando em transferência de energia ao eixo pela rotação dos discos.

Na operação como bomba hidráulica o conjunto de discos é tangencialmente imerso em um fluído e acionado mecanicamente. O mesmo princípio de adesão e viscosidade fará com que o fluído entre os discos seja arrastado e canalizado para um meio de armazenagem conveniente.

A modalidade preferida descrita na presente invenção utiliza o dito dispositivo funcionando como bomba, conforme descrito anteriormente. O objetivo é separar dois fluidos com coeficientes de viscosidade bastante diferentes tais como, por exemplo, água e óleo.

Neste caso os dois líquidos geram coeficientes de atrito distintos, sendo o mais viscoso mais aderente à superfície dos discos. A uma determinada velocidade a camada laminar formada pelo fluído mais viscoso será mais espessa que a correspondente ao fluido menos viscoso,

produzindo, desta forma, a separação entre eles. Assim, será bombeada uma maior quantidade do fluido mais viscoso do que do fluido menos viscoso.

5 Nesta aplicação os discos descritos na presente invenção, são imersos apenas parcialmente, conforme demonstrado na figura 2. Conseqüentemente, o processo de recuperação consiste na formação da camada laminar que ocorre na parte submersa, com a seleção do fluido de maior viscosidade em detrimento do de menor viscosidade que não adere á superfície dos discos na mesma proporção. Como conseqüência do
10 processo de recuperação descrito, apenas uma pequena fração do fluido de menor viscosidade é carregada junto com o fluido de maior viscosidade. Em primeira aproximação a relação entre as quantidades de fluido bombeadas será proporcional à relação entre as viscosidades, permitindo uma maior eficiência que os métodos tradicionais usualmente utilizados.

15 Ao utilizar o dispositivo descrito para recuperação do óleo disperso em água, por exemplo, a coleta do óleo será feita através do posicionamento de elementos de coleta que direcionam o fluido coletado para um recipiente de armazenamento e coleta.

 Uma forma de coleta do fluido de maior viscosidade bombeado é
20 pela simples centrifugação que resulta da força centrífuga produzida pela rotação do disco.

 Em outra modalidade preferida a forma de coleta do fluido de maior viscosidade consiste em inserir um conjunto de aletas de raspagem entre os discos. Este processo permite a coleta do fluido em velocidades

mais baixas, como é mostrado na figura 2, onde está representada uma disposição de um sistema de coleta usando aletas de raspagem.

Há ainda a opção de não utilizar qualquer método de coleta forçada. Observou-se que o petróleo, óleo ou outro fluido viscoso tem a
5 tendência de se manter aderido aos discos, mesmo quando este é girado no interior do meio de menor viscosidade. Neste caso o dispositivo é girado até coletar o máximo de fluido possível ao longo de todo o perímetro dos discos. A coleta então é feita pela retirada da pilha de discos coletores mantendo-os em repouso em um recipiente de coleta onde o petróleo, óleo
10 ou outro fluido de maior viscosidade possa ser retirado de diversas formas, desde a centrifugação até a simples decantação, com a manutenção do disco parado.

A recuperação de fluidos em derramamentos ou acidentes em cursos de água, mares ou oceanos sempre foi um desafio devido à rápida
15 dispersão do fluido contaminante ou mais viscoso na água. A espessura da camada formada por este sobre o fluido de menor viscosidade como a água, por exemplo, tende a ser muito pouco espessa, sendo esse o principal problema no momento da separação deste fluido contaminante da água ou do outro fluido menos viscoso em que o acidente possa ter
20 ocorrido. Além disso, a necessidade de separação contínua do óleo da água em plataformas de produção de petróleo no mar requer a aplicação de grandes somas em processos dispendiosos e complexos. O presente processo de recuperação permite a aglutinação do fluido no disco por meio de separação causada por dois fenômenos físicos, a tensão superficial e a
25 diferença de viscosidade entre contaminante e contaminado.

Nesse caso, a separação entre os discos e a velocidade de rotação são ajustadas para maximizar a eficiência da separação para o fluido de maior viscosidade, ou seja, para cada líquido que se deseja recuperar, portanto, existe uma distância entre discos e uma velocidade de rotação ótimas.

A aplicação desse dispositivo em testes de laboratório permitiu observar taxas de recuperação de até cerca de 95% do petróleo, óleo, dentre outros fluidos viscosos dispersos em água.

FUNDAMENTOS DE PROJETO

No funcionamento do dispositivo como turbina um dado fluido é injetado tangencialmente aos discos. A transferência de energia do fluido em movimento para os discos é feita através do atrito do fluido com a superfície dos discos induzindo nestes um movimento de rotação.

A velocidade angular máxima ocorrerá quando a velocidade tangencial dos discos se igualar à velocidade do fluido. Neste ponto a velocidade relativa entre a parede do disco e o fluido a ele aderido torna-se zero. A única velocidade diferente de zero é a do fluido que penetra e sai do sistema entre os discos.

Essa é a velocidade que se tem que obter para o cálculo do número de Reynolds.

Com base em teoria bem estabelecida para determinação do *fator laminar de atrito de Darcy* (f_{lam}) para fluxos laminares em dutos, aplicada ao presente caso, tem-se que:

$$f_{lam} = 64 \frac{\mu}{\rho v d} \quad (1)$$

Onde μ é o coeficiente de viscosidade dinâmica do fluido, ρ é a densidade do fluido, V é a velocidade relativa do fluido e d é o diâmetro do disco.

A eq. (1) pode ser escrita ainda como:

$$f_{lam} = \frac{64}{Re_d} \quad (2)$$

5 Onde Re_d é o número de Reynolds, baseado no diâmetro do disco.

A distância característica para o fluxo entre discos consecutivos pode ser obtida da equação:

$$D_h = \frac{4S}{P} \quad (3)$$

10 Onde D_h é o diâmetro hidráulico, S é a área da seção transversal do fluxo e P é o perímetro molhado. Assim, o diâmetro efetivo, D_{ef} , pode ser calculado como:

$$D_{ef} = \frac{2}{3} D_h \quad (4)$$

A teoria fornece valores razoáveis quando se usa o diâmetro hidráulico e valores precisos se o diâmetro efetivo é usado.

15 Usando a distância entre dois discos consecutivos, δ , pode-se escrever:

$$D_h = \frac{4\pi D_{ext}\delta}{2(\pi D_{ext} + \delta)} \quad (5)$$

Onde D_{ext} é o diâmetro externo do disco. Quando $\delta \ll D_{ext}$:

$$D_h = 2\delta \quad (6)$$

$$D_{ef} = \frac{4}{3}\delta \quad (7)$$

20 Portanto, o número de Reynolds pode ser escrito como:

$$Re_d = \frac{4\rho V\delta}{3\mu} \quad (8)$$

A espessura da camada limite turbulenta sobre um disco girando pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\delta = 0,526r \left(\frac{\nu}{r^2 \omega} \right)^{1/5} \quad (9)$$

5 Onde r é o raio do disco, ν é o coeficiente de viscosidade cinemática do fluido e ω é a velocidade angular.

Entre discos há o desenvolvimento de duas camadas limites, uma para cada disco, portanto, para um escoamento laminar a distância máxima de separação entre discos, deverá ser de 2Δ . Dessa forma tem-se:

$$D_{\delta_{\max}} = 2\Delta \quad (10)$$

10 Onde $\delta_{\max}$ é a distância máxima admitida entre discos.

Considerando-se o diâmetro do eixo onde são empilhados os discos a equação da espessura da camada limite de escoamento laminar pode ser estimada por:

$$\delta \approx 5 \sqrt{\frac{\nu \pi D}{V}} \quad (11)$$

15 Onde ν é o coeficiente de viscosidade cinemática do fluido de trabalho, l é raio externo do disco menos o raio interno e V é a velocidade do fluxo de entrada.

20 A distância entre discos será sempre maior do que a distância máxima indicada para a ocorrência de formação de camada laminar devido a viscosidade do fluido menos viscoso.

Todos os equipamentos descritos poderão fazer uso de dispositivos eletrônicos de medição de nível de fluidos ou da proporção

entre o fluido menos viscoso e o mais viscoso ou o contrário, isto é, proporção entre o fluido mais viscoso e o menos viscoso, recuperados. Assim como de equipamentos para medida de temperatura do fluido mais viscoso (e/ou do óleo) e/ou espessura da camada dissolvida de fluido mais viscoso que o fluido contaminado ou de base. Ou ainda de equipamentos de monitoramento de posicionamento por GPS ou sistema similar ou que promova o mesmo fim de modo a obter dados da posição e outros dados disponíveis nesse tipo de equipamento, inclusive para orientação e direcionamento do equipamento aos pontos de contaminação ou de presença do líquido mais viscoso que se quer obter ou captar.

O dispositivo tem como principais aplicações a recuperação de petróleo, óleo pesado, óleo leve, óleo vegetal e/ou mineral e gordura vegetal e/ou mineral em meio aquoso ou a separação de óleo, água e/ou gás na produção de petróleo. Este meio aquoso pode ser formado por rios, lagos, represas, açudes e cacimbas, cisternas ou reservatórios públicos ou privados de água doce, porções abertas ou fechadas de água salobra ou marinha, independente da concentração de sais dissolvidos na água.

Nas aplicações anteriormente previstas o dispositivo poderá ou não ser montado em embarcações ou qualquer tipo de estrutura de suporte flutuante. Esta estrutura poderá conter ou não, depósitos ou tanques para armazenamento para o fluido recuperado ou ainda equipamentos de bombeamento para outras embarcações.

REIVINDICAÇÕES

1- DISPOSITIVO PARA RECUPERAÇÃO OU SEPARAÇÃO DE FLUIDOS CONTAMINANTES OU NÃO DE ALTA VISCOSIDADE DERRAMADOS EM MEIO AQUOSO caracterizado por um conjunto de lâminas em forma de discos metálicos ou plásticos montados ao longo de um eixo e separados por uma distância δ entre eles, de forma a permitir a rotação do conjunto.

2- DISPOSITIVO de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por serem os ditos discos confeccionados com materiais metálicos, plásticos, incluindo nylon, PVC, ou materiais compósitos, entre outros.

3- DISPOSITIVO de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser preferencialmente o conjunto de discos montado em um cilindro oco, alma, de modo a flutuar para permitir a sua recuperação em caso de separação do suporte flutuador.

4- DISPOSITIVO de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por serem os discos montados em paralelo ao longo de um eixo e separados entre eles de uma distância δ .

5- DISPOSITIVO de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser a distância δ , determinada pelas equações (9)-(11), em função da viscosidade do fluido a ser recuperado.

6- DISPOSITIVO de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por operar como turbina, fornecendo energia ao eixo, ou como uma bomba hidráulica para separação de líquidos e/ou gases.

7- DISPOSITIVO de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pela operação como turbina ser obtida injetando-se um fluido, vapor ou gás, com velocidade v tangencialmente aos discos.

5 8- DISPOSITIVO de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pela operação preferencial como bomba hidráulica para líquidos ou gases, ser feita com o conjunto de discos tangencialmente imerso em um fluido e acionada mecanicamente, fazendo com que o fluido entre os discos seja arrastado e canalizado para um meio de armazenagem conveniente.

10 9- DISPOSITIVO de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela inserção de um conjunto de aletas de raspagem entre os discos.

10- DISPOSITIVO de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por permitir a coleta do fluido em velocidades baixas.

15 11- DISPOSITIVO de acordo com as reivindicações 1 a 5, caracterizado pela disposição dos discos, como proposto, aproveitar os efeitos de viscosidade do fluido, tensão superficial e formação de camada laminar para fazer a separação e recuperação do fluido de maior viscosidade.

20 12- DISPOSITIVO conforme descrito nas reivindicações anteriores, caracterizado por fazer uso de dispositivos eletrônicos de medição de nível de fluidos ou da proporção entre fluido menos viscoso e o mais viscoso ou o contrário, isto é, proporção entre fluido mais viscoso e menos viscoso, recuperados.

5 13- DISPOSITIVO conforme descrito nas reivindicações anteriores, caracterizado por fazer uso de equipamentos para medida de temperatura do fluido mais viscoso (e/ou do óleo) e/ou espessura da camada dissolvida de fluido mais viscoso que o fluido contaminado ou de base.

10 14 DISPOSITIVO conforme descrito nas reivindicações anteriores, caracterizado por fazer uso de equipamentos de monitoramento de posicionamento por GPS ou sistema similar ou que promova o mesmo fim de modo a obter dados da posição e outros dados disponíveis nesse tipo de equipamento, inclusive para orientação e direcionamento do equipamento aos pontos de contaminação ou de presença do líquido mais viscoso que se quer obter ou captar.

15 15- DISPOSITIVO conforme descrito nas reivindicações anteriores, caracterizado por ser montado em embarcações ou qualquer tipo de estrutura de suporte flutuante.

16- DISPOSITIVO conforme descrito nas reivindicações anteriores, caracterizado por possuir depósitos ou tanques para armazenamento para o fluido recuperado ou ainda, equipamentos de bombeamento para outras embarcações.

20 17- PROCESSO, caracterizado pela disposição, separação entre os discos e velocidade de rotação, que permite a aglutinação do fluido no disco aproveitando os efeitos de viscosidade do fluido, tensão superficial e formação de camada laminar para fazer a separação e recuperação do fluido de maior viscosidade.

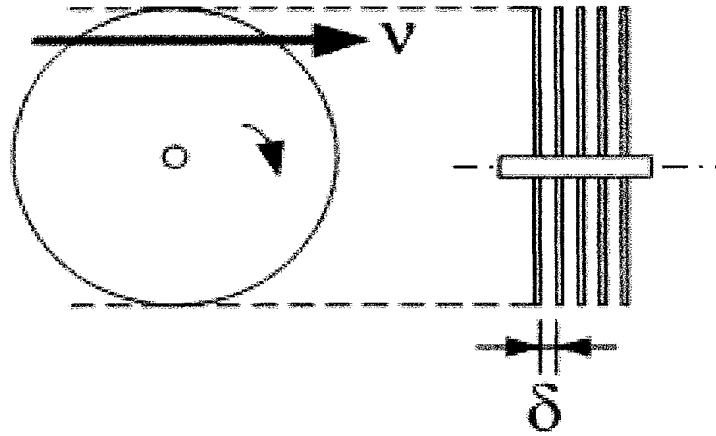
FIGURAS

Figura 1

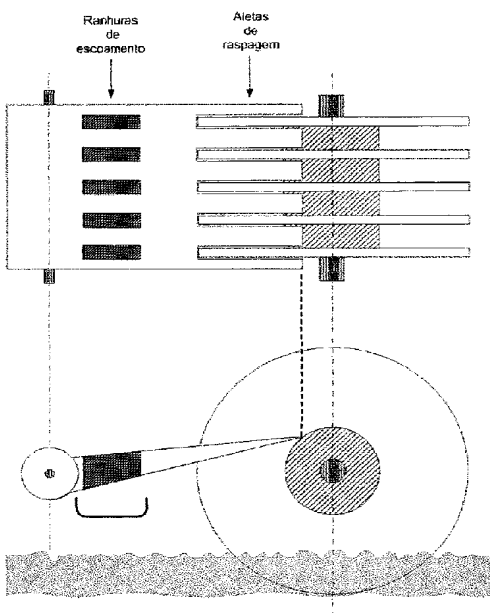


Figura 2

RESUMO

DISPOSITIVO E PROCESSO PARA SEPARAÇÃO OU RECUPERAÇÃO DE FLUIDOS DE DIFERENTE VISCOSIDADE

5 A presente invenção descreve um dispositivo e processo para recuperação ou separação de fluidos contaminantes ou não, de viscosidade maior do que o fluido contaminado, sendo o dispositivo composto por um conjunto de lâminas em forma de discos montados em um eixo, de forma a permitir a rotação do conjunto.