



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0911382-7 B1**



**(22) Data do Depósito: 20/05/2009**

**(45) Data de Concessão: 07/04/2020**

---

**(54) Título:** PROCESSO PARA TROCAR CALOR COM UM FLUIDO DE FASE MISTA

**(51) Int.Cl.:** F28D 7/00; F28D 7/02.

**(30) Prioridade Unionista:** 05/06/2008 US 12/133,917.

**(73) Titular(es):** LUMMUS TECHNOLOGY INC..

**(72) Inventor(es):** MARK S. KARRS; KRISHNAN S. CHUNANGAD; BASHIR I. MASTER.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2009044605 de 20/05/2009

**(87) Publicação PCT:** WO 2009/148822 de 10/12/2009

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 06/12/2010

**(57) Resumo:** PROCESSO PARA TROCAR CALOR COM UM FLUIDO DE FASE MISTA Um trocador de calor de invólucro e tubo, tal como um trocador de calor vertical de alimentação/efluente combinados (VCFE), incluindo: um invólucro tendo uma entrada de fluido e uma saída de fluido; uma pluralidade de defletores montados no invólucro para guiar o fluido em um padrão de fluxo helicoidal através do invólucro; em que um ângulo de hélice  $\alpha$  de um defletor próximo à entrada é diferente de um ângulo de hélice  $\beta$  de um defletor próximo à saída.

**PROCESSO PARA TROCAR CALOR COM UM FLUIDO DE FASE MISTA****ANTECEDENTES DA REVELAÇÃO****Campo da Revelação**

As modalidades aqui reveladas se referem geralmente a  
5 um trocador de calor. Mais especificamente, as modalidades  
aqui reveladas se referem a um trocador de calor, tal como  
um trocador de calor de invólucro e tubo, configurado para  
eficientemente processar fluxo de duas fases.

**Antecedentes**

10 Diversas configurações para trocadores de calor são  
conhecidas e usadas para uma variedade de aplicações. Uma  
das configurações amplamente utilizadas, um trocador de  
calor de invólucro e tubo, conforme ilustrado na Figura 1,  
inclui um invólucro cilíndrico 10 alojando um feixe de  
15 tubos paralelos 12, que se estendem entre duas chapas de  
extremidade 14 de modo que um primeiro fluido 16 pode  
passar através dos tubos 12. Entretanto, um segundo fluido  
18 flui para dentro e através do espaço entre as duas  
chapas de extremidade de modo a entrarem em contato com os  
20 tubos. Para prover um trocador de calor aperfeiçoado entre  
os dois fluidos, o percurso de fluxo do segundo fluido 18 é  
definido por defletores intermediários 20 formando  
passagens respectivas, as quais são arrançadas de modo que  
o segundo fluxo de fluido muda a sua direção ao passar de  
25 uma passagem para a próxima. Os defletores 20, configurados  
como segmentos parcialmente circulares conforme mostrado  
(defletores parcialmente segmentados), ou como anéis e  
discos anulares, são instalados perpendiculares a um eixo  
longitudinal 22 do invólucro 20 para prover um fluxo em  
30 ziguezague 24 do segundo fluido 18.

Nesse arranjo, o segundo fluido tem uma mudança acentuada de direção de seu fluxo várias vezes ao longo da extensão do invólucro. Isso causa uma redução na pressão dinâmica do segundo fluido e velocidade de fluxo não uniforme do mesmo, o que em combinação afeta adversamente o desempenho do trocador de calor. Por exemplo, uma posição perpendicular dos defletores em relação ao eixo longitudinal do invólucro resulta em uma taxa de transferência de calor/relação de queda de pressão relativamente ineficientes. Adicionalmente, tais arranjos de defletor produzem desvio de fluxo através de folgas de defletor/invólucro e tubo/defletor, resultando em má distribuição do fluxo, redemoinhos, contrafluxo, e taxas superiores de formação de incrustação entre outras consequências indesejadas.

Queda de pressão, distribuição de fluxo, e eficiências de transferência de calor são variáveis importantes, especialmente nos muitos processos químicos industriais onde uma reação de fase de vapor é desejada entre fluxos de produto e alimentação de fase líquida. Processos exemplares podem incluir reforma de nafta, hidrotratamento de nafta, hidrotratamento de diesel e querosene, isomerização e metátese de hidrocarboneto leve, e muitos outros processos industrialmente importantes. Tais processos tipicamente incluirão equipamento de troca de calor de alimentação/efluente, onde o calor exigido para vaporizar o fluxo de alimentação do reator é recuperado mediante condensação ou condensação parcial do efluente do reator. Tal equipamento de transferência de calor tem sido historicamente arranjado como trocadores de calor de

invólucro e tubo, horizontais, convencionais.

Aumentar as capacidades de projeto da unidade (economia de escala) requer grande vazão volumétrica com um impacto resultante sobre o número de invólucros exigidos para transferir o calor nos diferenciais de temperatura limitados. Contudo, devido aos problemas de hidráulica de fluido, isto é, fluxo de entrada de duas fases, composição variável e peso molecular das fases de vapor e líquido, e fluxo volumétrico variável e queda de pressão resultante da mudança de fase, o arranjo dos invólucros de trocador de calor convencionais em uma pluralidade de arranjos paralelos e em série é problemático. Tubulação simétrica é um meio não seguro de realizar a divisão de fluxo de duas fases. Como o peso molecular de vapor pode ser muito inferior ao líquido associado, especialmente em serviços de hidrotreatamento onde o vapor é amplamente composto de hidrogênio, a má distribuição de vapor com o líquido entrando em um trocador de calor pode ter um impacto acentuado na curva de ebulição associada e, conseqüentemente, na diferença média de temperatura (MTD) da operação de ebulição.

O conceito de trocador de calor vertical de alimentação/efluente combinados (VCFE) foi desenvolvido para superar essas desvantagens mediante integração de grandes superfícies em um único invólucro vertical. Tais unidades foram desenvolvidas comercialmente em diferentes configurações, incluindo: ebulição pelo lado de tubo / condensação pelo lado de invólucro em modelo de defletor segmentário único; condensação pelo lado de tubo / ebulição pelo lado de invólucro em modelo de defletor segmentário

único; ebulição pelo lado de tubo / condensação pelo lado de involucrio em modelo de defletor helicoidal; condensação pelo lado de tubo / ebulição pelo lado de involucrio em modelo de defletor helicoidal. Trocadores de calor com 5 defletores helicoidais são descritos, por exemplo, nas Patentes dos Estados Unidos 5.832.991, 6.513.583, e 6.827.138.

Em uma base teórica, a ebulição pelo lado do involucrio é favorecida para reduzir a superfície exigida, uma vez que 10 o coeficiente de ebulição pelo lado do involucrio é otimizado pelo volume relativamente maior do lado de involucrio devido aos efeitos de transporte de massa. Contudo, considerações de formação de incrustação também devem ser analisadas, uma vez que o lado de tubo 15 normalmente será mais fácil de limpar.

Uma desvantagem do arranjo de ebulição pelo lado de involucrio é considerada em operação de carga parcial ou virada, onde as velocidades pelo lado do involucrio podem não ser suficientes para impedir separação de fase e 20 contrafluxo da fração de líquido de volta a entrada. Tal acúmulo de fração de líquido pesado em tempo de residência elevado pode resultar na formação de incrustação.

A principal desvantagem de qualquer arranjo de ebulição pelo lado de tubo é que o vapor e as frações de 25 líquido devem ser igualmente distribuídos em cada uma das várias entradas de tubo, para manter as características de ebulição, esperadas em cada tubo, e um método de queda de baixa pressão e não dispendioso para obter essa distribuição não foi encontrado.

30 Consequentemente existe a necessidade de um trocador

de calor e modelos de defletor para efetivamente processar o fluxo de entrada de duas fases em unidades verticais.

### SUMÁRIO DA REVELAÇÃO

Em um aspecto, as modalidades aqui reveladas se referem a um trocador de calor incluindo: um invólucro tendo uma entrada de fluido e uma saída de fluido; uma pluralidade de defletores montados no invólucro para guiar o fluido em um padrão de fluxo helicoidal através do invólucro; em que um ângulo de hélice  $\alpha$  de um defletor próximo à entrada é diferente de um ângulo de hélice  $\beta$  de um defletor próximo à saída.

Em outro aspecto, modalidades aqui reveladas se referem a um trocador de calor de invólucro e tubo incluindo: uma tubulação de entrada pelo lado de tubo tendo uma primeira entrada de fluido nesse lugar; uma tubulação de saída pelo lado de tubo tendo uma primeira saída de fluido nesse lugar; uma pluralidade de tubos se estendendo entre as tubulações e em comunicação de fluido com as mesmas; um invólucro se estendendo entre as tubulações e envolvendo os tubos, o invólucro tendo uma segunda entrada de fluido e uma segunda saída de fluido no mesmo; uma pluralidade de defletores montados no invólucro para guiar o segundo fluido em um padrão de fluxo helicoidal através do invólucro; em que o ângulo de hélice  $\alpha$  de um defletor próximo à segunda entrada de fluido é diferente do ângulo de hélice  $\beta$  de um defletor próximo à segunda saída de fluido.

Em outro aspecto, as modalidades aqui reveladas se referem a um processo para troca de calor com um fluido de fase mista, o processo incluindo: alimentar um fluido de

fase mista compreendendo um vapor e pelo menos um de um líquido arrastado e um sólido arrastado para um trocador de calor, o trocador de calor incluindo: um invólucro que tem uma entrada de fluido, e uma saída de fluido; uma pluralidade de defletores montados no invólucro para guiar o fluido em um padrão de fluxo helicoidal através do invólucro; converter o fluido de fase mista essencialmente em vapor; e indiretamente permutar o calor entre o fluido de fase mista e um meio de troca de calor; em que um ângulo de hélice  $\alpha$  do defletor próximo à entrada mantém uma velocidade do fluido de fase mista maior do que uma velocidade terminal do líquido ou sólido arrastado; e em que o ângulo de hélice  $\beta$  de um defletor próximo à saída é maior do que o ângulo de hélice  $\alpha$  do defletor próximo à entrada.

Outros aspectos e vantagens serão evidentes a partir da descrição seguinte e das reivindicações anexas.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

A Figura 1 é uma vista diagramática de distribuição de fluxo em um trocador de calor de invólucro e tubo convencional.

A Figura 2 é um desenho esquemático de um trocador de calor vertical de alimentação/efluente combinados com ângulo de defletor de calor variável de acordo com as modalidades aqui reveladas.

#### **DESCRIÇÃO DETALHADA**

Em um aspecto, as modalidades aqui se referem geralmente a um trocador de calor. Mais especificamente, as modalidades aqui reveladas se referem a um trocador de calor, tal como um trocador de calor de invólucro e tubo,

configurado para processar eficientemente o fluxo de duas fases. Ainda mais especificamente, as modalidades aqui reveladas se referem a um trocador de calor que tem defletores configurados para guiar um fluxo de fluido pelo lado do invólucro em um padrão de fluxo helicoidal, onde um ângulo de hélice de um defletor próximo à entrada é diferente de um ângulo de hélice de um defletor próximo à saída.

Trocadores de calor tendo defletores com um ângulo de hélice variado de acordo com as modalidades aqui reveladas foram considerados úteis para os fluidos pelo lado do invólucro sendo submetidos a uma mudança de fase, tal como evaporação, condensação, combustão, e semelhante. Por exemplo, para um fluxo de entrada de duas fases, tal como uma mistura de líquido de vaporização/vapor, ângulos de espiral próximos à entrada podem ser providos para manter velocidade suficiente de fluido para evitar separação de fase do vapor e do líquido. O ângulo de hélice dos defletores próximo à entrada de fluido pelo lado do invólucro pode ser próximo de uma posição perpendicular aos tubos, desse modo fazendo com que o fluido denso que chega redemoinhe em alta velocidade. À medida que o líquido vaporiza devido à transferência de calor dentro do trocador de calor, o ângulo de hélice dos defletores pode estar mais distante da perpendicular, tal como para os defletores mais próximos da saída, proporcionando troca de calor em velocidades inferiores para o vapor menos denso e uma queda de pressão relativamente baixa através do trocador de calor.

Como a separação de fase (vapor-líquido, vapor-sólido,

etc.) é uma função das densidades relativas, tamanho de partícula e/ou gotícula, e a velocidade de fase de vapor, os trocadores de calor tendo defletores com um ângulo de hélice variável de acordo com as modalidades aqui reveladas  
5 não estão sujeitos à separação de fase pelo lado do invólucro na mesma velocidade conforme ocorreria para um trocador de calor tendo um ângulo de defletor constante. Conseqüentemente, os trocadores de calor tendo os defletores com um ângulo de hélice variado de acordo com as  
10 modalidades aqui reveladas podem ser usados em níveis de produtividade significativamente reduzidos, evitando assim os empecilhos tipicamente associados aos trocadores de calor verticais em operação de carga parcial ou virada.

O ângulo de hélice usado para os defletores próximo à  
15 entrada e saída pelo lado de invólucro pode depender do tipo de operação. Por exemplo, para uma mistura de fluido incluindo um vapor e um líquido de vaporização ou sólido de combustão, o ângulo de hélice dos defletores próximos à entrada pode ser maior do que o ângulo de hélice dos  
20 defletores próximo à saída. Desse modo, a velocidade da mistura de duas fases pode ser mantida maior do que uma velocidade de transporte do sólido ou líquido arrastado, desse modo evitando a separação de fase. À medida que o fluido vaporiza ou o sólido queima, um ângulo de hélice  
25 inferior pode ser usado. Em outras modalidades, o ângulo de hélice pode gradualmente diminuir ao longo da extensão longitudinal do invólucro. Como outro exemplo, para uma carga inicial incluindo um vapor a ser condensado dentro do trocador de calor, o ângulo de hélice dos defletores  
30 próximo à entrada pelo lado do invólucro pode ser menor do

que o ângulo de hélice dos defletores próximos à saída pelo lado de invólucro, aumentando assim a velocidade da mistura durante operação de condensação.

Com referência à Figura 2, é ilustrado um desenho esquemático de um trocador de calor vertical de 5 alimentação/efluente combinados tendo defletores com ângulos de espiral variados de acordo com as modalidades aqui reveladas. O trocador de calor 30 pode incluir uma tubulação de entrada pelo lado de tubo 32 tendo na mesma 10 uma entrada de fluido 34. A tubulação de entrada pelo lado de tubo 32 também pode ter um suspiro 36 disposto nesse lugar. O trocador de calor 30 também pode incluir uma tubulação de saída pelo lado de tubo 38 tendo uma saída de fluido 40 nesse lugar. Uma pluralidade de tubos 42 podem se 15 estender entre a tubulação de entrada pelo lado de tubo 32 e a tubulação de saída 38, permitindo transporte de um fluido a partir da tubulação de entrada 32 para a tubulação de saída 38 através do tubo 42. A Figura 2 ilustra o uso de quatro tubos, contudo, deve ser entendido que qualquer 20 número de tubos pode ser usado.

O invólucro 44 se estende entre as tubulações de entrada e de saída 32, 38 abrangendo os tubos 42, e inclui uma entrada de fluido pelo lado de invólucro 46 e uma saída de fluido pelo lado de invólucro 48. Localizados dentro do 25 invólucro 44 estão uma pluralidade de defletores 50. Os defletores 50 podem incluir, por exemplo, defletores helicoidais conforme descrito nas Patentes dos Estados Unidos 5.832.991, 6.513.583 e 6.827.132, cuja matéria integral é aqui incorporada mediante referência. Os 30 defletores 50 podem incluir orifícios de tubo (não

mostrados) para permitir que os tubos 42 passem através dos defletores 50, e para permitir que os defletores 50 retenham os tubos 42 em uma posição alinhada e desejada. Os defletores 50 podem atuar para guiar o fluido pelo lado de  
5 invólucro em um padrão de fluxo helicoidal através do invólucro.

Defletores 50 são arrançados dentro do trocador de calor 30 de tal modo que os defletores 50, próximos à entrada pelo lado de invólucro 46, têm um ângulo de hélice  
10 diferente do que os defletores 50 próximos à saída pelo lado de invólucro 48. O ângulo de hélice dos defletores pode ser determinado, por exemplo, mediante "desenrolamento" da espiral, formando uma representação bidimensional do padrão helicoidal. Conforme ilustrado na  
15 Figura 2 para o defletor 50a, o ângulo de hélice seria então determinado como o arco tangente da circunferência de invólucro C dividida pelo passo p (distância longitudinal percorrida por um arco de defletor se estendendo em 360°). O passo é igual a

$$20 \quad p = C \cdot \tan(\beta);$$

onde  $\beta$  é o ângulo de hélice. Portanto, o ângulo de hélice  $\beta$  é igual ao arco tangente ( $p/C$ ).

Conforme ilustrado, o trocador de calor 30 é equipado com defletores helicoidais 50 orientados verticalmente. Os  
25 defletores 50 próximos à entrada pelo lado de invólucro 46 podem ter um ângulo de hélice  $\alpha$ . Os defletores 50 próximos à saída pelo lado de invólucro 48 podem ter um ângulo de hélice  $\beta$  com relação ao eixo longitudinal A-A do invólucro 44. Assim, por exemplo, para um fluxo de alimentação pelo  
30 lado de invólucro de duas fases de vaporização entrando por

intermédio da entrada pelo lado de invólucro 46, os defletores 50 próximos à entrada 46 são arrançados em um pequeno ângulo de hélice  $\alpha$ ; isto é, mais próximo da perpendicular com relação ao eixo A-A do que os defletores 50 próximos à saída pelo lado de invólucro 48, tendo um ângulo de hélice  $\beta$ , onde a troca de calor deve ser de gás/gás em um fluxo volumétrico superior pelo lado de invólucro, tal como devido à evaporação, combustão, e/ou aquecimento do fluido pelo lado de invólucro. Um pequeno ângulo de hélice  $\alpha$  pode assim fazer com que o fluxo de entrada de duas fases redemoinhe em uma trajetória helicoidal em uma velocidade suficiente para evitar a separação de fase. Como o fluido pelo lado de invólucro é de gás/gás próxima saída 48, um ângulo de hélice  $\beta$  maior do que o ângulo de hélice  $\alpha$  pode ser usado, resultando assim em uma queda de pressão inferior do que onde o ângulo  $\alpha$  é usado ao longo da extensão total do invólucro 44.

Em algumas modalidades, defletores intermediários à entrada de fluido pelo lado de invólucro 46 e saída 48 podem ter um ângulo de hélice  $\gamma$  intermediário àquele dos ângulos de espiral  $\alpha$ ,  $\beta$ . Por exemplo, os ângulos de espiral dos defletores 50 podem aumentar ou diminuir gradualmente a partir da entrada 46 até a saída 48, dependendo do tipo de serviço (por exemplo, condensação, evaporação, etc.). Em outras modalidades, os ângulos de espiral para os defletores 50 podem sofrer uma ou mais mudanças de etapa.

Conforme mencionado acima, trocadores de calor tendo defletores com um ângulo de hélice variado de acordo com as modalidades aqui reveladas podem ser úteis onde se espera fluxo de fluido de duas fases. Ângulos de espiral

inferiores onde fluxo de duas fases é esperado podem prover uma velocidade de fase de vapor superior, evitando a separação de fase pelo lado de invólucro. Os ângulos de espiral dos defletores próximos à entrada e saída podem ser  
5 uma função das densidades relativas das duas fases, tamanhos de partícula ou gotícula dos sólidos e/ou líquidos (relacionados à velocidade de transporte das partículas ou gotículas), taxas típicas de alimentação, taxas de alimentação de carga parcial ou virada, elevação de  
10 temperatura do fluido pelo lado do invólucro e outras variáveis como é de conhecimento daqueles versados na técnica.

Os trocadores de calor verticais de alimentação/efluente combinados descritos aqui podem usar  
15 defletores tendo ângulo de hélice aproximado dentro da faixa de aproximadamente  $5^\circ$  a  $45^\circ$ , inclusive. Qualquer combinação de ângulos de defletor  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (se presente) que cria um ângulo de hélice apropriado pode ser usada de acordo com as modalidades aqui reveladas.

20 Por exemplo, em algumas modalidades o ângulo de hélice  $\alpha$  pode estar dentro da faixa de aproximadamente  $5^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$ ; dentro da faixa a partir de aproximadamente  $5^\circ$  a aproximadamente  $35^\circ$  em outras modalidades; e a partir de aproximadamente  $5^\circ$  a  
25 aproximadamente  $25^\circ$  em outras modalidades.

Em outras modalidades, o ângulo de defletor  $\beta$  pode estar dentro da faixa a partir de  $15^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$ ; dentro da faixa a partir de aproximadamente  $25^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$  em outras modalidades; e de  
30 aproximadamente  $35^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$  em ainda outras

modalidades.

Trocadores de calor de acordo com as modalidades aqui reveladas podem ser usados vantajosamente com fluidos pelo lado de invólucro tendo duas ou mais fases. Vantajosamente, 5 trocadores de calor de acordo com as modalidades aqui reveladas podem prover uma velocidade de fluxo de fluido pelo lado de invólucro para minimizar ou evitar a separação de fase dos fluidos passando através do invólucro, tal como pelo fato de ter defletores com um pequeno ângulo de hélice 10 onde é esperado fluxo de duas fases. Adicionalmente, o uso de ângulos de espiral maiores onde fluxo de fase única é esperado pode proporcionar vantajosamente uma queda de pressão inferior do que onde um ângulo de hélice constante é usado por todo o invólucro. Assim, em comparação com os 15 trocadores de calor tradicionais tendo defletores com um ângulo de hélice constante, trocadores de calor de acordo com as modalidades aqui reveladas podem manter o fluxo de fluido de duas fases mesmo em níveis de vazão significativamente reduzidos, desse modo vantajosamente 20 permitindo uma faixa de produtividade mais ampla.

Embora a revelação inclua um número limitado de modalidades, aqueles versados na técnica, com o benefício dessa revelação, considerarão que outras modalidades podem ser concebidas as quais não se afastam do escopo da 25 presente revelação. Conseqüentemente, o escopo deve ser limitado apenas pelas reivindicações anexas.

**REIVINDICAÇÕES**

1. Processo para trocar calor com um fluido de fase mista, o processo compreende: alimentar um fluido de fase mista compreendendo um vapor e pelo menos um de um líquido  
5 arrastado e um sólido arrastado para um trocador de calor (30), o trocador de calor (30) compreende:

um invólucro (44) tendo uma entrada de fluido (46), e uma saída de fluido (48), indiretamente permutando o calor entre o fluido de fase mista e um meio de troca de calor;  
10 caracterizado pelo fato de que o trocador de calor compreende uma pluralidade de defletores (50) montados no invólucro (44) para guiar o fluido em um padrão de fluxo helicoidal através do invólucro (44);

converter o fluido de fase mista essencialmente em  
15 vapor;

em que o ângulo de hélice  $\alpha$  de um defletor próximo à entrada de fluido (46) mantêm uma velocidade do fluido de fase mista maior que uma velocidade terminal do líquido ou sólido arrastado; e

20 em que o ângulo de hélice  $\beta$  de um defletor próximo à saída de fluido (48) é maior do que o ângulo de hélice  $\alpha$  do defletor próximo à entrada de fluido (46).

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a conversão compreende  
25 evaporar o líquido arrastado.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a conversão compreende queimar o sólido arrastado.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1,  
30 caracterizado pelo fato de que o ângulo de hélice  $\alpha$  está

dentro da faixa a partir de aproximadamente  $5^\circ$  e aproximadamente  $35^\circ$  e em que o ângulo de hélice  $\beta$  está dentro da faixa a partir de aproximadamente  $15^\circ$  a aproximadamente  $45^\circ$ .

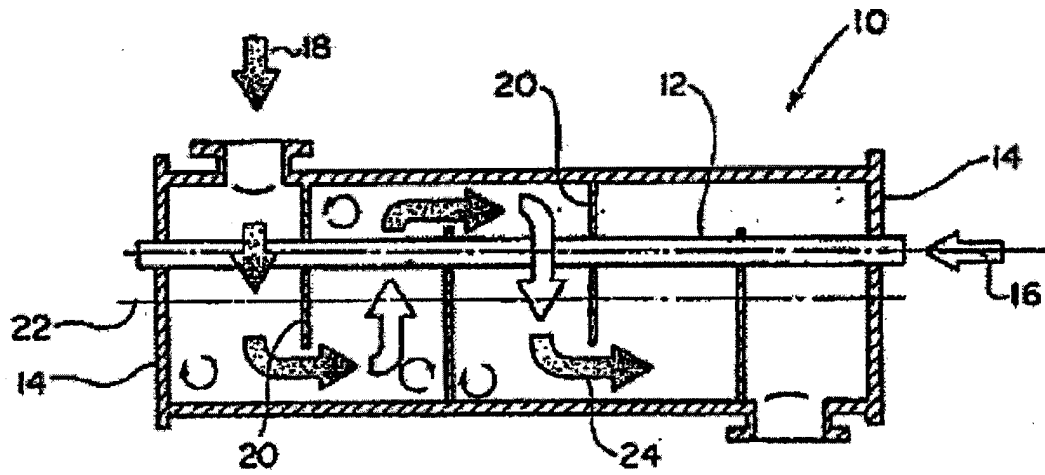


FIGURA 1  
(ESTADO DA TÉCNICA)

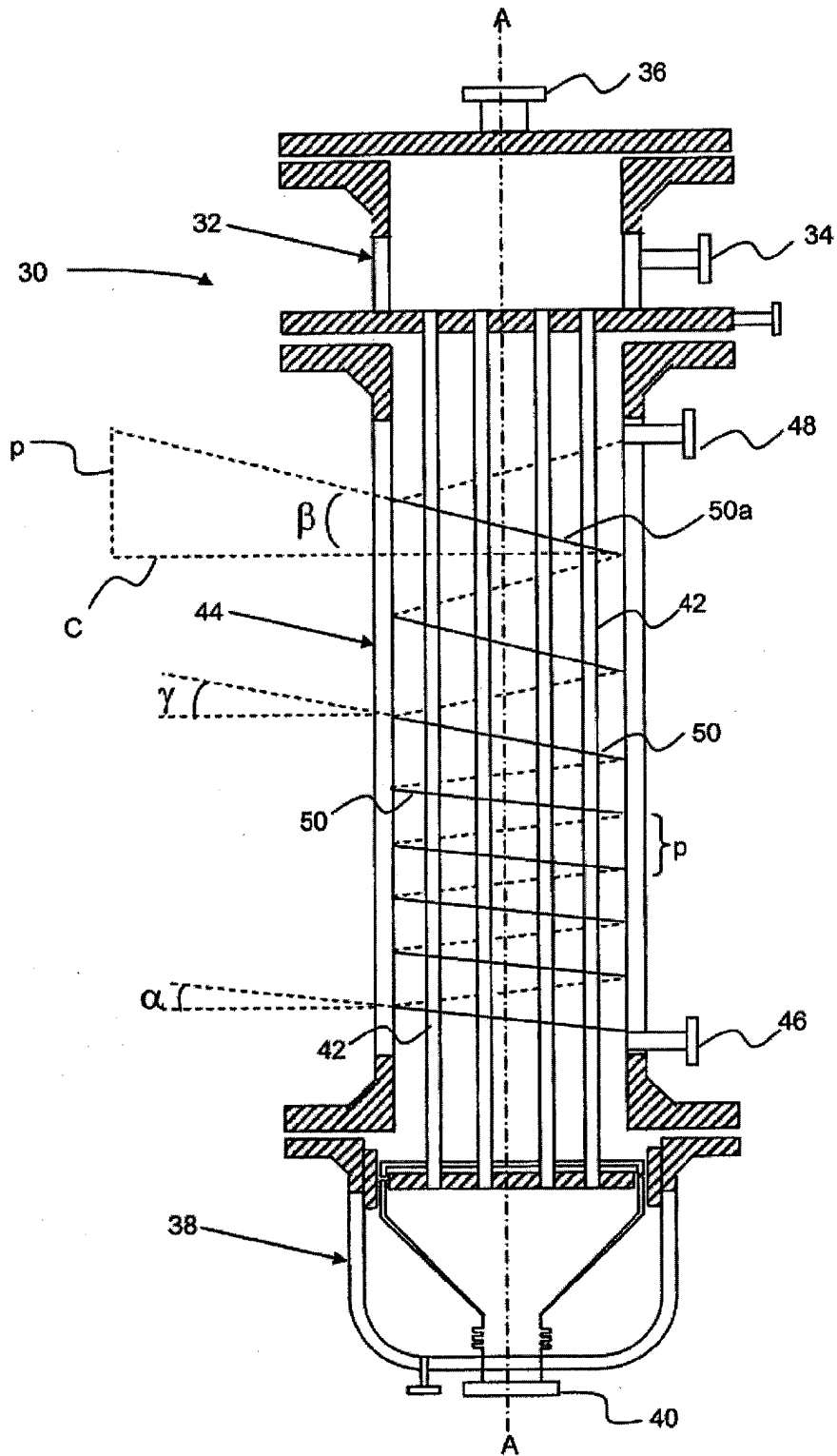


FIGURA 2