



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

(11) PI 0209718-4 B1

(22) Data do Depósito: 31/05/2002

(45) Data de Concessão: 28/03/2017



(54) Título: CONTROLE DA RELAÇÃO DE VAPOR PARA CARBONO EM REFORMA POR VAPOR DE HIDROCARBONETOS

(51) Int.Cl.: G05D 11/02; G01F 1/84; C01B 3/34

(30) Prioridade Unionista: 04/06/2001 US 09/873.716

(73) Titular(es): MICRO MOTION, INC.

(72) Inventor(es): JULIE ANN VALENTINE

"CONTROLE DA RELAÇÃO DE VAPOR PARA CARBONO EM REFORMA POR VAPOR DE HIDROCARBONETOS"

CAMPO DA INVENÇÃO

[001]Esta invenção refere-se a processos e aparelho para aperfeiçoamento da eficiência de processo da reforma por vapor de hidrocarbonetos (SRH) de produção de hidrogênio gasoso. Mais particularmente, os aperfeiçoamentos de processo usam um fluxômetro Coriolis, para controlar a relação de vapor para carbono na produção de hidrogênio gasoso por SRH.

PROBLEMA

[002]O hidrogênio é uma mercadoria crescentemente valiosa tendo muitos usos, tais como refrigerante em equipamento elétrico, combustível para exploração espacial e em processos químicos de produtos comercialmente importantes, especialmente, amônia, metanol, álcoois oxos e gasolina hidroformada. A demanda por hidrogênio é crescente devido aos requisitos regulatórios que estimulam o desenvolvimento de combustíveis de melhor desempenho e mais limpos.

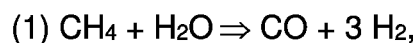
[003]O processo produtivo primário de hidrogênio em quantidades comerciais é a reforma por vapor de hidrocarbonetos (SRH). O processo pode ser conduzido em hidrocarbonetos gasosos ou em frações de petróleo de baixo teor de octanas, sob condições processuais que envolvem, tipicamente, altos calor e pressão. Quando o processo de reforma é conduzido sem um catalisador, é de conhecimento geral na técnica como termorreforma. A SRH é mais eficiente quando um catalisador, tal como níquel, molibdênio ou platina, facilita a reação. Uma carga de alimentação de baixo teor de enxofre é necessária para evitar o envenenamento do catalisador. A SRH é bem conhecida na técnica e é descrita em várias publicações, tal como R. N. Shreve, "Sherev's Chemical Process Industries", Mc-Graw-Hill, Inc., pp. 106 - 109 (1984) e D. M. Considine, "Chemical and Process Technology Encyclopedia", Mc-Graw-Hill, Inc., pp. 592 - 596 (1974),

que são aqui incorporadas por referência ao ponto que todo o conteúdo delas seja aqui inteiramente repetido.

[004]A produção de hidrogênio gasoso pelo processo SRH envolve a reação de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos com vapor. Em geral, as cargas de alimentação de hidrocarbonetos contêm vários hidrocarbonetos e a química de reação se passa de acordo com as equações estequiométricas ideais para cada tipo de hidrocarboneto. Ocorrem várias diferentes reações, dependendo da carga de alimentação. As reações mais importantes podem ser divididas geralmente como:

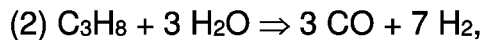
- A. Desidrogenação de cicloexanos para produção de hidrocarbonetos aromáticos;
- B. Desidrogenação de determinadas parafinas para produção de substâncias aromáticas;
- C. Isomerização, incluindo a conversão de estruturas de átomos de carbono de cadeia linear em cadeia ramificada, tal como octano em isooctano;
- D. Reforma de metano em gás natural para produção de dióxido de carbono e hidrogênio; e
- E. Reforma de nafta para produção de gás natural sintético.

[005]Uma maneira preferida de gerar grandes quantidades de hidrogênio é usar uma carga de alimentação de gás natural que contém uma grande parte de metano. A reação se passa como mostrado na Equação 1:



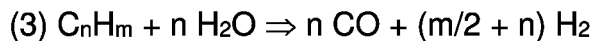
em que a H_2O está presente de preferência como vapor.

[006]Esta classe de reação opera similarmente em outras frações gasosas na carga de alimentação, para completar a decomposição, em um sentido ideal, do hidrocarboneto em dióxido de carbono e hidrogênio. Por exemplo, uma outra reação incluindo propano (C_3H_8) na carga de alimentação de hidrocarbonetos se passa de acordo com a Equação (2):



em que a H_2O está presente de preferência como vapor.

[007]Mais genericamente, esta classe global de reação se passa como mostrado na Equação (3):



[008]As equações mencionadas acima prevêem a reação de hidrocarbonetos mais leves, especialmente, metano, butano e propano, bem como alguns líquidos, tal como nafta. As extremidades mais pesadas tendem a reagir diferentemente e, enquanto algumas se passam de acordo com a Equação (3) acima, outras dessas reações, como a isomerização, ocorrem com produção de hidrogênio resultante.

[009]As equações demonstram um conceito de que diferentes proporções de vapor são necessárias para completar a reação, dependendo da composição da carga de alimentação. Por exemplo, um mol de metano requer um mol de vapor na Equação (1), enquanto que um mol de propano consome três mols de vapor na Equação (2). Nas instalações comerciais de produção, que operam com cargas de alimentação de várias composições, estas diferenças impõem um problema de equilíbrio de materiais significativo. O processo pode ser mais complicado por uso de oxigênio como um reagente, o que resulta em um consumo de vapor mais baixo.

[0010]Uma ampla gama de cargas de alimentação pode ser utilizada como a carga de alimentação de hidrocarbonetos em uma unidade de produção de hidrogênio. Hidrocarbonetos, tais como gás natural, metano, propano, butano e nafta podem ser usados como a carga de alimentação de hidrocarbonetos, sozinhos ou em combinação. Os aspectos econômicos e a disponibilidade das cargas de alimentação particulares podem ditar o uso de diferentes cargas de alimentação de hidrocarbonetos de um período para o outro.

[0011]Um problema particular surge em refinarias de petróleo, porque a

composição da carga de alimentação de SRH varia constantemente. A carga de alimentação de hidrocarbonetos para uma unidade de produção de hidrogênio pode se originar de várias fontes dentro da refinaria, e estas fontes contribuem com hidrocarbonetos diferentes. Um exemplo particular de um hidrocarboneto de fontes combinadas inclui o sistema de gás combustível da refinaria. Os resultados dos vários processos contribuem para o sistema de gás combustível por adição de diferentes hidrocarbonetos, que podem ser direcionados em uma corrente combinada para a unidade de produção de hidrogênio gasoso. Se um dos processos de gás combustível de refinaria de contribuição é interrompido ou varia em termos do volume de descarga, a composição da descarga do sistema de gás combustível varia. As variações na composição da carga de alimentação requerem variações correspondentes nas condições processuais de SRH, tal como calor, pressão e vazão, para otimizar as eficiências do processo e minimizar a poluição ambiental.

[0012]É atualmente um problema medir precisamente a composição fracionada de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos em uma unidade de produção de hidrogênio. É um outro problema controlar a relação de vapor para carbono em uma unidade de produção de hidrogênio, com base na composição da carga de alimentação. Estes problemas de medida e controle reduzem as eficiências do processo SRH, enquanto aumentando os problemas de poluição ambiental associados.

[0013]Uma abordagem tradicional para medir a carga de alimentação de hidrocarbonetos em uma unidade de produção de hidrogênio envolve a medida da carga de alimentação de hidrocarbonetos com um fluxômetro volumétrico. Ainda que um pouco útil na abordagem do problema de equilíbrio da reação originário das cargas de alimentação combinadas, no entanto, os medidores volumétricos são incapazes de proporcionar uma solução de medida completa. Quando a composição da carga de alimentação de hidrocarbonetos varia ou é

usada uma carga de alimentação de hidrocarbonetos substituta, a proporção de carbono contribuída para a unidade de produção de hidrogênio gasoso pode variar bastante dentro de uma determinada unidade de volume, como pode a quantidade necessária de vapor para completar a reação. Por exemplo, sob condições idênticas de temperatura e pressão, a proporção de vapor necessária para reagir com um volume de propano é aproximadamente três vezes maior do que a proporção de vapor necessária para reagir com o mesmo volume de metano. O problema é aumentado por comportamento real do gás, quando os gases mais leves tendem a ter fatores de compressibilidade mais altos.

[0014] Outra abordagem para a medida para medir a carga de alimentação de hidrocarbonetos é determinar a composição da carga de alimentação de hidrocarbonetos com um cromatógrafo gasoso. No entanto, um cromatógrafo gasoso não pode proporcionar dados de composição em tempo real para uma carga de alimentação de hidrocarbonetos.

[0015] É conhecido o uso de fluxômetros de massa Coriolis para medir fluxo de massa e outras informações com relação aos materiais escoando por uma tubulação, como descrito na patente U.S. 4.491.025, emitida para J. E. Smith et al. de 1º de janeiro de 1985 e Re. 31.450 para J. E. Smith de 11 de fevereiro de 1982. Esses fluxômetros compreendem, tipicamente, uma parte eletrônica do fluxômetro e uma parte sensor do fluxômetro. Os sensores do fluxômetro têm um ou mais tubos de escoamento de uma configuração linear ou curva. Cada configuração de tubo de escoamento tem um conjunto de modos de vibração naturais, que podem ser de um tipo de encurvamento, de torção ou radial único ou do tipo acoplado. Cada tubo de escoamento é acionado para oscilar em ressonância em um desses modos naturais. Os modos de vibração naturais dos sistemas enchidos com material, vibratórios são definidos, em parte, pela massa combinada dos tubos de escoamento e do material dentro dos tubos de escoamento. O material escoando para o sensor do fluxômetro de uma tubulação

conectada no lado de admissão do sensor do fluxômetro. O material é depois direcionado pelos tubos de escoamento e sai do sensor do fluxômetro para uma tubulação conectada no lado de descarga do sensor do fluxômetro.

[0016]Quando não há qualquer material escoando por um sensor do fluxômetro Coriolis, todos os pontos ao longo dos tubos de escoamento oscilam com uma fase substancialmente idêntica. Na medida em que o material escoar pelos tubos de escoamento, as acelerações Coriolis faz com que pontos ao longo dos tubos de escoamento tenham uma fase diferente. A fase no lado de admissão do sensor do fluxômetro retarda o acionador, enquanto que a fase no lado de descarga do sensor do fluxômetro acelera o acionador.

[0017]Os sensores de fluxômetro Coriolis incluem, tipicamente, dois interceptadores para produção de sinais senoidais representativos do movimento dos tubos de escoamento, em diferentes pontos ao longo dos tubos de escoamento. Uma diferença de fase dos sinais senoidais recebidos dos interceptadores é calculada pela parte eletrônica do fluxômetro. A diferença de fase entre o sinal do interceptador é proporcional à vazão mássica do material escoando pelo sensor do fluxômetro.

[0018]Os sistemas de medida de fluxo Coriolis não foram adaptados para uso nos processos SRH, em parte, por causa de medem fundamentalmente massa, opostos aos sistemas volumétricos convencionais. Adicionalmente, não se entendeu como os fluxômetros de massa podem ser adaptados para medir ou estimar a massa atribuível aos componentes fracionados das cargas de alimentação combinadas.

SOLUÇÃO

[0019]Os problemas mencionados acima e outros são solucionados e um avanço na técnica é feito por adaptação de fluxômetros Coriolis, para uso na medida da carga de alimentação de hidrocarbonetos de uma unidade de produção de hidrogênio gasoso SRH. O uso de fluxômetros de massa Coriolis, como

descrito abaixo, resulta em uma medida da carga de alimentação de hidrocarbonetos mais precisa, versátil e em tempo real do que é permitido pelos sistemas convencionais. Além disso, o uso de um fluxômetro de massa Coriolis permite um maior controle da relação de carbono para vapor na produção de hidrogênio gasoso.

[0020]Em termos gerais, o sistema e o processo de dosagem proporcionados de acordo com os presentes meios usam um fluxômetro de massa, tal como um fluxômetro de massa Coriolis, para medir a massa ou a vazão de massa da carga de alimentação de hidrocarbonetos transferida para uma unidade de produção de hidrogênio gasoso. A vazão mássica da carga de alimentação de hidrocarbonetos é depois usada para controlar a relação de vapor para carbono em uma produção de hidrogênio gasoso por SRH.

[0021]Uma dessas modalidades de um sistema de fluxômetro de massa compreende um suprimento de carga de alimentação de hidrocarbonetos, para suprir uma carga de alimentação de hidrocarbonetos para o sistema de produção de hidrogênio gasoso. Um suprimento de vapor é usado para fornecer vapor ao sistema de produção de hidrogênio. Um fluxômetro de massa é conectado operacionalmente ao suprimento de carga de alimentação de hidrocarbonetos, para medir uma vazão mássica de hidrocarbonetos nele e para produzir um sinal de vazão de hidrocarbonetos representando a vazão de hidrocarbonetos. Um segundo fluxômetro é conectado operacionalmente ao suprimento de vapor, para medir uma vazão de vapor e para produzir um sinal de vazão de vapor representando a vazão de vapor. Um controlador é operante para receber o sinal de vazão de hidrocarbonetos e o sinal de vazão de vapor. O controlador tem instruções de programa para controlar uma relação da carga de alimentação de hidrocarbonetos e do vapor transferido para o sistema de produção de hidrogênio.

[0022]As modalidades preferidas incluem um ou ambos do fluxômetro de massa usado na linha de suprimento de hidrocarbonetos e do segundo fluxôme-

tro usado na linha de suprimento de vapor, compreendendo fluxômetros de massa Coriolis. Estes meios podem ser usados para se ter uma vantagem particular, quando a carga de alimentação de hidrocarbonetos compreende uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, ou materiais de hidrocarbonetos tendo uma composição diferente por um período de tempo. A precisão global do sistema é aperfeiçoada pelo uso de uma correlação, para determinar o teor de carbono na carga de alimentação de hidrocarbonetos. A precisão é otimizada ainda mais por medida de um parâmetro físico da carga de alimentação de hidrocarbonetos, tal como densidade ou densidade do gás, para facilitar a correlação.

[0023]Um processo de operação do sistema descrito acima inclui, por exemplo, medir uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos transferida para o sistema de produção de hidrogênio e proporcionar uma medida da vazão mássica de hidrocarbonetos, medir uma segunda vazão de vapor transferida para o sistema de produção de hidrogênio, para proporcionar uma medida de vazão de vapor, controlar a proporção da carga de alimentação de hidrocarbonetos e do vapor transferidos para o sistema de produção de hidrogênio, com base na medida da vazão mássica de hidrocarbonetos e na medida da vazão de vapor. As medidas podem ser feitas juntamente com as operações de controle, para ajustar a relação de carbono e vapor. As etapas de medida podem ser ainda repetidas em tempo real, enquanto que o controlador está fazendo ajustes nas respectivas vazões.

[0024]O sistema e o processo de dosagem proporcionados de acordo com a presente invenção podem utilizar uma CPU (Unidade de Processamento Central) na forma de eletrônica de medição, um controlador ou qualquer outro dispositivo computacional, que opera com um sinal representando a medida de vazão mássica de hidrocarbonetos e controla uma válvula ou outro dispositivo capaz de modificar o fluxo de hidrocarbonetos de acordo com a relação de carbono para vapor desejada. O dispositivo computacional também pode usar esses

sinais para controlar uma válvula ou outro dispositivo capaz de modificar o fluxo de vapor de acordo com a relação de carbono para vapor desejada. O sistema de dosagem de fluxômetro de massa Coriolis é particularmente vantajoso, quando uma unidade de produção de hidrogênio gasoso comuta facilmente entre os diferentes tipos de cargas de alimentação de hidrocarbonetos ou recebe cargas de alimentação de hidrocarbonetos de composição de hidrocarbonetos modificada.

ASPECTOS DA INVENÇÃO

[0025]De acordo com a discussão acima, os meios descritos têm os seguintes aspectos.

[0026]Um aspecto da invenção envolve um sistema de dosagem de fluxo, para uso no controle de uma reação de reforma em um sistema de produção de hidrogênio, o dito sistema de dosagem de fluxo sendo caracterizado por:

um primeiro fluxômetro configurado para medir uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos, de um suprimento de carga de alimentação de hidrocarbonetos, e produzir um sinal de vazão de hidrocarbonetos representando a dita vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos;

um segundo fluxômetro configurado para medir uma vazão do vapor, de um suprimento de vapor, e produzir um sinal de vazão de vapor representando a dita vazão do dito vapor; e

um controlador configurado para receber o dito sinal de vazão de hidrocarbonetos e o dito sinal de vazão de vapor, receber um fator do teor de carbono estimado, o dito fator do teor de carbono estimado sendo baseado pelo menos em um constituinte potencial da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, processar a dita vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos e o dito fator do teor de carbono estimado, para determinar um teor de carbono estimado da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, receber uma relação

de carbono para vapor para o dito sistema de produção de hidrogênio e processar o dito teor de carbono estimado da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, a dita vazão do dito vapor e a dita relação de carbono para vapor, para controlar pelo menos uma da dita vazão do dito vapor e a vazão da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos.

[0027]De preferência, o dito fator do teor de carbono estimado é baseado em uma massa de carbono para o dito pelo menos um constituinte potencial da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos.

[0028]De preferência, o dito fator do teor de carbono estimado é baseado em uma massa de carbono para o dito pelo menos um constituinte potencial, em relação a uma massa total do dito pelo menos um constituinte potencial.

[0029]De preferência, o dito controlador é configurado para selecionar o dito fator do teor de carbono estimado de uma gama de fatores de teores de carbono para a dita carga de alimentação de hidrocarbonetos.

[0030]De preferência, o dito fator do teor de carbono estimado compreende um valor constante predeterminado para o dito pelo menos um constituinte potencial da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos.

[0031]De preferência, o dito controlador é configurado para processar condições processuais medidas para aperfeiçoar a estimativa do dito fator do teor de carbono estimado.

[0032]De preferência, o dito primeiro fluxômetro compreende um fluxômetro de massa Coriolis.

[0033]De preferência, o sistema de dosagem de fluxo compreende ainda o dito segundo fluxômetro, que compreende um fluxômetro de massa Coriolis.

[0034]De preferência, o sistema de dosagem de fluxo compreende ainda o dito sistema de produção de hidrogênio, que compreende um sistema de Reforma por Vapor de Hidrogênio (SRH).

[0035]De preferência, o sistema de dosagem de fluxo compreende ainda:

uma primeira válvula acoplada ao dito controlador e configurada para controlar o fluxo da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, responsiva às instruções do dito controlador; e

uma segunda válvula acoplada ao dito controlador e configurada para controlar o fluxo do dito vapor, responsiva às instruções do dito controlador.

[0036]Outro aspecto da invenção envolve um processo para operação de um sistema de dosagem de fluxo, para controlar uma reação de reforma em um sistema de produção de hidrogênio, o dito processo compreendendo as etapas de:

medir uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos, transferida para o dito sistema de produção de hidrogênio, para proporcionar uma medida de vazão mássica de hidrocarbonetos;

medir uma vazão de vapor, transferido para o dito sistema de produção de hidrogênio, para proporcionar uma medida de vazão de vapor;

identificar um fator do teor de carbono estimado, o dito fator do teor de carbono estimado sendo baseado em pelo menos um constituinte potencial da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos;

processar a dita medida de vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos e o dito fator do teor de carbono estimado, para determinar um fator do teor de carbono estimado da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos;

identificar uma relação de carbono para vapor para o dito sistema de produção de hidrogênio; e

processar o dito fator do teor de carbono estimado para a dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, a dita vazão do dito vapor e a dita relação de carbono para vapor, para controlar pelo menos uma da dita vazão do dito vapor e da dita vazão da carga de alimentação de hidrocarbonetos.

[0037]De preferência, o dito fator do teor de carbono estimado é baseado

em uma massa de carbono para o dito pelo menos um constituinte potencial da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos.

[0038]De preferência, o dito fator do teor de carbono estimado é baseado na dita massa de carbono para o dito pelo menos um constituinte potencial, em relação a uma massa total do dito pelo menos um constituinte potencial.

[0039]De preferência, a etapa de identificar um fator do teor de carbono estimado compreende a etapa de selecionar o dito fator do teor de carbono estimado de uma gama de fatores do teor de carbono para a dita carga de alimentação de hidrocarbonetos.

[0040]De preferência, o dito fator do teor de carbono estimado compreende um valor constante predeterminado para o dito pelo menos um constituinte potencial da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos.

[0041]De preferência, o sistema de dosagem de fluxo compreende ainda a etapa de processar as ditas condições processuais medidas para aperfeiçoar a estimativa do dito fator do teor de carbono estimado.

[0042]De preferência, a etapa de medir uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos compreende a etapa de medir a dita vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, usando um fluxômetro de massa Coriolis.

[0043]De preferência, a etapa de medir uma vazão de vapor compreende a etapa de medir a dita vazão do dito vapor, usando um fluxômetro de massa Coriolis.

[0044]De preferência, o dito sistema de produção de hidrogênio compreende um sistema de Reforma por Vapor de Hidrogênio (SRH).

[0045]De preferência, o processo compreende ainda:

controlar o fluxo da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, usando uma primeira válvula; e

controlar o fluxo do dito vapor usando uma segunda válvula.

DESCRIÇÃO SUCINTA DOS DESENHOS

[0046]As vantagens acima e outras desta invenção podem ser mais facilmente entendidas mediante uma leitura da DESCRIÇÃO DETALHADA, em conjunto com os seguintes desenhos:

[0047]Figura 1 ilustra um sensor e eletrônica de fluxômetro Coriolis;

[0048]Figura 2 ilustra um sistema de fluxômetro Coriolis, proporcionando uma modalidade preferida, usando um fluxômetro Coriolis, para controlar o ajuste da relação de carbono para vapor em um sistema de produção de hidrogênio usando uma carga de alimentação de hidrocarbonetos;

[0049]Figura 3 é um diagrama esquemático de instruções de controle de processo, para uso em um controlador que governa a operação do sistema mostrado na Figura 2; e

[0050]Figura 4 proporciona uma correlação relativa a um fator do teor de carbono para o peso molecular médio de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0051]As modalidades preferidas da presente invenção vão ser descritas a seguir de uma forma mais completa, com referência aos desenhos em anexo. Aqueles versados na técnica vão considerar que a invenção pode ser representada de muitas formas diferentes e não se deve considerar limitada pelas modalidades aqui apresentadas; em vez disso, estas modalidades são proporcionadas de modo que esta descrição seja direta e completa e contenha todo o âmbito da invenção para aqueles versados na técnica. Nos desenhos, os números similares se referem a elementos similares ao longo deles.

[0052]A Figura 1 mostra um fluxômetro Coriolis exemplificativo 5, que compreende um sensor de fluxômetro Coriolis 10 e uma eletrônica de fluxômetro Coriolis 20. A eletrônica do fluxômetro 20 é ligada ao sensor do fluxômetro 10, por meio do caminho 100, para proporcionar, por exemplo, mas não limitado a

informações de densidade, vazão mássica, vazão volumétrica e de fluxo de massa total pelo caminho 26. Vários fluxômetros Coriolis comercialmente disponíveis, que proporcionam essas medidas, podem ser comprados, por exemplo, da Micro Motion de Boulder, Colorado.

[0053]O sensor de fluxômetro 10 inclui um par de flanges 101 e 101', uma derivação múltipla 102 e tubos de escoamento 103A e 103B. Conectados aos tubos de escoamento 103A e 103B estão um acionador 104 e sensores dos interceptadores 105 e 105', e o sensor de temperatura 107. Hastes de braçadeiras 106 e 106' servem para definir os eixos W e W', em torno dos quais oscila o tubo de escoamento.

[0054]Quando o sensor do fluxômetro 10 é inserido em um sistema de tubulações (não mostrado na Figura 1), que conduz o material do processo que está sendo medido, o material entra no sensor do fluxômetro 10 pelo flange 101, passa pela derivação múltipla 102, no qual o material é direcionado para entrar nos tubos de escoamento 103a e 103B, escoam pelos tubos de escoamento 103a e 103B e volta para a derivação múltipla 102, de onde deixa o sensor do fluxômetro 10 pelo flange 101'.

[0055]Os tubos de escoamento 103a e 103B são selecionados e montados adequadamente na derivação múltipla 102, de modo a terem substancialmente a mesma distribuição de massa, momentos de inércia e módulos elásticos em torno dos eixos de flexão W - W e W' - W', respectivamente. Os tubos de escoamento 103a - 103B se estendem para fora da derivação múltipla de um modo essencialmente paralelo.

[0056]Os tubos de escoamento 103a - 103B são acionados pelo acionador 104 em direções opostas em torno dos seus respectivos eixos de encurvamento W e W' e na que se denomina o primeiro modo de flexão fora de fase do fluxômetro. O acionador 104 pode compreender qualquer um de muitas disposições bem conhecidas, tal como um ímã montado no tubo de escoamento 103A e

uma bobina oposta montada no tubo de escoamento 103B e pela qual uma corrente alternada é passada para vibrar ambos os tubos de escoamento. Um sinal de acionamento adequado é aplicado pela eletrônica do fluxômetro 20, via o condutor 110, no acionador 104.

[0057]Os sensores dos interceptadores 105 e 105' são fixados em pelo menos um dos tubos de escoamento 103a e 103B, em extremidades opostas do tubo de escoamento, para medir a oscilação dos tubos de escoamento. Na medida em que os tubos de escoamento 103a - 103B vibram, os sensores dos interceptadores 105 - 105' geram um primeiro e um segundo sinais interceptadores. Os primeiros e segundos sinais interceptadores são aplicados aos condutores 111 e 111'.

[0058]O sensor de temperatura 107 é fixado em pelo menos um dos tubos de escoamento 103a e 103B. O sensor de temperatura 107 mede a temperatura do tubo de escoamento, para modificar as equações para a temperatura do sistema. O caminho 112 conduz sinais de temperatura do sensor de temperatura 107 para a eletrônica do fluxômetro 20.

[0059]A eletrônica do fluxômetro 20 recebe o primeiro e segundo sinais interceptadores aparecendo nos condutores 111 e 111', respectivamente. A eletrônica do fluxômetro 20 processa o primeiro e segundo sinais interceptadores, para computar a vazão mássica, a densidade ou outra propriedade do material passando pelo sensor do fluxômetro 10. Estas informações computadas são aplicadas pela eletrônica do medidor 26 no caminho 26 a um meio de utilização (não mostrado na Figura 1).

[0060]De acordo com os meios atualmente preferidos para uso do fluxômetro Coriolis 5 descrito acima, vai-se mostrar a seguir um sistema de fluxômetro de massa para uso no controle de uma reação de reforma em um sistema de produção de hidrogênio. O sistema inclui um suprimento de carga de alimentação de hidrocarbonetos, para suprir uma carga de alimentação de hidrocarbone-

tos ao sistema de produção de hidrogênio. Um suprimento de vapor é usado de forma similar para suprimento de vapor, para suprir vapor ao sistema de produção de hidrogênio. Um fluxômetro de massa é conectado operantemente ao suprimento de carga de alimentação de hidrocarbonetos, para medir uma vazão mássica de hidrocarbonetos da carga de alimentação de hidrocarbonetos, na medida em que a carga de alimentação de hidrocarbonetos é suprida ao sistema de produção de hidrogênio. O fluxômetro de massa é operante para produzir um sinal de vazão de hidrocarbonetos, representando a vazão mássica de hidrocarbonetos. Um segundo fluxômetro é conectado operantemente ao suprimento de vapor, para medir uma vazão de vapor, e é operante para produzir um sinal de vazão de vapor representando a vazão de vapor. Um controlador é operante para receber dados, incluindo o sinal de vazão de hidrocarbonetos e o sinal de vazão de vapor. As instruções de programa operam esses dados para controlar uma relação da carga de alimentação de hidrocarbonetos e do vapor transferidos para o sistema de produção de hidrogênio.

[0061]A Figura 2 é um diagrama esquemático representando o sistema de dosagem de fluxo 200. Um fluxômetro de massa de efeito Coriolis 5 é instalado na linha 202, conectando a fonte da carga de alimentação de hidrocarbonetos 204 com o reformador 206. O fluxômetro de massa de efeito Coriolis 5 realiza medidas em tempo real nos materiais escoando pela linha 202 e produz sinais representando estas medidas. Estas medidas incluem, de preferência, mas opcionalmente, vazão mássica, totalização de massa, temperatura, pressão e densidade. Como usado acima, os termos "medida de vazão mássica" e "medida de vazão", a menos que indicado de outro modo, são definidos para incluir as medidas de vazão reais, bem como quaisquer medidas ou cálculos que derivam das medidas de vazão. Desse modo, por exemplo, um cálculo da vazão volumétrica derivado por divisão de uma vazão mássica pela densidade seria também uma vazão mássica dentro do âmbito desta definição, como seria uma totalização de

massa derivada por integração da vazão mássica com o tempo. O suprimento de carga de alimentação de hidrocarbonetos 204 contém qualquer hidrocarboneto ou combinação de hidrocarbonetos que podem ser submetidos a um processamento de reforma no reformador 206. O reformador 206 é, de preferência, uma unidade ou sistema de processamento de hidrogênio convencional, do tipo que opera com gás natural ou em uma linha de combustível de refinaria, para gerar hidrogênio gasoso pelas reações mostradas nas Equações (1) - (4). O reformador 206 pode ser também um craqueador catalítico, um sintetizador de gás à base de nafta ou qualquer outro sistema que usa reforma por vapor para gerar subprodutos de hidrogênio. A válvula 208 é instalada na linha 202 para regular o fluxo pela linha 202, como dirigida por um controlador de sistema automatizado 210.

[0062]A linha 212 liga o reformador 206 com um suprimento de vapor 214, que pode incluir, por exemplo, um produto da caldeira ou de vapor misto do processamento a montante. A válvula 216 na linha 212 regula o fluxo pela linha 212, como dirigido pelo controlador de sistema automatizado 210. Um segundo fluxômetro 218 é instalado na linha 212, para medir a vazão de vapor na linha 212. O segundo fluxômetro 218 é, de preferência, um segundo fluxômetro de massa de efeito Coriolis ou um fluxômetro de vórtice de massa, mas pode ser também um fluxômetro volumétrico ou de deslocamento positivo, no qual o suprimento de vapor não um subproduto de vapor misturado ou uma mistura de duas fases de vapor e água.

[0063]O sistema 200 contém linhas de transmissão de dados, que facilitam as operações do controlador 210. A linha de dados 220 é usada para transmitir sinais entre o controlador 210 e o fluxômetro de massa 5 correspondente. A linha de dados 222 é usada para transmitir sinais entre o controlador 210 e fluxômetro de massa 218 correspondente. A linha de dados 224 é usada para transmitir sinais entre o controlador 210 e a válvula 208 correspondente, para

atuação seletiva da válvula 208, sob a direção do controlador 210, com a finalidade de controlar seletivamente a vazão na linha 202. A linha de dados 226 é usada para transmitir sinais entre o controlador 210 e a válvula 216 correspondente, para atuação seletiva da válvula 216, sob a direção do controlador 210, com a finalidade de controlar seletivamente a vazão na linha 212. Essas linhas de dados podem ser substituídas opcionalmente por um sistema de rádio ou óptico.

[0064]O controlador 210 é geralmente qualquer dispositivo computacional, tal como uma CPU, uma memória associada e um armazenamento de dados, que podem ser programados para converter as medidas de vazão mássica do fluxômetro de massa 5 na relação de carbono para vapor apropriada. O controlador 210 é também programado para controlar a vazão de vapor e/ou de hidrocarbonetos, para controlar a relação de carbono para vapor chegando no reformador 206. Este controle pode ser assegurado por ajuste seletivo de uma ou de ambas as válvulas 208 e 219, para otimizar as condições reacionais dentro do reformador 206 por demanda em um contexto de dados em tempo real, quando os fluxômetros 5 e 218 estão medindo as vazões juntamente com a ação pelo controlador 210.

[0065]O conteúdo do reformador 206 sai pelo caminho 228, no sentido de um equipamento de processamento a jusante 230. O caminho 228 pode incluir várias linhas ou tubos de transferência de material, por exemplo, levando a um equipamento de processamento a jusante convencional 230, que inclui, por exemplo, um conversor de CO usando um catalisador de óxido de ferro, para formar CO₂ com hidrogênio adicional associado. A corrente de fluxo gasoso pode ser, por exemplo, também resfriada, lavada, fracionada ou armazenada de acordo com qualquer meio conhecido.

[0066]A ilustração da Figura 2 é intencionada para ilustrar as modalidades preferidas da invenção e, conseqüentemente, não é intencionada para limitar

a invenção. Por exemplo, a eletrônica do medidor 20 pode ser integrada com o controlador 210 e vice-versa, ou as funções de processamento podem ser redistribuídas entre os respectivos componentes. Os componentes do sistema do caminho do fluxo nas linhas 202 e 212, por exemplo, o fluxômetro 5 e a válvula 208, podem ser dispostos em qualquer ordem sequencial.

[0067]Um aspecto especialmente preferido da invenção é o uso do sistema de medida de fluxo 200, quando a admissão da carga de alimentação de hidrocarbonetos para o reformador 206 da fonte da carga de alimentação de hidrocarbonetos 204 varia ou inclui constituintes múltiplos. Em refinarias de petróleo, a carga de alimentação de hidrocarbonetos para uma unidade de produção de hidrogênio pode se originar de várias fontes dentro da refinaria contribuindo para os diferentes hidrocarbonetos em uma corrente combinada ou em correntes sequenciais de composição essencialmente homóloga. Um exemplo de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos em uma refinaria de petróleo é o sistema de gás combustível da refinaria. O sistema de gás combustível da refinaria recebe a contribuição de vários processos que incorporam diferentes hidrocarbonetos na carga de alimentação de hidrocarbonetos da unidade de produção de hidrogênio gasoso. Se um dos processos do sistema de gás combustível da refinaria contribuintes é interrompido, a composição da descarga do sistema de gás combustível varia. O controlador 210 é capaz de computar a relação de carbono para vapor correta, na medida em que o teor de carbono da carga de alimentação de hidrocarbonetos varia. O processo do sistema operacional 200 inclui vários processos para calcular e aplicar esta relação, como descrito abaixo.

[0068]Vai-se mostrar e descrever, de acordo com as práticas atualmente preferidas, um processo operacional de um fluxômetro de massa, para uso em reforma por vapor do processamento de hidrocarbonetos, quando está em uso um sistema de produção de hidrogênio. O processo compreende as etapas de medir uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos,

para proporcionar uma medida de vazão mássica de hidrocarbonetos, medir uma segunda vazão de vapor, para proporcionar uma medida de vazão de vapor, e controlar as proporções da carga de alimentação de hidrocarbonetos e de vapor transferidas para o sistema de produção de hidrogênio, com base na medida de vazão mássica de hidrocarboneto e na medida de vazão de vapor. Este processo é conduzido usando, por exemplo, um sistema do tipo mostrado na Figura 2.

[0069]Como indicado acima, o processo operacional pode ser implementado por programação de um controlador, tal como o controlador 210, com instruções que representam o processo. A Figura 3 representa em diagrama um processo 300, que representa essas instruções de programa. Na etapa 302, o controlador obtém medidas de vazão para as respectivas cargas de alimentação de hidrocarbonetos e suprimento de vapor. A seguir, na etapa 304, o controlador determina um fator do teor de carbono, que é usado para aproximação do teor de carbono da carga de alimentação de hidrocarbonetos, por aplicação do fator do teor de carbono às medidas de vazão mássica de hidrocarbonetos na etapa 306. Também na etapa 306, uma relação do teor de carbono para o teor de vapor é calculada. A relação é usada para ajustar seletivamente as vazões de hidrocarbonetos e/ou de vapor, para acomodar as necessidades do processo. Vários aspectos dessas etapas de processo são discutidos abaixo em mais detalhes.

[0070]O problema básico abordado pelo uso de um fluxômetro de massa Coriolis, para medir a vazão mássica da carga de alimentação de hidrocarbonetos, é aquele das cargas de alimentação tendo várias composições. Por exemplo, uma carga de alimentação de hidrocarbonetos comum usada na produção de hidrogênio por SRH é gás natural. O gás natural é, tipicamente, uma mistura de alcanos, incluindo metano, etano, propano, butano e pentano, com uma pequena representação de frações mais pesadas. Os hidrocarbonetos de alcanos têm a fórmula geral C_nH_{2n+2} . Em virtude de que os alcanos se conformam com a

fórmula geral, a qualquer de carbono contribuída por uma carga de alimentação de gás natural é aproximadamente identificável da massa da carga de alimentação de gás natural, independente da proporção dos gases contribuintes. A massa atômica de carbono é aproximadamente 12 e a massa atômica de hidrogênio é aproximadamente 1. Com base na fórmula geral, uma determinada massa de gás natural vai ser aproximadamente 75% de carbono, por exemplo, 100 kg de gás natural representam 75 kg de carbono e 25 kg de hidrogênio. Desse modo, a determinação de um fator de teor de carbono na etapa 304 pode incluir o uso de uma constante, tal como 0,75. O fator de 0,75 é preciso para metano e uma aproximação muito boa das cargas de alimentação compreendidas basicamente de metano, em que o peso molecular do metano é 16 g/mol, dos quais 12 g/mol é carbono. Por outro lado, a fração para etano é 0,80. Para propano e butano, é 0,82 e 0,83, respectivamente.

[0071]A Figura 4 apresenta o fator adimensional F em função do peso molecular, como determinado para as frações de alcano C₁ a C₁₀. Os valores na Figura 4 demonstram que o F se aproxima de 0,85 para as frações mais pesadas e varia de 0,75 a 0,85. Um valor de F de 0,85 seria suficiente para a maior parte dos hidrocarbonetos líquidos. Para os gases, correlações como aquela mostrada na Figura 4 podem ser reproduzidas usando amostragem empírica de cargas de alimentação reais, para obter um valor ligeiramente mais preciso para F.

[0072]Em forma de equação, o número de mols de carbono em qualquer corrente de escoamento de hidrocarbonetos pode ser aproximado pela relação:

$$(4) \quad nC = \int_{t_1}^{t_2} F(t) * \left[\frac{M_f(t)}{M_c} \right] dt$$

na qual nC é o número de mols de carbono, F(t) é o fator do teor de carbono que pode variar em função do tempo, M_f(t) é a vazão mássica, que pode variar em função do tempo, M_c é o peso molecular de carbono e t é o tempo.

[0073]Por meio de contraste em relação às tecnologias de dosagem de fluxo de massa, na medida em que a proporção dos gases constituintes da carga

de alimentação de gás natural varia, a proporção de carbono contribuída pela carga de alimentação de gás natural varia em relação ao volume. Um metro cúbico nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) contém consideravelmente mais carbono do que um metro cúbico de metano. No entanto, como ilustrado acima, na medida em que a proporção dos gases constituintes da carga de alimentação de gás natural varia, a proporção de carbono contribuída pelo gás natural se mantém essencialmente constante em relação à massa da carga de alimentação de gás natural.

[0074] Outro problema com as medidas volumétricas surge do comportamento de gás real. Várias equações de estado são usadas para prever a compressibilidade dos gases, tal como a equação de Van der Waal e a lei de gás real. A lei de gás real é, por exemplo:

$$(5) \quad PV = ZnRT,$$

em que P é a pressão, V é o volume, n é o número de mols do gás, Z é o fator de compressibilidade do gás, R é a constante da lei de gás e T é a temperatura absoluta. A Equação (5) pode ser adaptada para calcular o peso molecular médio de uma corrente de escoamento combinada como

$$(6) \quad M_{wfs} = \frac{\rho ZRT}{P}$$

na qual M_{wfs} é o peso molecular médio da corrente de escoamento de gases combinados, ρ é a densidade e os valores remanescentes são definidos no contexto da Equação (5). Este valor de M_{wfs} pode ser usado para introduzir na Figura 4, ou uma correlação similar, e obter um valor para F .

[0075] Um valor de densidade medido pode ser obtido, por exemplo, por uso do fluxômetro de Coriolis 5, como um densitômetro de tubo vibratório. As medidas de densidade assim obtidas podem não ser suficientemente precisas, sob as condições de baixa pressão, dependendo do projeto do medidor empregado para tal. Desse modo, medidas de densidade complementares podem ser obtidas na linha 202 (consultar a Figura 2), por exemplo, por instrumentos adici-

onais, tal como um densitômetro de raio gama ou qualquer outro instrumento ou correlação empírica, que seja capaz de proporcionar medidas de densidade de gás.

[0076]O valor para Z é calculado, de preferência, usando uma correlação empírica convencional para esta finalidade, tal como aquela publicada por Brown et al., "Natural Gasoline and the Volatile Hydrocarbons", Natural Gas Assn. of America, Tulsa (1948) ou Wichert e Aziz, "Compressibility Factors for Sour Natural Gases", Cdn. J. Chem. Eng. (1972) 49, 269 - 75, que se referem às temperatura e pressão pseudo-reduzidas para o valor de Z . As variações no valor de Z com o tempo vão ser provavelmente desprezíveis na faixa da maior parte das condições processuais e cargas de alimentação.

[0077]A nafta é também uma carga de alimentação de hidrocarbonetos comumente usada na produção de hidrogênio por SRH. A nafta é, tipicamente, uma mistura de hidrocarbonetos alcanos e hidrocarbonetos não alcanos. Os hidrocarbonetos não alcanos incluem alcenos e alcinos. A presença de duplas-ligações e ligações triplas nestes hidrocarbonetos pode ter uma pequena influência no aumento do valor do fator F . Por exemplo, um alceno puro tendo uma dupla-ligação pode ter um valor de F de 0,86, enquanto que um alcino de mesmo comprimento pode ter um valor de F de 0,96. O conhecimento da variabilidade das proporções de alcanos e não alcanos, associado com a carga de alimentação de nafta, propicia que a proporção de carbono contribuída pela carga de alimentação seja estimada facilmente.

[0078]Outro processo de cálculo do valor de F na etapa 304 é instruir uma rede neural convencional ou outro modelo adaptativo por, por exemplo, introdução de condições ou resultados processuais medidos das operações de processamento a jusante 230 (consultar a Figura 2), juntamente com as informações de medida de fluxo do fluxômetro de massa 5 e do fluxômetro 218, bem como outras medidas, incluindo temperatura e pressão do processo em qualquer

componente do fluxo a montante da linha de transferência de material 228. A rede pode ser depois invertida, para produzir um modelo previsivo no qual as condições processuais à jusante podem ser proporcionadas como entrada para chegar a uma combinação necessária das vazões governadas pelo controlador 210.

[0079]Uma vez que proporção de hidrocarboneto contribuída pela carga de alimentação de hidrocarbonetos é conhecida, a proporção correspondente de vapor pode ser determinada, que é a parte final da etapa 306. A proporção de vapor é determinada por analogia às Equações (1) a (3), que requerem um mol de água, na forma de vapor, para cada mol de carbono. O número de mols de carbono pode ser calculado, por exemplo, usando a Equação (4). O número de mols de vapor pode ser calculado de maneira similar, por substituição da medida de vazão mássica do fluxômetro 218 por M_f e do peso molecular da água por M_w .

$$(7) \quad nW = \int_{t_1}^{t_2} F_w(t) * \left[\frac{M_{fw(t)}}{M_w} \right] dt$$

na qual nW é o número de mols de água ou vapor, $F_w(t)$ é a proporção de suprimento de vapor 214 que é vapor (usualmente 100%), que pode variar com o tempo, $M_{fw}(t)$ é a vazão mássica do suprimento de vapor que pode variar com o tempo, M_w é o peso molecular de água e t é o tempo.

[0080]Na prática, a relação de carbono para vapor é ajustada na etapa 308, para considerar os desvios da reação ideal e a experiência convencional com os processos SRH subjacentes relacionados. Por exemplo, um excesso estequiométrico de vapor pode ser preferido para promover a produção de hidrogênio de acordo com as Equações (1) a (3) no sentido de um completamento substancial. Em outros processos, oxigênio pode ser adicionado. Ambas essas eventualidades requerem um ajuste correspondente com a suposição de equivalência 1:1 entre os teores molares de vapor e carbono.

[0081]Na relação mostrada como as Equações (4) e (7), pode-se considerar que F e F_w não variam com o tempo. Neste caso, os integrandos devolvem

a massa acumulada por um intervalo de tempo multiplicada pelas várias constantes. A eletrônica do medidor 20 dos fluxômetros Coriolis, por exemplo, são algumas vezes capazes de acumular esses totais, que caem na definição ampla de "vazão mássica", usada aqui em virtude de que esses totais derivam das medidas de vazão mássica. Além do mais, sob essas considerações, uma relação pode ser calculada sem que se tenha que integrar, como

$$(8) \quad \frac{dnC}{dnW} = \left\{ \frac{F(t_1) \left[\frac{M_f(t_1)}{M_c} \right]}{F_w(t_1) \left[\frac{M_{fw}(t_1)}{M_w} \right]} \right\}$$

em que $(dnC)/(dnW)$ é uma relação das vazões molares de carbono para vapor, por um intervalo médio ou um momento de tempo t_1 , $F(t_1)$ é o fator do teor de carbono que é constante pelo intervalo ou momento de tempo t_1 , $F_w(t_1)$ é a proporção de suprimento de vapor 214 que é vapor (usualmente 100%) que é constante pelo intervalo ou momento de tempo t_1 , as medidas $M_f(t_1)$ e $M_{fw}(t_1)$ são determinadas juntamente com as respectivas vazão mássica de hidrocarbonetos, $M_f(t_1)$, e vazão mássica de vapor, $M_{fw}(t_1)$, e os termos restantes são definidos acima em relação às Equações (4) e (7).

[0082]O controlador do sistema automatizado 210 pode aplicar os princípios e as equações mencionados acima, para ajustar essa relação na etapa 308, por controle das válvulas 208 e 216, para obter as novas vazões dos respectivos suprimentos de hidrocarbonetos e vapor.

[0083]O ajuste seletivo das proporções relativas de carbono e vapor, sozinho, não satisfaz a necessidade do processo SRH global. As proporções relativas de carbono e vapor são ajustadas, de preferência, em uma proporção relativa, para estabelecer a relação desejada, enquanto mantendo um fluxo suficiente pelo reformador 206 (consultar a Figura 2), de modo que o reformador 206, em ordem de prioridade, opera dentro do parâmetro de projeto, não se torna um ponto de estrangulamento para as operações processuais a montante da linha 202, não excede as sujeições de suprimento dos materiais disponíveis para uso

na linha 202, e satisfaz as necessidades das operações de processamento a jusante 230. Desse modo, o controlador 210 é, de preferência, configurado para ajustar as vazões e as condições processuais no sistema global 200, incluindo as condições processuais a montante e a jusante.

[0084]Aqueles versados na técnica vão entender que as modalidades preferidas descritas acima podem ser submetidas a modificações visíveis, sem que se afaste dos verdadeiros âmbito e espírito da invenção. Os inventores, consequentemente, aqui mencionam que a intenção deles é de se basear na Doutrina de Equivalentes, para proteger os seus direitos integrais na invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de fluxômetro de massa (200) para uso no controle de uma reação de reforma em um sistema de produção de hidrogênio (206), o sistema de fluxômetro de massa compreendendo:

um suprimento de carga de alimentação de hidrocarbonetos (204) para suprir uma carga de alimentação de hidrocarbonetos ao dito sistema de produção de hidrogênio; e

um suprimento de vapor (214) para suprir vapor para o dito sistema de produção de hidrogênio;

um primeiro fluxômetro (5) para medir uma vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, suprida ao dito sistema de produção de hidrogênio, e para produzir um sinal de vazão de hidrocarbonetos representando a dita vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos;

um segundo fluxômetro (218) para medir uma vazão do dito vapor, suprido ao dito sistema de produção de hidrogênio, e para produzir um sinal de vazão de vapor representando a dita vazão do dito vapor; e

CARACTERIZADO por compreender

um controlador (210) operante para receber o dito sinal de vazão de hidrocarbonetos e o dito sinal de vazão de vapor, o controlador configurado para processar a dita vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, para determinar um teor de carbono estimado da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, e controlar pelo menos uma da dita vazão do dito vapor e da dita vazão da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, com base em uma relação do dito teor de carbono estimado e do dito vapor transferido para o dito sistema de produção de hidrogênio.

2. Sistema de fluxômetro de massa (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato do dito primeiro fluxômetro (5) compreender um fluxômetro de massa Coriolis.

3. Sistema de fluxômetro de massa (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato do dito segundo fluxômetro (218) compreender um fluxômetro de massa.

4. Sistema de fluxômetro de massa (200), de acordo com a reivindicação 3, **CARACTERIZADO** pelo fato do dito segundo fluxômetro (218) compreender um fluxômetro de massa Coriolis.

5. Sistema de fluxômetro de massa (200), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato do controlador ser configurado para ajustar a dita relação, a dita carga de alimentação de hidrocarbonetos tendo várias frações de hidrocarbonetos.

6. Sistema de fluxômetro de massa (200), de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato do controlador ser configurado para determinar a dita relação, de uma correlação com base em um parâmetro físico medido da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos.

7. Sistema de fluxômetro de massa (200), de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADO** pelo fato do dito parâmetro físico medido compreender densidade.

8. Sistema de fluxômetro de massa (200), de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato do primeiro fluxômetro (5) compreender um fluxômetro de massa Coriolis, operante para realizar uma medida de densidade, e do dito fluxômetro de massa Coriolis ser operante para proporcionar ao dito controlador um sinal representando a dita medida de densidade.

9. Sistema de fluxômetro de massa (200), de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato do controlador ser configurado para uso da dita relação como uma constante.

10. Processo (300) para operação de um sistema de fluxômetro de massa (200), para uso em reforma por vapor de processamento de hidrocarbonetos, quando um sistema de produção de hidrogênio (206) está em uso, compreen-

dendo as etapas de:

medir (302) uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos, transferida para o dito sistema de produção de hidrogênio, para proporcionar uma medida de vazão mássica de hidrocarbonetos;

medir (302) uma vazão de vapor, transferido para o dito sistema de produção de hidrogênio, para proporcionar uma medida de vazão de vapor;

processar (304) a dita medida de vazão mássica de hidrocarbonetos, para determinar um teor de carbono estimado da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos; e

CARACTERIZADO pelas etapas de:

controlar (308) pelo menos uma da dita vazão do dito vapor e da dita vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, com base em uma relação do dito teor estimado de carbono e do dito vapor transferido para o dito sistema de produção de hidrogênio.

11. Processo (300), de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato da dita etapa de medir uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos compreender medir a dita vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, usando um fluxômetro de massa Coriolis, para obter a dita medida de vazão mássica de hidrocarbonetos.

12. Processo (300), de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato da dita etapa de medir uma vazão de vapor compreender medir a dita vazão do dito vapor usando um fluxômetro de massa.

13. Processo (300), de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato da dita etapa de medir uma vazão de vapor compreender medir a dita vazão do dito vapor usando um fluxômetro de massa Coriolis.

14. Processo (300), de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** por compreender ainda ajustar a dita relação para várias

cargas de alimentação de hidrocarbonetos.

15. Processo (300), de acordo com a reivindicação 14, **CARACTERIZADO** pelo fato da dita etapa de controlar (308) pelo menos uma da dita vazão do dito vapor e da dita vazão mássica da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos, com base em uma relação, compreender determinar a dita relação de uma correlação com base em um parâmetro físico medido da dita carga de alimentação de hidrocarbonetos.

16. Processo (300), de acordo com a reivindicação 15, **CARACTERIZADO** pelo fato do dito parâmetro físico medido compreender densidade.

17. Processo (300), de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato da dita etapa de medir uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos compreender medir a dita vazão mássica, usando um fluxômetro de massa Coriolis, operante para realizar uma medida de densidade, e compreender ainda uma etapa de obter a dita densidade por medida direta do dito fluxômetro de massa Coriolis.

18. Processo (300), de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato da dita etapa de controlar ocorrer juntamente com as ditas etapas de medir uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos e medir uma vazão de vapor.

19. Processo (300), de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** por compreender ainda repetir as ditas etapas de medir uma vazão mássica de uma carga de alimentação de hidrocarbonetos e medir uma vazão de vapor, enquanto a dita etapa de controlar está em curso.

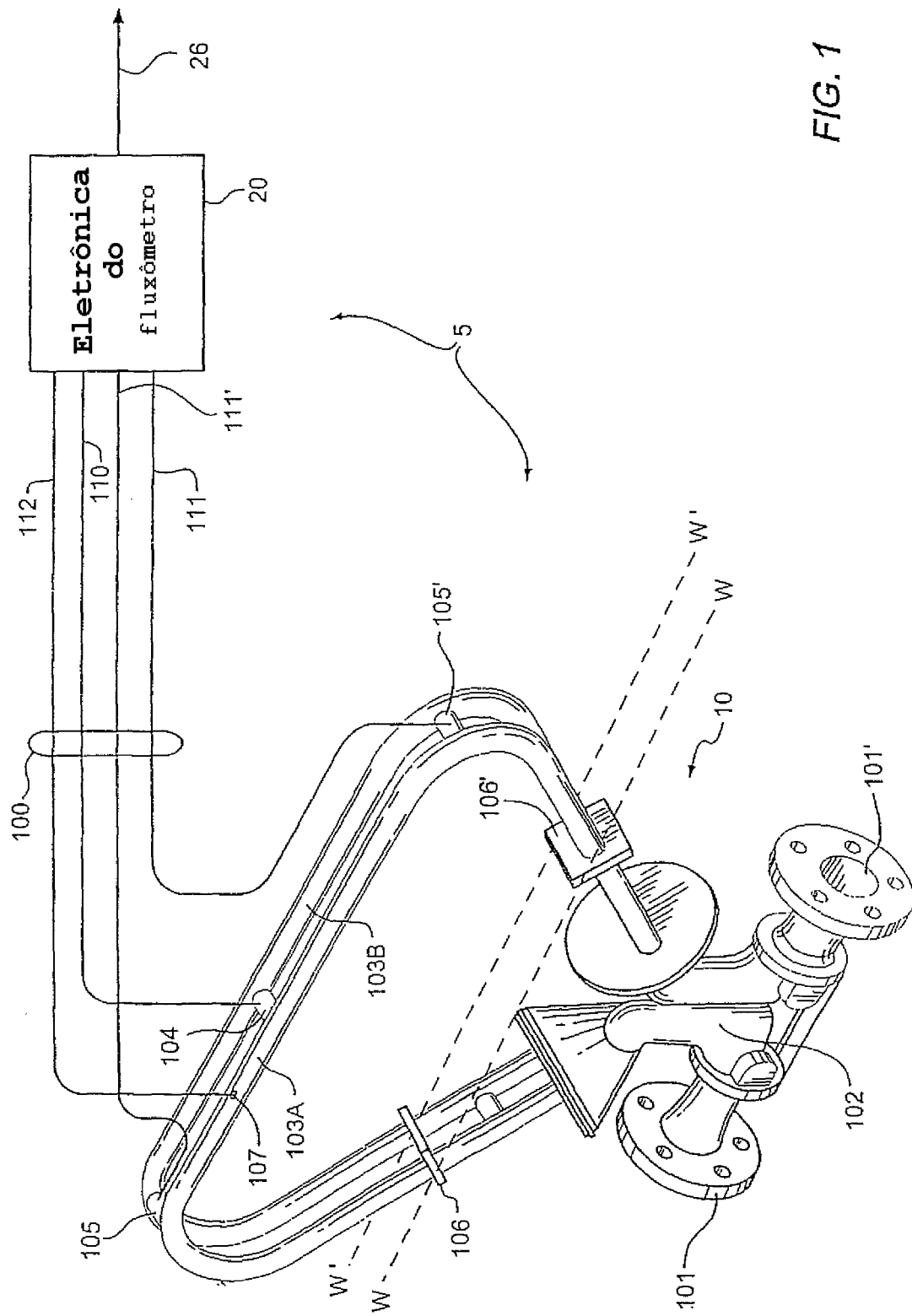


FIG. 1

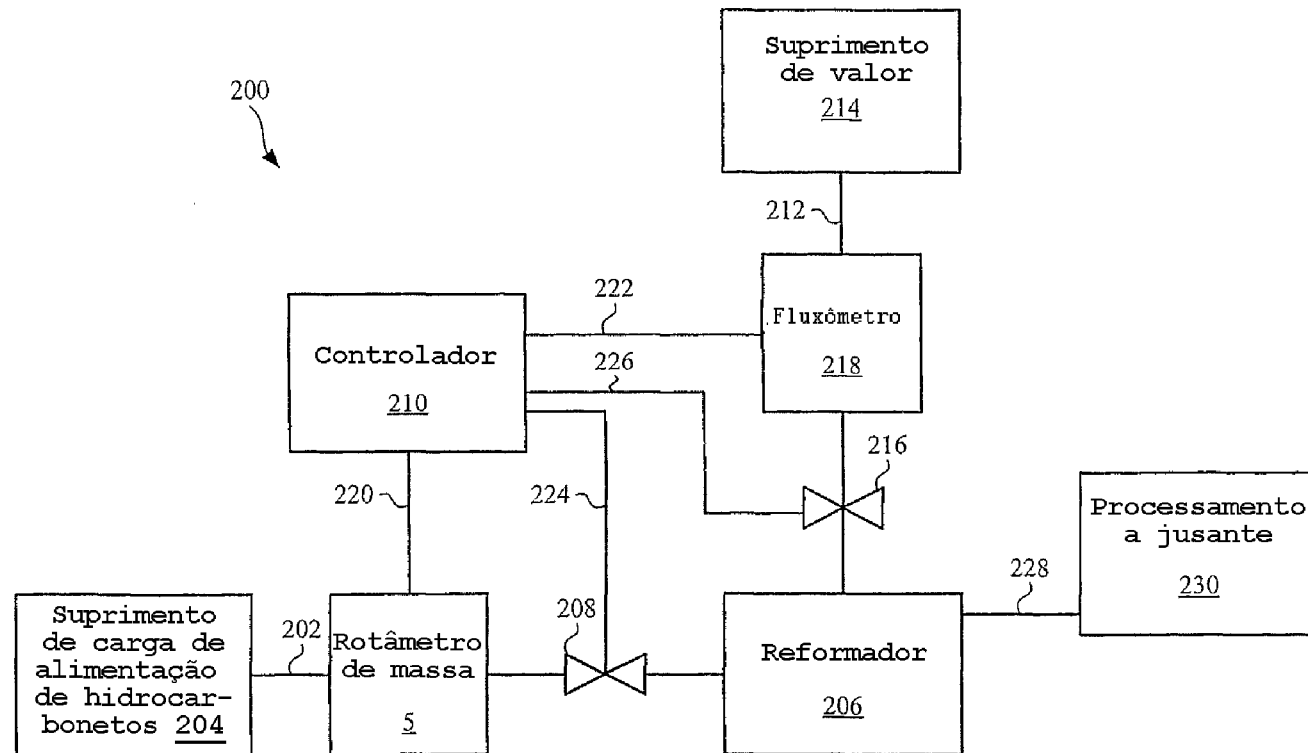


FIG. 2

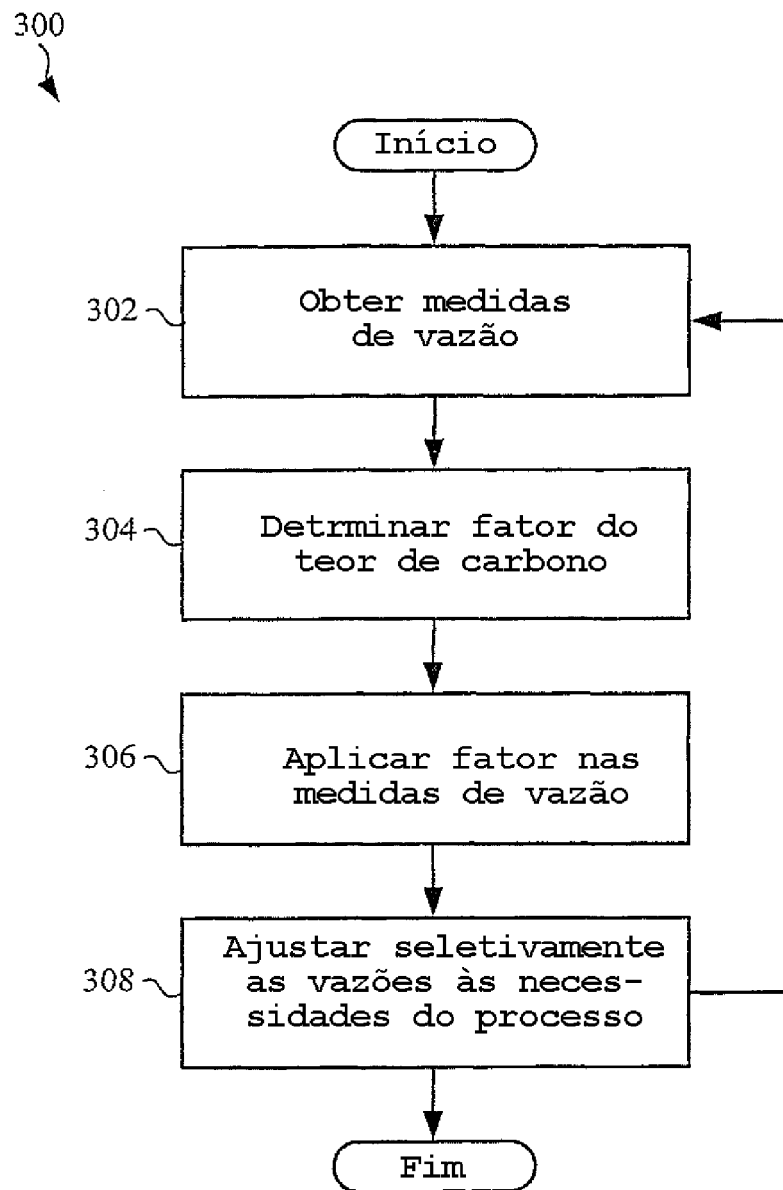
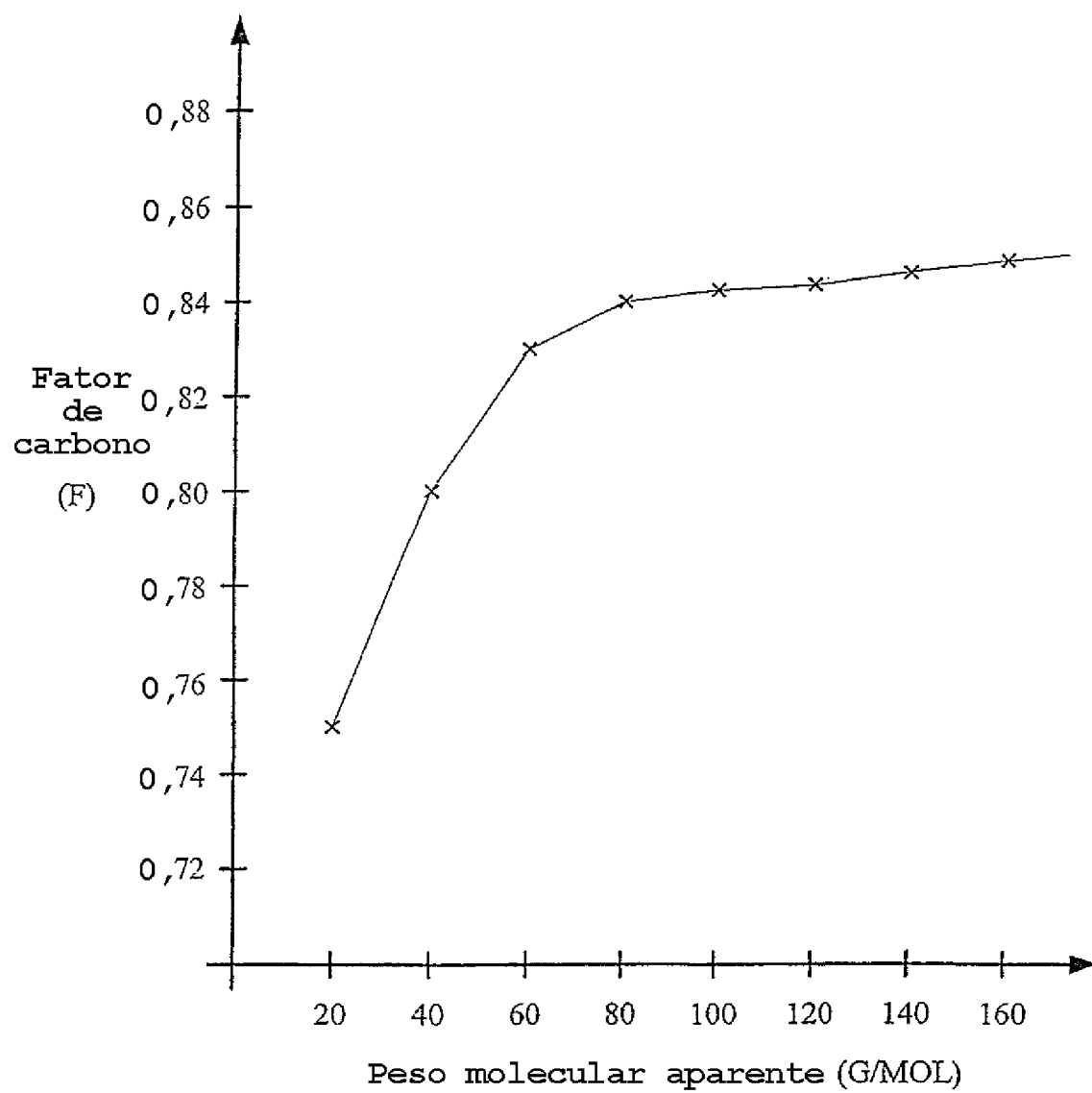


FIG. 3

*FIG. 4*