



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

(11) PI 1009459-8 B1



(22) Data do Depósito: 12/03/2010

(45) Data de Concessão: 10/03/2020

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA CONTROLAR UMA UNIDADE DE LEITO ADSORVENTE

(51) Int.Cl.: B01D 53/04; B01D 53/047; B01D 53/30; C01B 3/56.

(30) Prioridade Unionista: 25/03/2009 US 12/410,523.

(73) Titular(es): PRAXAIR TECHNOLOGY, INC..

(72) Inventor(es): PAUL W. BELANGER; MOHAMED SAFDAR ALLIE BAKSH; PREETI CHANDRA; ANDREW C. ROSINSKI.

(86) Pedido PCT: PCT US2010027089 de 12/03/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/111049 de 30/09/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 15/09/2011

(57) Resumo: MÉTODO E SISTEMA PARA CONTROLAR UMA UNIDADE DE LEITO ADSORVENTE A presente invenção fornece um método e um sistema de controle para controlar uma unidade de leito adsorvente em que uma concentração de leito adsorvente DE uma impureza dentro de um leito adsorvente da unidade de leito adsorvente é medida. A concentração de leito adsorvente é controlada manipulando-se o tempo de ciclo de alimentação durante o qual um leito adsorvente que está adsorvendo as . impurezas para manter a concentração de leito adsorvente em uma concentração de leito de adsorção alvo. A concentração de leito de adsorção alvo é determinada de modo que a concentração de impureza do produto seja mantida em concentrações de impureza do produto alvo. O método e sistema de controle podem incorporar um nível de supervisão de controle reativo a níveis de concentração de impureza do produto e alvos relacionados para determinar a concentração de leito de adsorção alvo e um nível primário de controle que calcula o tempo de ciclo de alimentação com base em um erro entre as concentrações de leito de adsorção medidas e alvo. Controle proporcional e integral pode ser usado para tais propósitos.

“MÉTODO E SISTEMA PARA CONTROLAR UMA UNIDADE DE LEITO ADSORVENTE”

Campo da Invenção

A presente invenção refere-se a um método para controlar uma unidade de absorção contendo um ou mais leitos de adsorção para adsorver uma ou mais impurezas dentro de uma corrente de alimentação, deste modo para produzir uma corrente de produto e um controlador para realizar tal método. Mais particularmente, a presente invenção refere-se a tal método e controlador em que uma concentração de uma impureza dentro de um leito adsorvente é amostrada e um tempo de ciclo de alimentação durante o qual o leito adsorvente que está adsorvendo impurezas é manipulado de modo que a concentração medida dentro do leito aproxima-se de um alvo que garante que a corrente de produto será produzida em um nível de pureza específico.

Fundamentos da Invenção

Existe uma variedade de processos que empregam adsorventes que são capazes de adsorver uma ou mais impurezas contidas dentro de uma corrente de alimentação mais facilmente do que outras impurezas dentro da corrente de alimentação para produzir uma corrente de produto tendo uma concentração mais baixa das impurezas do que a corrente de alimentação. O adsorvente é contido dentro de um leito de adsorção e um ou mais leitos de adsorção podem ser utilizados em tais processos. Por exemplo, tal processo pode ser usado para purificar uma corrente contendo hidrogênio a partir de um reformador. Em tal caso, vapor d'água, dióxido de carbono, monóxido de carbono, outros hidrocarbonetos e nitrogênio estão presentes dentro da corrente de alimentação. O hidrogênio é o componente menos facilmente adsorvido e como tal constitui a corrente de produto. As impurezas ou componentes, vapor d'água, dióxido de carbono e etc. são os componentes mais facilmente adsorvidos e são removidos da corrente de alimentação através de adsorção para produzir a corrente de produto. O adsorvente ou

adsorventes estão localizados dentro de um leito adsorvente que pode consistir em um vaso tendo uma ou mais camadas de adsorvente. No caso de uma corrente contendo hidrogênio, o leito adsorvente pode ser fornecido com uma camada inicial de alumina para adsorver o vapor d'água, uma camada de carbono ativado para adsorver o dióxido de carbono e hidrocarbonetos mais pesados e uma camada final de um adsorvente de zeólito para adsorver o monóxido de carbono e nitrogênio.

Em qualquer processo de adsorção, um tempo é atingido em que o adsorvente é completamente carregado com a impureza ou impurezas e o leito adsorvente deve ser regenerado. Como tal, processos de adsorção empregam um ciclo durante o qual um leito de adsorção está em linha e adsorvendo as impurezas ou componentes e depois, está subsequentemente fora de linha e sendo regenerado. Processos de adsorção podem ser distinguidos pelo ciclo empregado, por exemplo, adsorção por oscilação de pressão, adsorção por oscilação de temperatura e adsorção por oscilação de pressão a vácuo. No exemplo dado acima com respeito à produção de uma corrente de produto de hidrogênio, o ciclo empregado é adsorção por oscilação de pressão.

Em adsorção por oscilação de pressão dois ou mais vasos adsorventes contendo os leitos adsorventes são empregados em um dentro o ciclo de fase de modo que enquanto um leito está adsorvendo as impurezas, leitos diferentes ou adicionais possam ser regenerados. Um ciclo de adsorção por oscilação de pressão pode ter os elementos de adsorção em que ele está fornecendo um produto, despressurização por via de uma ou mais etapas de equalização seguidas por uma etapa em que o leito fornece gás de purga a um outro leito para causar a dessorção de componentes adsorvidos do leito. Uma etapa de purgação em que a extremidade de entrada do leito é aberta para descarregar os componentes adsorvidos seguido por uma etapa de purga com gás de purga fornecido por um outro leito para dessorver ainda os

componentes do adsorvente do leito adsorvente. Isto é seguido por uma ou mais etapas de equalização em que o leito adsorvente é parcialmente repressurizado e uma etapa de repressurização do produto em que o leito adsorvente é completamente repressurizado e capaz de ser devolvido em linha. Cada leito adsorvente é submetido a todos os elementos do ciclo e como tal produto está continuamente sendo liberado. Em um processo de adsorção por oscilação de temperatura, o leito adsorvente é regenerado aquecendo-se o leito adsorvente a uma temperatura alta com um gás quente para reduzir a capacidade do adsorvente e deste modo para fazer com que as impurezas sejam dessorvidas. Depois de ter sido aquecido, o leito adsorvente é resfriado antes de ser devolvido em linha. Na adsorção por oscilação de pressão a vácuo, um leito adsorvente é pelo menos em parte regenerado sob vácuo. Por exemplo, um adsorvente que facilmente adsorverá nitrogênio, dióxido de carbono e vapor d'água é usado em um tal ciclo para produzir oxigênio. Um tal processo pode utilizar um leito de adsorção único e portanto, o produto é descarregado em um tanque de compensação de modo que o produto possa ser continuamente produzido. Leitos adsorventes múltiplos também podem ser usados em um tal processo para produzir o produto em uma taxa mais alta do que um leito adsorvente único.

Em qualquer tal processo de adsorção o leito ou leitos adsorventes são conectados a uma rede de controle de fluxo tendo válvulas para submeter os leitos às várias etapas do ciclo particular. As válvulas dentro da rede de controle de fluxo para uma unidade de adsorção conduzindo o processo discutido acima, ou outro processo são controladas para abrir e fechar para submeter cada um dos leitos adsorventes à produção e regeneração durante períodos de tempo pré-especificados. Como conhecido na técnica, entretanto, a alimentação aos leitos adsorventes está sujeita a tais recalques como variações de fluxo, concentração e temperatura que podem resultar na corrente de produto não satisfazendo uma especificação do produto

ou em outras palavras, tendo concentrações de impureza do produto que estão em um nível muito alto. É conhecido que um meio primário para controlar a pureza do produto é ajustar o tempo de ciclo de alimentação que cada leito adsorvente passa na etapa de adsorção. Se a concentração de impureza do produto dentro da corrente de produto for muito alta, o tempo de ciclo de alimentação é encurtado. Por outro lado, se a concentração de impureza do produto estiver abaixo de um alvo, o tempo de ciclo de alimentação é prolongado para aumentar por sua vez a produção do produto. Convencionalmente, o operador monitora a concentração de impureza do produto e depois manualmente ajusta o tempo de ciclo de alimentação. Isto pode ser automatizado através de um sistema de controle de realimentação. Em ambos os casos, entretanto, haverá um retardo em uma mudança na pureza do produto a seguir de um recalque ou em outras palavras, a mudança na pureza na ocorrência de um recalque não será instantânea. Como tal, no caso de controle manual ou automatizado, o alvo em que uma ação de controle é tomada será selecionado de modo que o produto nunca exceda a especificação do produto. O resultado disto é que o tempo de ciclo de alimentação em média será mais curto do que seria necessário para satisfazer realmente a especificação do produto e portanto, a taxa de produção do produto será menor do que pode de outro modo ser obtida. Sistemas de controle de alimentação avante também têm sido usados em que a composição e fluxo de alimentação são medidos em linha. Um problema principal com um tal sistema é que um modelo ou modelos devem ser usados para calibrar o efeito de tais mudanças na alimentação sobre a pureza do produto não são perfeitos e portanto, novamente, os alvos serão de forma conservadora selecionados com o resultado de taxas de produção mais baixas.

A Patente U.S. Nº 4.693.730 fornece um sistema de controle em que uma característica do efluente de um leito adsorvente que passa por uma despressurização é percebida e depois uma ação corretiva é tomada em

resposta à característica percebida. Por exemplo, a característica percebida pode ser o nível de impureza no efluente e a ação corretiva pode ser mudar o tempo de ciclo de alimentação. No sistema de controle considerado nesta patente, a concentração do efluente é comparada a um alvo. Depois que o alvo
5 foi atingido, se o nível de impureza do gás de produto não estiver no valor desejado, um erro entre o valor real e desejado é usado para calcular um valor de alvo novo. Entretanto, tal concentração do efluente não experienciará uma mudança instantânea em um recalque e portanto, o alvo selecionado será um alvo conservativo.

10 A Patente U.S. Nº 7.025.801 divulga um método de controle para uma unidade de adsorção por oscilação de pressão em que a taxa de fluxo da corrente de alimentação é monitorada e em um aumento na taxa de fluxo que tenderia a levar a pureza do produto for a de sua especificação, o tempo de ciclo é reduzido e vice-versa. Adicionalmente, a pureza da corrente
15 de produto também é medida. Em um aumento na pureza do produto acima da especificação do produto, o tempo de ciclo é reduzido e vice-versa. Em um aumento em concentração da impureza dentro da corrente de alimentação sem um aumento na taxa de fluxo e em dados de um controlador indicativo de tal evento, o tempo de ciclo é ajustado e possivelmente outras etapas dentro do
20 ciclo de adsorção por oscilação de pressão. Assim, o método desta patente considera tanto realimentação quanto controle de alimentação avante tendo as desvantagens esboçadas acima.

Como será discutido, entre outras vantagens, a presente invenção fornece um método de controle e sistema para controlar uma
25 unidade de adsorção em que a concentração de impureza é percebida dentro do leito adsorvente propriamente dito ao invés de em uma corrente de alimentação, uma corrente de produto ou uma corrente de efluente. A mudança em tal concentração de impureza em um recalque será mais rápida do que na alimentação, efluente ou produto. Como um resultado, alvos são

capazes de ser selecionados que são menos conservativos do que na técnica anterior resultando em tempos de ciclo mais longos e taxas de produção mais altas.

Sumário da Invenção

5 A presente invenção, em um aspecto, fornece um método para
controlar uma unidade de leito adsorvente. De acordo com tal método, uma
concentração de leito adsorvente de uma impureza é medida dentro de um
leito adsorvente da unidade de leito adsorvente. O leito adsorvente adsorve a
impureza de uma corrente de alimentação alimentada no leito adsorvente,
10 deste modo para produzir uma corrente de produto contendo uma
concentração de produto da impureza não maior do que uma concentração de
produto alvo. A unidade de leito adsorvente é operada de acordo com um
ciclo durante o qual a corrente de alimentação é alimentada ao leito
adsorvente e posteriormente, o adsorvente dentro do leito adsorvente é
15 regenerado através de dessorção da impureza e o ciclo incorpora em um
tempo de ciclo de alimentação durante o qual a corrente de alimentação é
introduzida no leito adsorvente, a impureza é adsorvida e a corrente de
produto é produzida.

 A concentração de produto dentro da corrente de produto é
20 controlada manipulando-se o tempo de ciclo de alimentação empregado
dentro da unidade de leito adsorvente de modo que a concentração de leito
adsorvente tende a aproximar-se de uma concentração de leito adsorvente
alvo que manterá a concentração de produto em um nível não maior do que a
concentração de produto alvo. Sob esse aspecto, o tempo de ciclo de
25 alimentação é manipulado de modo que o tempo de ciclo de alimentação
diminua quando a concentração de leito adsorvente aumenta, e aumenta
quando a concentração de leito adsorvente diminui.

 A concentração de leito adsorvente é medida dentro do leito
adsorvente, em um local do mesmo, em que a concentração de leito

adsorvente mudará antes que a concentração de produto da impureza dentro da corrente de produto mude em resposta a um distúrbio de modo a controlar a concentração de leito adsorvente para manter a concentração de leito adsorvente na concentração de leito adsorvente alvo também manterá a
5 concentração de produto da impureza dentro da corrente de produto no nível não maior do que a concentração de produto alvo.

Em uma forma de realização da presente invenção, o leito adsorvente pode ser configurado para adsorver pelo menos duas impurezas. Como tal, a impureza mencionada acima é uma impureza de pelo menos duas
10 impurezas, a concentração de produto é uma concentração de produto de pelo menos duas concentrações de produto e a concentração de produto alvo é uma concentração de produto alvo de pelo menos duas concentrações de produto alvo. O pelo menos duas concentrações de produto e a concentração de leito adsorvente são medidas e o tempo de ciclo de alimentação é manipulado
15 calculando-se continuamente um parâmetro de controle que ajustará o tempo de ciclo de alimentação dentro de um controlador de unidade de leito adsorvente e o parâmetro de controle é introduzido no controlador de unidade de leito adsorvente. O controlador de unidade de leito adsorvente é designado para controlar válvulas dentro de uma rede de controle de fluxo conectada ao
20 leito adsorvente de modo que a corrente de alimentação seja alimentada ao leito adsorvente durante o tempo de ciclo de alimentação.

O parâmetro de controle é calculado em tal forma de realização de modo que a concentração de leito adsorvente se aproxime da concentração de leito adsorvente alvo quando o parâmetro de controle é
25 introduzido no controlador de unidade de leito adsorvente. A concentração de leito adsorvente alvo é determinada calculando-se as concentrações de leito adsorvente alvo potenciais para cada um de pelo menos duas impurezas de modo que a corrente de produto seja produzida tendo o pelo menos duas concentrações de produto em níveis não maiores do que o pelo menos duas

concentrações de produto alvo. Um valor mínimo das concentrações de leito adsorvente alvo potenciais é usado como a concentração de leito adsorvente alvo de modo que o controle da concentração de leito adsorvente também controle todas o pelo menos duas concentrações de impureza do produto para
5 serem menos do que o pelo menos duas concentrações de impureza do produto alvo.

Em uma outra forma de realização específica da presente invenção, a impureza é uma primeira impureza, a concentração de leito adsorvente é uma primeira concentração de leito adsorvente, a concentração
10 de produto é uma primeira concentração de produto e a concentração de produto alvo é uma primeira concentração de produto alvo. O leito adsorvente é configurado para adsorver a primeira impureza e também uma segunda impureza em uma primeira camada do leito adsorvente e uma terceira impureza em uma segunda camada do leito adsorvente localizado adjacente a
15 e a montante da primeira camada. A concentração de leito adsorvente que é controlada por manipulação do tempo de ciclo de alimentação é a primeira concentração de leito adsorvente da impureza dentro da primeira camada de modo que a primeira concentração de leito adsorvente tenderá a aproximar-se da primeira concentração de leito adsorvente alvo. A primeira concentração
20 de impureza do produto e uma segunda concentração de impureza do produto da segunda impureza são medidas dentro da corrente de produto, a primeira concentração de leito adsorvente é medida na primeira camada e uma segunda concentração de leito adsorvente da terceira impureza é medida na segunda camada em um outro local desta selecionado de modo que uma medição da
25 terceira concentração de impureza indique uma mudança no nível de impureza antes de avanço da segunda impureza para a primeira camada.

Em tal outra forma de realização, o tempo de ciclo de alimentação é manipulado calculando-se continuamente um parâmetro de controle que ajustará o tempo de ciclo de alimentação dentro de um

controlador de unidade de leito adsorvente. O parâmetro de controle é introduzido no controlador de unidade de leito adsorvente. O controlador de unidade de leito adsorvente controla válvulas dentro de uma rede de controle de fluxo conectada ao leito adsorvente de modo que a corrente de alimentação seja alimentada ao leito adsorvente durante o tempo de ciclo de alimentação. O parâmetro de controle é calculado de modo que a primeira concentração de leito adsorvente se aproxime da primeira concentração de leito adsorvente alvo quando o parâmetro de controle é introduzido no controlador de unidade de leito adsorvente. Adicionalmente, a primeira concentração de leito adsorvente alvo é determinada calculando-se primeiras concentrações de leito adsorvente alvo potenciais para a primeira impureza, a segunda impureza e a terceira impureza tal que a corrente de produto é produzida tendo a primeira impureza de produto não maior do que a primeira concentração de produto alvo e a segunda concentração de produto da segunda impureza não maior do que uma concentração de produto alvo secundária e a segunda concentração de leito adsorvente será não maior do que uma segunda concentração de leito de adsorção alvo selecionada de modo a impedir o avanço da terceira impureza à primeira camada. Um valor mínimo das concentrações de leito adsorvente alvo potenciais depois é usada como a concentração de leito adsorvente alvo de modo que o controle da primeira concentração de leito adsorvente também controlará a primeira concentração de produto, a segunda concentração de produto e a segunda concentração de leito adsorvente para serem menores do que a primeira concentração de impureza do produto alvo, a segunda concentração de impureza do produto alvo e a segunda concentração de impureza alvo, respectivamente.

Em qualquer uma das duas formas de realização específicas da presente invenção, discutidas acima, o parâmetro de controle pode ser continuamente calculado dentro de um controlador de pureza do produto tendo um nível de supervisão de controle que inclui controladores de

supervisão para calcular as concentrações de leito adsorvente alvo potenciais e um nível primário de controle que inclui um controlador primário para calcular o parâmetro de controle. O controlador de pureza do produto continuamente executa em uma frequência de controlador e cada um dos controladores de supervisão e dos controladores primários são controladores proporcionais integrais.

Em um outro aspecto da presente invenção, um sistema para controlar uma unidade de leito adsorvente é fornecido. Em tal sistema de controle, um portal de amostragem é localizado dentro de um leito adsorvente da unidade de leito adsorvente para amostrar uma concentração de leito adsorvente de uma impureza dentro do leito adsorvente. O leito adsorvente adsorve a impureza de uma corrente de alimentação alimentada no leito adsorvente durante um tempo de ciclo de alimentação, deste modo para produzir uma corrente de produto contendo uma concentração de produto da impureza não maior do que uma concentração de produto alvo. Um analisador de gás está operativamente associado com o portal de amostragem e configurado para gerar dados referentes à concentração de leito adsorvente. Um controlador de pureza do produto, responsivo aos dados, é configurado para calcular um parâmetro de controle que ajustará um tempo de ciclo de alimentação empregado dentro da unidade de leito adsorvente de modo que a concentração de leito adsorvente seja controlada pelo parâmetro de controle para aproximar-se a uma concentração de leito adsorvente alvo que manterá a concentração de produto da impureza no nível não maior do que a concentração de produto alvo. O parâmetro de controle é calculado de modo que o tempo de ciclo de alimentação diminua quando a concentração de leito adsorvente aumenta, e aumente quando a concentração de leito adsorvente diminui. O portal de amostragem está situado em um local do leito adsorvente em que a concentração de leito adsorvente mudará antes da concentração de produto da impureza dentro da corrente de produto mudar em resposta a um

distúrbio de modo a controlar a concentração de leite adsorvente para aproximar-se da concentração de leite adsorvente alvo também manterá a concentração de produto da impureza dentro da corrente de produto no nível não maior do que a concentração de produto alvo.

5 Um controlador de unidade de leite adsorvente é responsivo ao parâmetro de controle calculado pelo controlador de pureza do produto. O controlador de unidade de leite adsorvente controla válvulas dentro de um circuito de fluxo da unidade de leite adsorvente de modo que a unidade de leite adsorvente seja operada de acordo com um ciclo durante o qual a
10 corrente de alimentação é alimentada ao leite adsorvente durante o tempo de ciclo de alimentação e posteriormente, o adsorvente dentro do leite adsorvente é regenerado através de dessorção da impureza.

Em uma forma de realização específica do sistema de controle, o leite adsorvente é configurado para adsorver pelo menos duas impurezas.
15 Como tal, a impureza mencionada acima é entretanto uma impureza de pelo menos duas impurezas, a concentração de produto é uma concentração de produto de pelo menos duas concentrações de produto e a concentração de produto alvo é uma concentração de produto alvo de pelo menos duas concentrações de produto alvo. Além disso, o analisador de gás é um
20 analisador de gás de uma pluralidade de analisadores de gás que são posicionados para gerar dados referentes a pelo menos duas concentrações de produto na corrente de produto e à concentração de leite adsorvente.

O controlador de pureza do produto continuamente executa em uma frequência de controlador para calcular o parâmetro de controle e inclui
25 um nível de supervisão e um nível primário de controle. O nível de supervisão de controle é configurado para calcular a concentração de leite adsorvente alvo a partir de um valor mínimo de concentrações de leite adsorvido alvo potenciais calculadas dentro de pelo menos dois controladores de supervisão. O pelo menos dois controladores de supervisão são responsivos aos dados

referentes a pelo menos duas concentrações de produto e são configurados para calcular as concentrações de leito adsorvente alvo potenciais de modo que a corrente de produto seja produzida tendo o pelo menos duas concentrações de produto não maiores do que o pelo menos duas concentrações de produto alvo. O nível primário de controle tem um controlador primário responsivo a uma porção dos dados referentes à concentração de leito adsorvente e à concentração de leito adsorvente alvo calculada pelo nível de supervisão de controle. O controlador primário é configurado para calcular o parâmetro de controle da concentração de leito adsorvente e da concentração de leito adsorvente alvo.

Em uma outra forma de realização específica da presente invenção, a impureza é uma primeira impureza, a concentração de leito adsorvente é uma primeira concentração de leito adsorvente, a concentração de produto é uma primeira concentração de produto e a concentração de produto alvo é uma primeira concentração de produto alvo. O leito adsorvente é configurado para adsorver a primeira impureza e também uma segunda impureza em uma primeira camada do leito adsorvente e uma terceira impureza em uma segunda camada do leito adsorvente localizado adjacente a e a montante da primeira camada. Como tal, a concentração de leito adsorvente é uma primeira concentração de leito adsorvente da impureza dentro da primeira camada de modo que a primeira concentração de leito adsorvente tenderá a aproximar-se de uma primeira concentração de leito adsorvente alvo, a corrente de produto é produzida também tendo uma segunda concentração de produto da segunda impureza não maior do que uma concentração de produto alvo secundária e uma segunda concentração de leito adsorvente da terceira impureza dentro da segunda camada será não maior do que uma segunda concentração de leito de adsorção alvo selecionada de modo a impedir o avanço da terceira impureza à primeira camada.

O portal de amostragem é um primeiro portal de amostragem e

um segundo portal de amostragem está situado em um local do leito adsorvente para amostrar a segunda concentração de leito adsorvente da terceira impureza dentro da segunda camada. O analisador de gás é um analisador de gás de uma pluralidade de analisadores de gás posicionados para gerar dados referentes à primeira concentração de produto, à segunda concentração de produto, à primeira concentração de leito adsorvente e à segunda concentração de adsorvente.

O controlador de pureza do produto continuamente executa em uma frequência de controlador e tem um nível de supervisão de controle e um nível primário de controle. O nível de supervisão de controle é configurado para calcular a primeira concentração de leito adsorvente alvo a partir de um valor mínimo de primeiras concentrações de leito adsorvente alvo potenciais calculado dentro de controladores de supervisão responsivos aos dados referentes à primeira concentração de produto, à segunda concentração de produto e à segunda concentração de leito adsorvente. O controlador de supervisão é configurado para calcular as primeiras concentrações de leito adsorvente alvo potenciais de modo que a corrente de produto seja produzida tendo a primeira concentração de impureza do produto e a segunda concentração de impureza do produto não maior do que a primeira concentração de produto alvo e a segunda concentração de produto alvo, respectivamente e a segunda concentração de leito adsorvente não seja maior do que uma segunda concentração de leito adsorvente alvo. O nível primário de controle tem um controlador primário responsivo a uma porção dos dados referentes à primeira concentração de leito adsorvente e à primeira concentração de leito adsorvente alvo calculado dentro do nível de supervisão de controle e configurado para calcular o parâmetro de controle da primeira concentração de leito adsorvente e da primeira concentração de leito adsorvente alvo.

Em qualquer forma de realização da presente invenção e em

qualquer aspecto deste que incorpore níveis de supervisão e primários de controle para controlar primeira e segunda impurezas e um segundo nível de impureza de leito adsorvente de uma terceira impureza, cada um dos controladores proporcionais e integrais tem um elemento proporcional e um elemento integral. Cada elemento proporcional e cada elemento integral têm fatores de sintonização. Cada um dos controladores de supervisão calcula uma primeira concentração de leito adsorvente alvo potencial das primeiras concentrações de leito adsorvente alvo potenciais adicionando-se a uma primeira concentração de leito adsorvente alvo potencial previamente calculada, o elemento proporcional e os elementos integrais. Cada um dos elementos proporcionais e integrais tem um termo de erro. A primeira concentração de produto, a segunda concentração de produto, a primeira concentração de leito adsorvente e a segunda concentração de leito adsorvente são todas continuamente medidas e convertidas em valores logarítmicos, na base dez que são ponderados para produzir um valor logarítmico médio. O termo de erro é calculado em um primeiro dos controladores de supervisão relacionados à primeira impureza subtraindo-se o valor logarítmico médio da primeira concentração de produto de um logaritmo na base dez da primeira concentração de produto alvo. O termo de erro em um segundo controlador de supervisão relacionado à segunda impureza é calculado subtraindo-se o valor logarítmico médio da segunda concentração de produto de um logaritmo na base dez da segunda concentração de produção alvo e o termo de erro em um terceiro dos controladores de supervisão relacionados à terceira impureza é calculado subtraindo-se o valor logarítmico médio da segunda concentração de leito adsorvente de um logaritmo na base dez da segunda concentração de leito adsorvente alvo. O termo de erro é calculado no controlador primário subtraindo-se o valor logarítmico médio da primeira concentração de leito adsorvente de um logaritmo na base dez da primeira concentração de leito adsorvente alvo.

Adicionalmente, o elemento proporcional pode incorporar uma diferença entre o erro calculado durante uma execução corrente dos controladores de supervisão e do controlador primário e o erro calculado durante uma execução anterior dos controladores de supervisão e do controlador primário. O período da frequência de controlador pode ser ajustado igual a um tempo de ciclo total corrente do leito de unidade de adsorção. Além disso, o elemento integral pode ser determinado ainda multiplicando-se o erro corrente pelo tempo de ciclo total corrente.

Tanto o método quanto sistema de controle podem ser aplicados em um ambiente em que o ciclo é um ciclo de adsorção por oscilação de pressão e o leito adsorvente é um de uma pluralidade de leitos adsorventes. A corrente de alimentação pode ser uma corrente contendo hidrogênio e a corrente de produto pode ser uma corrente de produto de hidrogênio. Em tal caso, a primeira impureza é monóxido de carbono, a segunda impureza é nitrogênio e a terceira impureza é dióxido de carbono. De modo a adsorver tais impurezas, a primeira camada contém um adsorvente de zeólito e é localizada adjacente a uma saída do leito adsorvente. A segunda camada contém um adsorvente de carbono ativado para adsorver o dióxido de carbono.

Breve Descrição dos Desenhos

Embora o relatório descritivo termine com reivindicações distintamente mostrando o assunto que os Requerentes consideram como sua invenção, acredita-se que a presente invenção será mais bem entendida quando tomada relativo aos desenhos anexos em que:

A Fig. 1 é uma vista esquemática de um sistema de controle para realizar um método de acordo com a presente invenção ilustrado relativo a uma unidade de adsorção por oscilação de pressão usada na produção de hidrogênio de uma corrente deslocada gerada em uma instalação de reforma a vapor do metano;

A Fig. 2 é uma vista esquemática de uma unidade de adsorção por oscilação de pressão usada na Fig. 2;

A Fig. 3 é uma vista esquemática de uma forma de realização preferida de um sistema de controle e método da presente invenção empregados na Fig. 1; e

A Fig. 4 é um diagrama lógico de controle do sistema de controle e método ilustrado na Fig. 3;

A Fig. 5 é uma representação gráfica da concentração de produto de monóxido de carbono de um sistema de adsorção por oscilação de pressão ilustrado na Fig. 2 controlado em uma maneira da técnica anterior em resposta a um distúrbio;

A Fig. 6 é uma representação gráfica da concentração de produto de monóxido de carbono de um sistema de adsorção por oscilação de pressão ilustrado na Fig. 2 controlado em uma maneira apresentada na presente invenção em resposta a um distúrbio; e

A Fig. 7 é uma representação gráfica do controle de um sistema de adsorção ilustrado na Fig. 2 de acordo com a presente invenção ilustrando a resposta do sistema de adsorção às concentrações de produto alvo redefinidas de monóxido de carbono.

20 Descrição detalhada

Com referência à Fig. 1, uma instalação 1, tal como uma instalação de refinação, é ilustrada tendo um reformador a vapor do metano 10 que produz uma corrente de alimentação 12 que predominantemente contém hidrogênio e impurezas que variam entre cerca de 5 por cento e cerca de 25 por cento em volume de dióxido de carbono, menos do que cerca de .5 por cento em volume de vapor d'água, menos do que cerca de 3 por cento em volume de metano, menos do que cerca de 1 por cento em volume de monóxido de carbono, menos do que cerca de 1 por cento em volume de nitrogênio e concentrações menores de hidrocarbonetos mais pesados. A

corrente de alimentação 12 é introduzida em uma unidade de adsorção por oscilação de pressão 14 para adsorver as impurezas e assim produzir uma corrente de produto de hidrogênio 16 que contém as impurezas anteriormente mencionadas em quantidades que são menores do que aquela deixada por uma especificação do produto. Deve ser observado que a discussão da instalação 1 que segue não é significada ser limitante no uso da presente invenção em que a presente invenção é igualmente aplicável ao controle de outros tipos de unidades de adsorção que são designados para adsorver outros tipos de impurezas e funcionam de acordo com outros tipos de ciclos de adsorção, por exemplo, adsorção por oscilação de pressão a vácuo e adsorção por oscilação de temperatura que contém um leito adsorvente único ou leitos adsorventes múltiplos.

O reformador a vapor do metano 10 submete uma corrente contendo hidrocarboneto 18, por exemplo, gás natural à reforma a vapor do metano. No reformador a vapor do metano 10, as espécies de enxofre são removidas da corrente contendo hidrocarboneto 18 e vapor superaquecido é adicionado para produzir uma corrente de reagente que é por sua vez introduzida em tubos do reformador enchidos com catalisador localizados em uma seção de troca de calor radiante, de queima do reformador a vapor do metano 10. Os hidrocarbonetos reagem com o vapor para produzir hidrogênio e monóxido de carbono que é reagido ainda em um reator de deslocamento água-gás para produzir a corrente de alimentação 12. Gás de combustão da seção radiante do reformador a vapor do metano é usado para elevar o vapor superaquecido em uma seção convectiva do reformador a vapor do metano 10 a partir da qual uma corrente de gás de combustão 16 é descarregada.

A corrente de alimentação 12 é introduzida em uma unidade de adsorção 14 que tem seis leitos adsorventes 22, 24, 26, 28, 30 e 32 que operam de acordo com um ciclo de adsorção por oscilação de pressão a ser discutido em seguida. A unidade de adsorção 14 é fornecida ainda com um

controlador de unidade de adsorção 34 para produzir sinais de controle, geralmente indicados por ponta de flecha 36, para controlar uma válvula dentro de uma rede de controle de fluxo em que os leitos adsorventes 22 a 32 são incorporados e deste modo para submeter os leitos adsorventes 22 a 32 ao ciclo de adsorção por oscilação de pressão. Cada um dos leitos adsorventes 22 a 32 é por sua vez colocado em linha para adsorver impurezas dentro da corrente de alimentação 12 e como um resultado, produzem uma corrente de produto de hidrogênio 16. Adicionalmente, cada um dos leitos adsorventes é regenerado para dessorver as impurezas previamente adsorvidas e assim produzir uma corrente de gás residual 38. A corrente de gás residual 38 é por sua vez usada para estimular os queimadores dentro da seção radiante do reformador a vapor do metano 10 e também, pode ser dirigida para um alimentador de combustível dentro da instalação 1.

A pureza da corrente de produto 16 é controlada por um controlador de pureza do produto 40 configurado e operando de acordo com a presente invenção. O controlador de pureza do produto 40 é fornecido com um nível de supervisão de controle 42 e um nível primário de controle 44 para computar um tempo de ciclo de alimentação durante o qual cada um dos leitos adsorventes 22 a 32 está em linha e adsorvendo impurezas dentro de corrente de alimentação 12 ou outro parâmetro de controle que terá um efeito direto sobre o tempo de ciclo de alimentação. Como será discutido em mais detalhe em seguida, o nível de supervisão de controle 42 computa uma concentração de leito adsorvente alvo de monóxido de carbono a ser obtido dentro do leito adsorvente 32 com base em concentrações de impureza do produto alvo de nitrogênio e monóxido de carbono dentro da corrente de produto 16 e uma concentração de impureza alvo de dióxido de carbono dentro do leito adsorvente 32. Estes alvos supracitados são alimentados no controle de nível de supervisão como geralmente indicado pela ponta de flecha 46. A ponta de flecha 46 representa três alvos diferentes a serem discutidos, isto é, uma

concentração de impureza do produto alvo de monóxido de carbono 158, uma concentração de impureza de produção alvo de nitrogênio 166 e uma concentração de impureza de leito adsorvente alvo de dióxido de carbono 172 que são introduzidas em três controladores separados incorporados no nível de supervisão do controle 42. Estes alvos são comparados com medições reais de monóxido de carbono e nitrogênio dentro da corrente de produto 16 como geralmente indicado pela ponta de flecha 48 e medições reais de concentrações de impureza de leito adsorvente de dióxido de carbono dentro do leito adsorvente 32 como indicado pela ponta de flecha 50. Dados referentes a cada um dos níveis de concentração reais depois são introduzidos no nível de supervisão do controle 42 como mostrado pela ponta de flecha 52. Como será discutido, a ponta de flecha 48 é composta de dados referentes à concentração de impureza do produto de monóxido de carbono 48a e concentração de impureza do produto de nitrogênio 48b também a serem discutidas em seguida. O nível de supervisão do controle 42 depois computa uma concentração de leito de adsorção alvo para a concentração de monóxido de carbono que resultará na corrente de produto 16 tendo concentrações de nitrogênio e monóxido de carbono não maiores do que sua concentração alvo respectiva e na concentração de dióxido de carbono dentro do leito adsorvente 32 não maior do que sua concentração de leito adsorvente alvo. Como também será discutido em seguida, o nível de controle de supervisão ilustrado 42 e o nível de controle primário 44 funcionam de acordo com a lógica de controle integral proporcional. Como será discutido, outros tipos de lógica de controle podem ser usados de acordo com a presente invenção.

A concentração de leito de adsorção alvo para monóxido de carbono no leito adsorvente 32 depois é alimentada no nível primário de controle 44 como indicado pela ponta de flecha 54. A partir de tal alvo e uma medição real da concentração de monóxido de carbono dentro do leito adsorvente 32, que também é alimentado como uma entrada 56 no nível

primário de controle 44, um leito tempo de ciclo é computado que fará com que a concentração de monóxido de carbono dentro do leito adsorvente 32 aproxime-se da concentração de monóxido de carbono alvo computada pelo nível de supervisão de controle. Visto que esta concentração de leito de adsorção alvo é fundamentada nas concentrações de impureza do produto de nitrogênio e monóxido de carbono, a concentração de leito adsorvente de impureza do dióxido de carbono e seus alvos relacionados, o controle da concentração de monóxido de carbono controlarão níveis de impureza do nitrogênio e monóxido de carbono na corrente de produto 16 e concentração de dióxido de carbono dentro do leito adsorvente 32.

O tempo de ciclo de alimentação computado depois é introduzido no controlador de unidade de leito de adsorção 34 como uma entrada 58 e portanto, cada um dos outros leitos adsorventes são 22 a 30 são controlados na mesma maneira. Como também indicado na Fig. 1, o tempo de ciclo do leito total 60 também pode ser introduzido no nível de supervisão de controle 42 e no nível de controle primário 44 como as entradas 62 e 64 para propósitos que serão discutidos em seguida. Os dados transmitidos como o tempo de ciclo do leito total 60 podem incluir dados indicativos do tempo de ciclo total que um leito adsorvente começa seu serviço em linha adsorvendo impurezas e está fora de linha e sendo regenerado assim como uma indicação de que o ciclo foi concluído. Adicionalmente, embora o nível de supervisão de controle 42, o nível de controle primário 44 e o controlador de unidade de adsorção 34 são ilustrados como unidades separadas, eles podem estar todos em uma unidade única ou o controle da unidade de adsorção 34 seria um controlador separado fornecido por um fabricante da unidade de leito adsorvente 14 e o nível de controle de supervisão 42 e o nível de controle primário 44 podem estar em um controlador separado programável para tais propósitos.

Com referência à Fig. 2, uma explanação será dada com

respeito à operação da rede de controle de fluxo da unidade de leito adsorvente 14, brevemente discutida acima, novamente para propósitos de ilustração e não limitação. Conexões elétricas convencionais entre as válvulas e o controle de unidade de leito adsorvente 34 não foram mostradas para

5 facilidade de explanação. Além disso, todas as válvulas na discussão seguinte são consideradas estarem fechadas a menos que especificamente indicado como sendo abertas durante um estágio particular do ciclo de adsorção por oscilação de pressão. Sob esse aspecto, o ciclo em sua totalidade tem doze estágios em que durante dois estágios um leito adsorvente está em linha e

10 produzindo e no último dos dois estágios, o leito adsorvente em linha está repressurizando um outro leito adsorvente a ser conduzido em linha. Depois dos dois estágios, o leito adsorvente é conduzido fora de linha e regenerado por ser submetido a três etapas de equalização de pressão sucessivas referidas como etapas de queda de equalização em que a pressão dentro do leito

15 adsorvente é diminuída e o gás do espaço vazio é fornecido a outros leitos adsorventes para parcialmente repressurizar tais leitos antes de ser devolvido em linha. Isto é seguido por uma etapa de fornecimento de gás de purga em que um gás de purga é descarregado do leito adsorvente para um outro leito adsorvente que passa por uma etapa de purga para remover os componentes

20 adsorvidos do leito adsorvente. A etapa de fornecimento de gás de purga é seguida por uma etapa de purgação em que o leito adsorvente é despressurizado até a pressão atmosférica através da extremidade de entrada para fazer com que os componentes adsorvidos desorvam para fornecer o gás residual para a corrente de gás residual 38 e depois uma etapa de purga em

25 que o gás de purga é fornecido à extremidade de saída do leito adsorvente para fazer com que os componentes adsorvidos desorvam ainda e sejam descarregados através da entrada de modo que o gás residual continue a ser fornecido. Depois disto, existem três equalizações sucessivas referidas como etapas de elevação de equalização em que a pressão aumenta dentro do leito e

depois uma etapa de repressurização do produto em que o leito adsorvente é devolvido até a pressão de operação e no estágio seguinte é devolvido em linha.

Especificamente, em um primeiro estágio do ciclo, o leito adsorvente 22 está em uma primeira etapa de adsorção e sendo alimentado com a corrente de alimentação 12 para produzir a corrente de produto 16. Ao mesmo tempo, o leito adsorvente 24 está passando por uma terceira etapa de elevação de equalização com o leito adsorvente 30 em que o leito adsorvente 30 está descarregando gás no leito adsorvente 24 e assim está passando por uma terceira etapa de queda de equalização e final. O terceiro leito adsorvente 26 está passando pela primeira etapa de elevação de equalização com leito adsorvente 32 em que o gás de equalização do leito adsorvente 32 que passa por sua primeira etapa de queda de equalização está sendo descarregado no leito adsorvente 26. O leito adsorvente 28 está passando por purga e está descarregando as impurezas dessorvidas para formar a corrente de gás residual 38. As válvulas 70, 86, 108, 114, 118, 124 e 128 são ajustadas em posições abertas para tais propósitos. No segundo estágio do ciclo, o leito adsorvente 22 está passando por uma segunda etapa de adsorção e também está fornecendo gás de produto ao leito adsorvente 24 que está passando por uma etapa de pressurização de produto com parte do produto sendo produzida a partir do leito adsorvente 22. O leito adsorvente 26 está passando por uma segunda etapa de equalização com leito adsorvente 32 que está passando por uma segunda etapa de queda de equalização. O leito adsorvente 28 está passando por uma etapa de purga com leito adsorvente 30 que está na etapa de fornecimento de gás de purga. As válvulas 70, 128, 86, 108, 114 e 118 permanecem em posições abertas, as válvulas 98, 100 e 116 são ajustadas em posições abertas e a válvula 124 é reajustada na posição fechada.

No terceiro estágio do ciclo, o leito adsorvente 24 tendo sido repressurizado está agora fornecendo o produto na formação da corrente de

produto 16. O leito adsorvente 22 agora está sendo regenerado por ser submetido a uma primeira etapa de queda de equalização em que ele fornece gás de equalização ao leito adsorvente 28 que está na primeira etapa de elevação de equalização. O leito adsorvente 26 está passando pela terceira etapa de elevação de equalização em que ele está recebendo gás do leito adsorvente 32 que está portanto na terceira etapa de queda de equalização. O leito adsorvente 30 está em uma etapa de purga. Para tais propósitos as válvulas 72, 88, 104, 110, 120, 126 e 130 são ajustadas em posições abertas. As válvulas 70, 128, 86, 108, 114, 118, 98, 100 e 116 são reajustadas em posições fechadas. No quarto estágio do ciclo, o adsorvente 22 está passando pela segunda etapa de queda de equalização e enviando gás de equalização ao leito adsorvente 28 que está passando pela segunda etapa de elevação de equalização, enquanto o leito adsorvente 24 está preparando o produto e enviando o gás de pressurização do produto ao leito adsorvente 26. O leito adsorvente 30 está em uma etapa de purga e recebendo gás de purga do leito adsorvente 32 que está na etapa de fornecimento de gás de purga. As válvulas 72, 88, 104, 110, 120 e 130 permanecem nas posições abertas e as válvulas 100, 102 e 118 são ajustadas em posições abertas. A válvula 126 é reajustada na posição fechada.

No quinto estágio do ciclo, o leito adsorvente 26 agora está preparando o gás de produto e como tal agora está em linha produzindo a corrente de produto 16. Neste estágio, o leito adsorvente 22 está passando pela terceira etapa de queda de equalização com o leito adsorvente 28 fornecendo-se gás de equalização ao leito adsorvente 28 que está passando pela terceira etapa de elevação de equalização. O leito adsorvente 24, agora fora de linha, começa a regeneração pela qual passa pela primeira etapa de equalização fornecendo-se o gás de equalização ao leito adsorvente 30 que está passando pela primeira etapa de elevação de equalização. O leito adsorvente 32 está em um estágio de purgação fornecendo o gás residual à

corrente de gás residual 38. Para tais propósitos, as válvulas 74, 90, 106, 116, 122, e 132 são ajustadas em posições abertas e as válvulas 72, 88, 104, 110, 120, 130, 100, 102 e 118 são reajustadas em posições fechadas. No sexto estágio do ciclo, o leito adsorvente 22 está em uma etapa de fornecimento de gás de purga com o leito adsorvente 32 que agora está na etapa de purga. O leito adsorvente 24 passa por uma segunda etapa de queda de equalização enviando-se o gás de equalização ao leito adsorvente 30 que está passando pela segunda etapa de elevação de equalização. O leito adsorvente 24 está enviando um tanto do produto como um gás de pressurização do produto ao leito adsorvente 28. As válvulas 74, 90, 106, 122 e 132 permanecem abertas, as válvulas 92, 102 e 120 são ajustadas em posições abertas e a válvula 116 é ajustada à posição fechada.

No sétimo estágio do ciclo, o leito adsorvente 28 agora está produzindo o produto e o leito adsorvente 24 é tomado fora de linha. O leito adsorvente 22 está passando por uma etapa de purgação. Durante este tempo o leito adsorvente 24 está passando pela terceira etapa de queda de equalização fornecendo-se gás de equalização ao leito adsorvente 30 que está passando por uma terceira etapa de elevação de equalização. Os leitos adsorventes 26 e 32 estão passando pelo primeiro leito às equalizações de leito com o leito adsorvente 26 passando por uma primeira etapa de queda de equalização para fornecer gás de equalização ao leito adsorvente 32 que passa pela primeira etapa de elevação de equalização. As válvulas 76, 80, 108, 114, 118, 124 e 134 são ajustadas em posições abertas. As válvulas 74, 90, 106, 122, 132, 92, 102 e 120 são devolvidas à posição fechada. No oitavo estágio do ciclo, o leito adsorvente 28 continua a preparar o produto e a fornecer pressurização do produto ao leito adsorvente 30. O leito adsorvente 22 agora está em uma etapa de purga recebendo-se o gás de purga do leito adsorvente 24 que portanto está na etapa de fornecimento de gás de purga, e os leitos adsorventes 26 e 32 estão passando pelo segundo leito à equalização de leito

com o leito adsorvente 26 passando pela segunda etapa de queda de equalização fornecendo o gás de equalização ao leito adsorvente 32 que passa pela segunda etapa de elevação de equalização. As válvulas 76, 80, 108, 104, 124 e 134 permanecem na posição aberta, as válvulas 92, 94 e 122 são
5 ajustadas na posição aberta e a válvula 118 é reajustada à posição fechada.

No nono estágio do ciclo, o leito adsorvente 30 é conduzido em linha e o leito adsorvente 28 é tomado fora de linha para ser regenerado. O leito adsorvente 22 está passando pela primeira etapa de elevação de equalização recebendo-se o gás de equalização do leito adsorvente 28 que está
10 passando pela primeira etapa de queda de equalização. Durante este tempo, o leito adsorvente 24 está na etapa de purgação, o leito adsorvente 26 está passando pela terceira etapa de queda de equalização fornecendo-se o gás de equalização ao leito adsorvente 32 que está na terceira etapa de elevação de equalização. As válvulas 77, 82, 104, 110, 120, 126 e 136 são ajustadas em
15 posições abertas. No décimo estágio do ciclo, o leito adsorvente 30 está fornecendo pressurização do produto ao leito adsorvente 32. O leito adsorvente 22 está passando pela segunda etapa de elevação de equalização recebendo-se gás de equalização de alta pressão do leito adsorvente 28 que está passando pela segunda etapa de queda de equalização. Durante o mesmo
20 tempo, o leito adsorvente 26 está na etapa de fornecimento de gás de purga para fornecer gás de purga ao leito adsorvente 24 que está na etapa de purga. As válvulas 77, 82, 104, 126 e 136 permanecem em posições abertas, as válvulas 94, 96 e 124 são ajustadas em posições abertas e a válvula 120 é fechada.

25 No décimo primeiro estágio do ciclo, agora o leito adsorvente 32 é devolvido em linha para fornecer a corrente de produto 16 e o leito adsorvente 30 é tomado fora de linha para ser regenerado. Durante este tempo o leito adsorvente 22 está na terceira etapa de elevação de equalização recebendo-se gás de equalização do leito adsorvente 28 que está passando

pela terceira etapa de queda de equalização. O leito adsorvente 24 está passando pela primeira etapa de elevação de equalização e recebe gás de equalização do leito adsorvente 30 que está na primeira etapa de queda de equalização. O leito adsorvente 26 está na etapa de purgação. As válvulas 78, 84, 106, 116, 122 e 138 são ajustadas em posições abertas e as válvulas 77, 82, 104, 126, 136, 94, 96 e 124 são reajustadas em posições fechadas. No décimo segundo estágio do ciclo, o leito adsorvente 22 está recebendo gás de pressurização do produto do leito adsorvente 32 de modo a ser capaz de ser devolvido em linha. O leito adsorvente 24 passa por uma segunda etapa de elevação de equalização recebendo-se gás de equalização do leito adsorvente 30 que está na segunda etapa de queda de equalização. O leito adsorvente 26 está na etapa de purga e recebe gás de purga enviado pelo leito adsorvente 28 que está na etapa de fornecimento de gás de purga. Para tais propósitos 78, 84, 106, 116 e 138 permanecem em posições abertas, as válvulas 96 e 98 são ajustadas em posições abertas e a válvula 122 é fechada. Depois da conclusão do décimo segundo estágio, o ciclo volta ao primeiro estágio e repete como esboçado acima.

Tendo geralmente discutido o controlador de pureza do produto e a unidade de leito adsorvente 14 e seu controle, uma discussão mais detalhada com respeito ao controlador de pureza do produto 40 segue. Com referência particular à Fig. 3, o controlador de pureza do produto 40 é preferivelmente um controlador lógico programável que é capaz de ser programado com lógica de controle para representar o nível de supervisão do controle 42 e o nível primário do controle 42 e controladores específicos dentro de tais níveis que serão discutidos em seguida. Por exemplo, o controlador de pureza do produto 40 pode ser um controlador ALLEN-BRADLEY® que utiliza software programável, por exemplo, o software RSLOGIX™ 500 obtido da Rockwell Automation Inc. of 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204-2496 USA. Outros controladores similares

podem ser usados e o precedente é para propósitos exemplares apenas.

Na aplicação ilustrada específica da presente invenção, o leito adsorvente 32, assim como os outros leitos adsorventes 22 a 30, é fornecido com um vaso 140 tendo uma entrada 142 e uma saída 144. Contidas dentro do

5 leito adsorvente 32 estão três camadas de adsorvente, isto é uma camada de zeólito 146, uma camada de carbono ativado 148 e uma camada de alumina opcional 150. A corrente de gás deslocado de entrada 12, primeiro entra na camada de alumina 150 para adsorver umidade e depois na camada de

10 carbono ativado 148 para adsorver dióxido de carbono e hidrocarbonetos mais pesados tais como metano. Posteriormente monóxido de carbono e nitrogênio são adsorvidos na camada de zeólito. É importante observar que a operação do leito de unidade de adsorção deve ser controlada de modo que o dióxido de

15 carbono nunca avance da camada de carbono ativado 148 para a camada de zeólito 146. A razão para isto é que o dióxido de carbono seria fortemente adsorvido no leito de zeólito tornando o leito adsorvente 32 muito difícil para regenerar. Uma outra consideração de controle importante é que se o

20 monóxido de carbono está acima de um nível indicado na especificação do produto, a corrente de produto não será de qualquer uso prática. Finalmente, o nitrogênio tende a concentrar no leito de zeólito 146 para a saída do leito adsorvente 144. Como uma consequência de todas estas considerações, a

25 unidade de leito adsorvente 14 é controlada de modo que o dióxido de carbono nunca avance da camada de zeólito 146 e que o tempo de ciclo de alimentação é controlado de modo que a concentração de monóxido de carbono na corrente de produto 16 nunca eleve acima do nível apresentado na especificação do produto. O controle da concentração de produto de

monóxido de carbono também controlará a concentração de produto de nitrogênio. Como será discutido em seguida, a concentração de dióxido de carbono e as concentrações de monóxido de carbono são percebidas como concentrações de leito adsorvente dentro da camada de carbono ativado 148 e

da camada de zeólito 146 e comparadas contra os alvos porque tem sido descoberto que mudanças em tais concentrações de leito adsorvente aparecerão muito mais rapidamente do que as mudanças a jusante e consequentemente, o controle pode ser feito mais agressivo para permitir que
5 o tempo de ciclo de alimentação seja em média tão longo quanto possível para maximizar a produção da corrente de produto.

O nível de supervisão do controle 42 utiliza três controladores separados, isto é um controlador de supervisão de monóxido de carbono 152, um controlador de supervisão de nitrogênio 154 e um controlador de
10 supervisão de dióxido de carbono 156. Na forma de realização ilustrada, estes controladores funcionam na base de lógica de controle proporcional e integral e consequentemente existem termos de erro proporcionais e integrais que podem ser uma função do erro e o integral do erro. Entretanto, na forma de realização ilustrada uma forma de velocidade de tal controle é empregada e
15 como tal, o termo proporcional é uma função de uma diferença entre o erro corrente como determinado durante a execução corrente do controlador e um erro anterior determinado na execução prévia do controlador. O termo integral, sendo da forma de velocidade, é uma função do erro corrente.

Cada um destes controladores calculam uma concentração de
20 leito adsorvente alvo para a concentração de monóxido de carbono a ser obtida no leito de zeólito que manterá cada uma das concentrações de monóxido de carbono e nitrogênio dentro da corrente de produto 16 em e abaixo de concentrações de impureza do produto alvo dentro da corrente de produto 16 e uma concentração de leito adsorvente alvo, no caso de dióxido
25 de carbono dentro do leito de carbono ativado 148, que impedirá o avanço do dióxido de carbono na camada de zeólito 148.

Voltando-se primeiro para o controlador de supervisão de monóxido de carbono, tal controlador funciona de acordo com a equação seguinte:

$$MV1_i = MV1_{i-1} + K_{c1} * (\varepsilon1_i - \varepsilon1_{i-1}) + K_{c1}/\tau_{11} * \Delta t * \varepsilon1_i$$

onde:

$MV1_i$ = Concentração de leito adsorvente alvo de CO potencial para o ciclo corrente

5 $MV1_{i-1}$ = Concentração de leito adsorvente alvo de CO potencial no mesmo ciclo final de tempo

K_{c1} = ganho para o circuito intra-leito de CO

$\varepsilon1_i$ = erro para ciclo corrente para intra-leito de CO

$\varepsilon1_{i-1}$ = erro no mesmo ciclo final de tempo para intra-leito de CO

10 τ_{11} = tempo reajustado para o circuito de intra-leito de CO

Δt = tempo de ciclo total

Durante cada execução do controlador de pureza do produto 40, $MV1_i$ é calculada adicionando-se ao valor da concentração de leito adsorvente alvo de CO potencial determinado durante uma execução prévia do controlador de pureza do produto, $MV1_{i-1}$, os elementos proporcionais e integrais do controle. O elemento proporcional, $K_{c1} * (\varepsilon1_i - \varepsilon1_{i-1})$, é determinado calculando-se o erro para o ciclo corrente, $\varepsilon1_i$, subtraindo-se a concentração de impureza do produto para monóxido de carbono a partir de uma concentração de impureza do produto alvo ajustada como uma entrada dentro do controlador de supervisão de monóxido de carbono 152 como indicado pela ponta de flecha 158. A concentração é determinada amostrando-se a concentração de impureza dentro da corrente de produto 16 por meio de um analisador de gás 160 conectado a um alimentador de produto 162 da unidade de leito adsorvente 14 e enviando dados referentes a tal concentração ao controlador de supervisão de monóxido de carbono 152 como indicado na ponta de flecha 48a. Como será discutido, a ponta de flecha 48a realmente representa várias etapas de lógica de controle em que os dados são convertidos em uma forma logarítmica, na base 10, uma média móvel é

mantida e a média é introduzida no controlador de supervisão de monóxido de carbono 152. O erro determinado na mesma maneira durante uma execução prévia do controlador de pureza do produto 40, $\varepsilon_{1,i-1}$, é subtraído do erro corrente e a diferença é multiplicada por um fator de ajuste K_{c1} , conhecido na técnica como o “ganho”, que é determinado em uma maneira conhecida durante a operação do controlador de pureza do produto 40. O elemento integral é determinado multiplicando-se o erro corrente por um produto de um quociente de K_{c1}/τ_{11} e Δt que é o tempo de ciclo corrente determinado pelo controlador de unidade de leito adsorvente 34 que é introduzido ao controlador como indicado pela ponta de flecha 62 e especificamente como mostrado pela ponta de flecha 62a. O termo, “ τ_{11} ” é o tempo reajustado e é um outro fator de transformação que é determinado durante a operação do controlador de pureza do produto 40 em uma maneira conhecida.

O controlador de supervisão de nitrogênio 154 funciona de acordo com a equação seguinte:

$$MV2_i = MV2_{i-1} + K_{c2} * (\varepsilon_{2i} - \varepsilon_{2i-1}) + K_{c2}/\tau_{12} * \Delta t * \varepsilon_{2i}$$

onde:

$MV2_i$ = Concentração de leito adsorvente alvo de CO potencial para ciclo corrente

$MV2_{i-1}$ = Concentração de leito adsorvente alvo de CO potencial no mesmo ciclo final de tempo

K_{c2} = ganho para o circuito de produto de N2

ε_{2i} = erro para ciclo corrente para produto de N2

ε_{2i-1} = erro no mesmo ciclo final de tempo para produto de N2

τ_{12} = tempo reajustado para o circuito de produto de N2

Δt = tempo de ciclo total

O controlador de supervisão de nitrogênio 154 realiza cálculos na mesma maneira como o controlador de supervisão de monóxido de carbono 152. Entretanto, para tal controlador o erro, “ ε ”, é determinado

subtraindo-se uma concentração de impureza do produto de nitrogênio alvo, que é uma entrada mostrada pela ponta de flecha 166, a partir da nitrogênio concentração de impureza de produto medida na corrente de produto 16 por um analisador de gás 168. Dados representando a concentração média que
 5 foram convertidos a uma forma logarítmica na base 10 são introduzidos no controlador de supervisão de nitrogênio 154 como mostrado pela ponta de flecha 48b. O fator de ajuste “K_{c2}” é independentemente determinado e ajustado.

O controlador de supervisão de dióxido de carbono funciona
 10 de acordo com a equação seguinte:

$$MV3_i = MV3_{i-1} + K_{c3} * (\varepsilon3_i - \varepsilon3_{i-1}) + K_{c3}/\tau_{I3} * \Delta t * \varepsilon3_i$$

onde:

MV3_i = Concentração de leito adsorvente alvo de CO
 potencial para ciclo corrente

MV3_{i-1} = Concentração de leito adsorvente alvo de CO
 15 potencial no mesmo ciclo final de tempo

K_{c3} = ganho para circuito de produto de CO

ε3_i = erro para ciclo corrente para produto de CO

ε3_{i-1} = erro no mesmo ciclo final de tempo para produto de CO

τ_{I3} = tempo reajustado para circuito de produto de CO

20 Δt = tempo de ciclo total

O controlador de supervisão de dióxido de carbono 156 realiza cálculos na mesma maneira como o controlador de supervisão de monóxido de carbono 152. Entretanto, para tal controlador o erro, “ε”, é determinado subtraindo-se uma concentração de impureza do produto de dióxido de carbono alvo, que é uma entrada mostrada pela ponta de flecha
 25 170, a partir de uma concentração de leito adsorvente do dióxido de carbono medida dentro da camada de carbono ativado 148 por um analisador de gás 172 que novamente transmite dados representando uma média das medições,

convertidos na forma logarítmica na base 10, no controlador de supervisão de dióxido de carbono 156 como mostrado pela ponta de flecha 50. O analisador de gás 172 amostra a concentração de dióxido de carbono através de uma entrada de gás 174 que é formada por um tubo situado em um local que é menor do que metade do comprimento da camada de carbono ativado 148 e preferivelmente em torno de um terço de tal comprimento de modo que mudanças em concentração sejam percebidas antes de uma mudança a jusante tal como ocorreria na interface entre a camada de zeólito 146 e a camada de carbono ativado 148. Os fatores de sintonização “ K_{c3} ” e “ τ_{I3} ” são independentemente determinados e ajustados e o tempo de ciclo é uma entrada como mostrado pela ponta de flecha 62b.

O controlador de supervisão de monóxido de carbono 152, o controlador de supervisão de nitrogênio 154 e o controlador de supervisão de dióxido de carbono produzem seus valores respectivos de $MV1_i$, $MV2_i$ e $MV3_i$ como mostrado pelas pontas de flecha 176, 178 e 180 e depois introduzem tais valores dentro da lógica que compara os três valores e determina um mínimo como mostrado na caixa 182 e introduz os mesmos como uma entrada 184 no controlador primário 44. O controlador primário 44 funciona de acordo com a equação seguinte:

$$MV4_i = MV4_{i-1} + K_{c4} * (\varepsilon4_i - \varepsilon4_{i-1}) + K_{c4}/\tau_{I4} * \Delta t * \varepsilon4_i$$

onde:

$MV4_i$ = tempo de ciclo total de alimentação para ciclo corrente

$MV4_{i-1}$ = tempo de ciclo total de alimentação no mesmo ciclo final de tempo

K_{c4} = ganho para o circuito intra-leito de CO

$\varepsilon4_i$ = erro para ciclo corrente

$\varepsilon4_{i-1}$ = erro no mesmo ciclo final de tempo

τ_{I4} = tempo reajustado para o circuito intra-leito de CO

Δt = tempo de ciclo total

O controlador primário 44 funciona em uma maneira similar àquela dos controladores no nível de controle de supervisão 42 exceto que seu rendimento é o tempo de ciclo de alimentação. Este rendimento, $MV4_i$, é determinado adicionando-se ao tempo de ciclo de alimentação determinado durante a execução anterior do controlador de pureza do produto 40, um termo proporcional tendo um fator de ajuste, " K_{c4} " e um termo integral tendo um fator de ajuste " τ_{i4} ", tanto independentemente determinado quanto aplicado em uma maneira conhecida na técnica e o tempo de ciclo total de alimentação é liberado ao controlador de leito de adsorção 36 como uma entrada 64. O termo de erro é a diferença entre a concentração de leito adsorvente para o monóxido de carbono e a concentração de leito adsorvente alvo como entrada em tal controlador como indicado pela ponta de flecha 184 ou o mínimo determinado no nível de supervisão de controle 42. Esta concentração de leito adsorvente é determinada por um portal de amostragem 186 conectado a um analisador de gás 188 que gera dados referentes a tal concentração que servem como uma entrada no controlador primário 44. O portal de amostragem 186 está situado em um local dentro da camada de zeólito 146 mais próximo à entrada 142 do que à saída 144, novamente, dentro da primeira metade da camada e preferivelmente, dentro do primeiro terço da camada. O rendimento, o tempo de ciclo de alimentação, $MV4_i$, é a entrada no controlador de unidade de leito adsorvente 34 como mostrado pela ponta de flecha 190.

Com referência à Fig. 4, a lógica da programação do controlador de pureza do produto 40 é ilustrada. O controlador de pureza do produto 40 executa em uma frequência de controlador que é igual ao tempo de ciclo total da unidade de leito adsorvente 14, isto é, o tempo total entre o ponto que o leito adsorvente 22 é conduzido em linha e está adsorvendo impurezas até que seja regenerado e depois conduzido em linha novamente. Durante este tempo, como ilustrado na etapa lógica 200, os valores correntes

de concentrações de produto do nitrogênio e monóxido de carbono dentro da corrente de produto 16 (“N₂ em produto” e “CO em produto”) junto com as concentrações de leito adsorvente correntes de dióxido de carbono e monóxido de carbono dentro do carbono ativado e camadas de zeólito 148 e 146 (“CO₂ em camada de carbono” e “CO em camada de peneira”) são introduzidos a partir dos analisadores de gás discutidos acima ou a partir de um controle de supervisão e o programa de aquisição de dados que registra tais leituras. Cada um dos valores é convertido a um valor logarítmico na base 10 (“LOG10”) como mostrado na etapa lógica 202. Uma média móvel dos valores de LOG10 convertidos é mantida como mostrado na etapa lógica 204. No final do ciclo completo dos leitos adsorventes dentro da unidade de leito adsorvente, um comando final de ciclo é transmitido ao controlador lógico programável a partir do controlador de unidade de leito de adsorção 36 que também contém o tempo de ciclo “ Δt ” para uso pelos controladores como indicado pela etapa lógica 206 e um erro é calculado para cada uma das variáveis registrando-se o erro do ciclo prévio e calculando-se o erro corrente da média como mostrado na etapa lógica 208. Deve ser observado que o comando final de ciclo e o tempo de ciclo são transmitidos como indicado pelo número de referência 60 na Fig. 1. Sob esse aspecto, se um único controlador for usado, ele pode ser programado em uma maneira conhecida para transmitir os valores relevantes “em” e “fora de” e o tempo de ciclo para as funções de controle de supervisão e primário de tal programa. Além disso, se o controlador de unidade de adsorção 34 for uma unidade separada, então um temporizador separado pode ser ligado ao controlador 34 para tais propósitos ou se disponível, dados relevantes de tal unidade separada podem ser transmitidos ao controlador de pureza do produto 40. Os valores calculados depois são usados na computação das concentrações de leito adsorvente alvo potenciais para o monóxido de carbono, isto é, MV1_i, MV2_i e MV3_i como mostrado nas etapas lógicas 210, 212 e 214 que emulam os

controladores de supervisão, 170, 158 e 156. O resultados são comparados e um mínimo é encontrado como mostrado em 182 e o mesmo é introduzido na etapa lógica 216 que contém os cálculos realizados pelo controlador primário 44. Como mostrado na etapa lógica 216, o erro do ciclo prévio é registrado e

5 um erro é computado subtraindo-se a concentração de monóxido de carbono alvo mínima do valor de LOG10 médio da concentração de impureza de monóxido de carbono dentro do leito de zeólito que foi previamente calculado na etapa lógica 204. O tempo de ciclo de alimentação depois é calculado na etapa lógica 218 e o rendimento MV4_i depois é introduzido no controlador de

10 unidade de leito adsorvente 34 como o tempo de ciclo de alimentação. Como mostrado pela ponta de flecha 220, a execução da programação volta para a etapa lógica 200 e o controlador de pureza do produto executa as etapas esboçadas acima. Como é evidente, um período da frequência de controlador é coincidente com o tempo de ciclo total do leito de unidade de adsorção 14

15 como controlado pelo controlador de unidade de leito de adsorção 36.

Em um exemplo da operação vantajosa da presente invenção, uma unidade de leito adsorvente do tipo ilustrado aqui foi operada de acordo com a técnica anterior e a presente invenção. A mistura de alimentação em uma base seca e em volume continha: 75,6 por cento de hidrogênio; 15,6 por

20 cento de dióxido de carbono; 3,4 por cento de monóxido de carbono; 4,8 por cento de metano e 0,7 por cento de nitrogênio. No método da técnica anterior de controle, o tempo de ciclo de alimentação foi ajustado na base de pureza do produto sozinho utilizando lógica de controle proporcional e integral. A tabela seguinte resume os resultados:

25

TABELA

	Controle da técnica anterior	Controle da presente invenção
Tempo de ciclo	540	606
Primeira camada de leito	Zeólito	Zeólito
Quantidade de adsorvente na primeira camada de leito	2150 lb (0,98 t)/Ton (1 ton = 1,02 t)/Dia de Hidrogênio	2000 lb (0,91 t)/Ton (1 ton = 1,02 t)/Dia de Hidrogênio
Segunda camada de leito	Carbono ativado	Carbono ativado
Quantidade de adsorvente na segunda camada de leito	1775 lb (0,81 t)/Ton (1 ton = 1,02 t)/Dia de Hidrogênio	1700 lb (0,77 t)/Ton (1 ton = 1,02 t)/Dia de Hidrogênio
Terceira camada de leito	Alumina	Alumina

Quantidade de adsorvente na terceira camada de leito	300 lb (0,14 t)/Ton (1 ton = 1,02 t)/Dia de Hidrogênio	275 lb (0,13 t)/ Ton (1 ton = 1,02 t)/Dia de Hidrogênio
Pressão alta (psig) 1 psi = (6,9 kPa man.)	250	250
Pressão baixa (psig) 1 psi = (6,9 kPa man.)	6	6
Velocidade de alimentação (Ft ³ /h (ntp))	689	692
Pureza de hidrogênio	99,999 %	99,9985 %
Recuperação de hidrogênio	80,8 %	84,6 %
Fator de comprimento de leito total	4200 lb (1,9 t)/Ton (1 ton = 1,02 t)/Dia de Hidrogênio	4000
Temperatura	311 K	311 K
Diâmetro de leito	2,16 polegadas (5,49 cm)	2,16 polegadas (5,49 cm)
Comprimento de leito	20 pés (6,1 m)	20 pés (6,1 m)

Como é evidente a partir da tabela, o método de controle da presente invenção, descrito acima resultou no tempo de ciclo sendo mais longo e na recuperação de hidrogênio a ser aumentada. A redução no fator de tamanho de leito indica que mais hidrogênio é produzido para a quantidade dada de adsorvente.

Com referência à Fig. 5, uma unidade de leito adsorvente 14 da Fig. 2 e tendo as características mostradas na Tabela acima foi controlada em uma maneira da técnica anterior, que é um controle de realimentação operando por controle proporcional e integral e com base na concentração de monóxido de carbono na corrente de produto 16. Um distúrbio foi iniciado aumentando-se a concentração do monóxido de carbono na corrente de alimentação 12 de 4,5 por cento a 5,5 por cento. A corrente de mistura de alimentação consistiu em 74 por cento de hidrogênio, 16 por cento de dióxido de carbono, 5 por cento de metano, 4,5 por cento de monóxido de carbono e 0,5 por cento de nitrogênio antes do distúrbio e 73 por cento de hidrogênio, 16 por cento de dióxido de carbono, 5 por cento de metano, 5,5 por cento de monóxido de carbono e 0,5 por cento de nitrogênio depois do distúrbio. Como é evidente a partir desta Figura, uma amplitude em pureza do produto entre 3 ppm e 4 ppm persistiu durante mais do que vinte horas. Com referência adicional à Fig. 6, uma unidade de leito adsorvente 14 da Fig. 2 e tendo as características mostradas na Tabela acima foi controlada de acordo com a presente invenção como descrito acima. Um distúrbio foi iniciado

aumentando-se a concentração do monóxido de carbono na corrente de alimentação 12 de 4,5 por cento a 5,5 por cento. A corrente de mistura de alimentação consistiu em 74 por cento de hidrogênio, 16 por cento de dióxido de carbono, 5 por cento de metano, 4,5 por cento de monóxido de carbono e 0,5 por cento de nitrogênio antes do distúrbio e 73 por cento de hidrogênio, 16 por cento de dióxido de carbono, 5 por cento de metano, 5,5 por cento de monóxido de carbono e 0,5 por cento de nitrogênio depois do distúrbio. Nenhuma amplitude notável na pureza do produto medida foi observada.

Com referência à Fig. 7, uma resposta no sistema de controle descrito acima é ilustrada quando a primeira concentração de produto alvo de monóxido de carbono 158 foi diminuída de 7,5 ppm a 1 ppm de monóxido de carbono. Como é evidente a partir desta Figura, dentro de dez horas, a primeira concentração de produto de monóxido de carbono na corrente de produto 16 rastreou o alvo com pouco desvio. Em termos da resposta de controle, a primeira concentração de leito adsorvente alvo 158 determinada pelo nível de supervisão de controle 42 diminui e depois do período de dez horas a primeira concentração de leito adsorvente de monóxido de carbono na primeira camada 146 de leito adsorvente 32 começa a rastrear o alvo. O tempo de ciclo de alimentação que resulta das computações de controle primárias inicialmente diminui dado que a primeira concentração de produto do monóxido de carbono conforme medida é acima do alvo. Depois que a primeira concentração de produto do monóxido de carbono começa a aproximar-se da primeira concentração de produto alvo, o tempo de ciclo de alimentação aumenta para permitir uma recuperação de produto de hidrogênio maior.

Embora a presente invenção tenha sido descrita para o controle de uma unidade de adsorção por oscilação de pressão usada relativo à produção de hidrogênio, a presente invenção tem maior aplicabilidade. Por exemplo, a presente invenção tem aplicabilidade igual ao controle de um leito

de unidade de adsorção que incorpora um ou mais leitos de adsorção em que um único adsorvente é usado para adsorver duas ou mais impurezas. Em tal caso, apenas uma única concentração de impureza crítica seria amostrada dentro do leito de adsorção no nível primário de controle e duas ou mais impurezas seriam amostradas dentro da corrente de produto no nível de supervisão de controle. O controlador de pureza do produto, como discutido acima tem uma frequência de controlador que é ajustada pelo tempo de ciclo da unidade de adsorção por oscilação de pressão 14. Assim, médias dos níveis de pureza de LOG10 são usadas nas computações. Isto tem sido descoberto ser vantajoso em que pontas de impurezas medidas não afetarão o controle da unidade de adsorção por oscilação de pressão 14. Dito isto, é possível construir uma forma de realização da presente invenção em que o sistema de controle opera em uma frequência maior ou virtualmente em uma maneira contínua. O problema com tal controle seria que o tempo de ciclo de alimentação não pode ser continuamente ajustado e a unidade teria que ser programada para descartar um resultado remoto com base em uma condição transitória na alimentação ou na operação dos analisadores propriamente ditos. As vantagens de usar uma forma de LOG10 dos dados é que o controle pode funcionar com a mesma resposta tanto em níveis de impureza altos quanto baixos. Se os níveis de impureza estivessem dentro de uma faixa estreita como seria excluído com aplicações de purificação do ar, então em um sistema simplificado, tal conversão de LOG10 não poderia ser usada.

Como discutido acima, o nível de controle de supervisão 42 e o nível de controle primário 42 funcionam na base de uma forma de velocidade de controle proporcional e integral. É possível que uma forma de realização da invenção possa funcionar em uma forma de posição e como tal o termo proporcional usaria simplesmente o erro corrente e o termo integral usaria a integral do erro. Em um outro extremo, o controle poderia ser exclusivamente proporcional. Estas últimas duas possibilidades seriam menos

desejáveis do que a forma de realização ilustrada. Uma outra possibilidade, ainda que não tão desejável quanto a forma de realização ilustrada, seria não usar o tempo de ciclo total, " Δt ". Formas de realização adicionais da presente invenção podem usar controle proporcional, integral e derivado sendo

5 possível. Adicionalmente, como ocorreria àqueles habilitados na técnica, cada um dos controladores de supervisão 152, 154 e 170 e o controlador primário 44 podem todos funcionar na base de outra teoria de controle, tal como lógica difusa. O controle preditivo de modelo é um outro tipo de teoria de controle que pode ser usado relativo à presente invenção. Em um tal esquema de

10 controle, as concentrações de impureza do produto de nitrogênio e monóxido de carbono assim como as composições de impureza de leito adsorvente de monóxido de carbono e dióxido de carbono. Adicionalmente, fluxo, temperatura e composição de alimentação podem opcionalmente também ser medidos. Todos os valores correntes e prévios destas variáveis, junto com os

15 valores históricos de tempo de ciclo de alimentação seriam alimentados a um modelo preditivo. O modelo preditivo estimaria qual a composição do produto será boa o bastante no futuro com base nestes valores. Um otimizador, uma segunda parte do programa de computador, repetidamente calcularia a modificação requerida para o tempo de ciclo de alimentação de

20 modo a minimizar a diferença entre a pureza do produto medida e a pureza do produto desejada. Uma vez que a trajetória ideal do tempo de ciclo de alimentação no futuro seja calculada, o valor do tempo de ciclo de alimentação mais próximo no tempo ao tempo de ciclo corrente de alimentação seria selecionado e usado como o tempo de ciclo corrente de

25 alimentação.

Um outro ponto que deve ser mencionado é que embora o controlador de pureza do produto 40 calcule um tempo de ciclo de alimentação, que é um tempo em que um leito adsorvente é submetido à adsorção e o controlador de unidade de adsorção 34 responde ao resultado e

aumenta o tempo de ciclo de alimentação de cada leito em um ciclo completo, o resultado final é que o tempo de ciclo total é aumentado. Como pode ser avaliado, o controlador de pureza do produto 40 ou qualquer outro tipo de sistema de controle, tal como discutido acima pode funcionar pela
5 computação do tempo de ciclo propriamente dito. Além disso, certos controladores de unidade de leito de adsorção são programados para serem responsivos a um fator de capacidade. Embora a definição de fator de capacidade varie com o fabricante, comumente, o fator de capacidade é igual a um produto de um tempo de ciclo de projeto e taxa de fluxo de projeto da
10 corrente de alimentação dividida por um produto de um valor corrente da taxa de fluxo da corrente de alimentação e um valor do tempo de ciclo que está em uso pela unidade de controle. Visto que um tal controlador de unidade de leito de adsorção terá a instrumentação necessária para medir a taxa de fluxo, a taxa de fluxo de projeto e tempos de ciclo representam taxas operacionais
15 para as quais o leito de unidade de adsorção 14 é designado para operar, o mesmo pode ser importado nas equações de controle dadas acima ou um outro tipo de sistema e ao invés de tempo de ciclo de alimentação, o controlador determinaria um fator de capacidade para entrada na unidade de controle de adsorção. Assim, é correto declarar que qualquer forma de realização da
20 presente invenção pode ser geralmente dita para computar um parâmetro de controle que ajustará o tempo de ciclo de alimentação e que tal parâmetro de controle pode ser o tempo de ciclo de alimentação propriamente dito, o tempo de ciclo total ou um fator de capacidade que também é uma função do tempo de ciclo e portanto o tempo de ciclo de alimentação.

25 Embora a presente invenção fosse discutida com respeito a uma forma de realização preferida, como ocorrerá àqueles habilitados na técnica, numerosas mudanças e omissões podem ser feitas sem divergir do espírito e escopo da invenção como apresentado nas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar uma unidade de leito adsorvente, caracterizado pelo fato de que compreende:

5 medir uma concentração de leito adsorvente de uma impureza dentro de um leito adsorvente da unidade de leito adsorvente, o leito adsorvente adsorvendo a impureza de uma corrente de alimentação alimentada no leito adsorvente, deste modo para produzir uma corrente de produto contendo uma concentração de produto da impureza não maior do que uma concentração de produto alvo;

10 a unidade de leito adsorvente sendo operada de acordo com um ciclo durante o qual a corrente de alimentação é alimentada ao leito adsorvente e posteriormente, o adsorvente dentro do leito adsorvente é regenerado através de dessorção da impureza, o ciclo incorporando um tempo de ciclo de alimentação durante o qual a corrente de alimentação é introduzida
15 no leito adsorvente, a impureza é adsorvida e a corrente de produto é produzida;

 controlar a concentração de produto dentro da corrente de produto por meio do tempo de ciclo de alimentação empregado dentro da unidade de leito adsorvente, o qual é manipulado calculando-se
20 continuamente um parâmetro de controle que ajustará o tempo de ciclo de alimentação dentro de um controlador de unidade de leito adsorvente, de modo que a concentração de leito adsorvente tenda a aproximar-se de uma concentração de leito adsorvente alvo que manterá a concentração de produto em um nível não maior do que a concentração de produto alvo e o tempo de
25 ciclo de alimentação diminua quando a concentração de leito adsorvente aumenta, e aumente quando a concentração de leito adsorvente diminui;

 o parâmetro de controle é introduzido no controlador de unidade de leito adsorvente controlando válvulas dentro de uma rede de controle de fluxo conectada ao leito adsorvente de modo que a corrente de

alimentação seja alimentada ao leito adsorvente durante o tempo de ciclo de alimentação;

o parâmetro de controle é calculado de modo que a concentração de leito adsorvente se aproximará da concentração de leito adsorvente alvo quando o parâmetro de controle for introduzido no controlador de unidade de leito adsorvente; e

a concentração de leito adsorvente sendo medida dentro do leito adsorvente, em um local do mesmo, em que a concentração de leito adsorvente mudará antes da concentração de produto da impureza dentro da corrente de produto mudar em resposta a um distúrbio de modo a controlar a concentração de leito adsorvente para manter a concentração de leito adsorvente na concentração de leito adsorvente alvo, também irá manter a concentração de produto da impureza dentro da corrente de produto no nível não maior do que a concentração de produto alvo.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que:

o leito adsorvente é configurado para adsorver pelo menos duas impurezas;

a impureza é uma impureza de pelo menos duas impurezas, a concentração de produto é uma concentração de produto de pelo menos duas concentrações de produto e a concentração de produto alvo é uma concentração de produto alvo de pelo menos duas concentrações de produto alvo;

as pelo menos duas concentrações de produto e a concentração de leito adsorvente são medidas; e

a concentração de leito adsorvente alvo é determinada calculando-se concentrações de leito adsorvente alvo potenciais para cada uma de pelo menos duas impurezas, de modo que a corrente de produto seja produzida tendo pelo menos duas concentrações de produto em níveis não

maiores do que as pelo menos duas concentrações de produto alvo e utilizando um valor mínimo das concentrações de leito adsorvente alvo potenciais como a concentração de leito adsorvente alvo de modo que o controle das concentrações de leito adsorvente também controle todas as pelo
5 menos duas concentrações de impureza do produto para serem menores do que as pelo menos duas concentrações de impureza do produto alvo.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que:

a impureza é uma primeira impureza, a concentração de leito
10 adsorvente é uma primeira concentração de leito adsorvente, a concentração de produto é uma primeira concentração de produto e a concentração de produto alvo é uma primeira concentração de produto alvo;

o leito adsorvente é configurado para adsorver a primeira impureza e também uma segunda impureza em uma primeira camada do leito
15 adsorvente e uma terceira impureza em uma segunda camada do leito adsorvente localizado adjacente a e a montante da primeira camada;

a concentração de leito adsorvente controlada por manipulação do tempo de ciclo de alimentação é a primeira concentração de leito adsorvente da primeira impureza dentro da primeira camada de modo que a
20 primeira concentração de leito adsorvente tenderá a aproximar-se da primeira concentração de leito adsorvente alvo;

a primeira concentração de impureza do produto e uma segunda concentração de impureza do produto da segunda impureza são medidas dentro da corrente de produto, a primeira concentração de leito
25 adsorvente é medida na primeira camada e uma segunda concentração de leito adsorvente da terceira impureza é medida na segunda camada em um outro local selecionado de modo que uma medição da terceira concentração de impureza indicará uma mudança em nível de impureza antes do avanço da segunda impureza para a primeira camada;

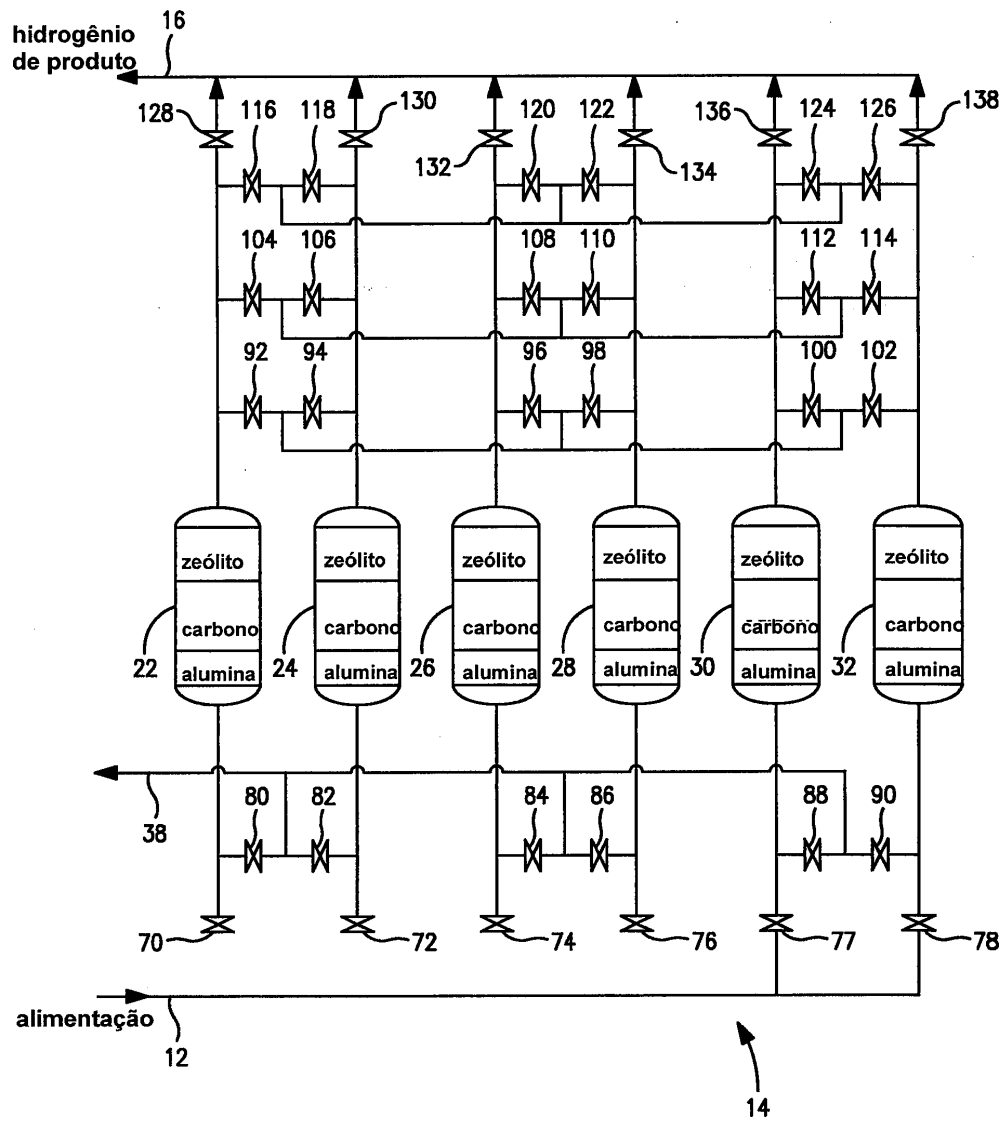


FIG. 2

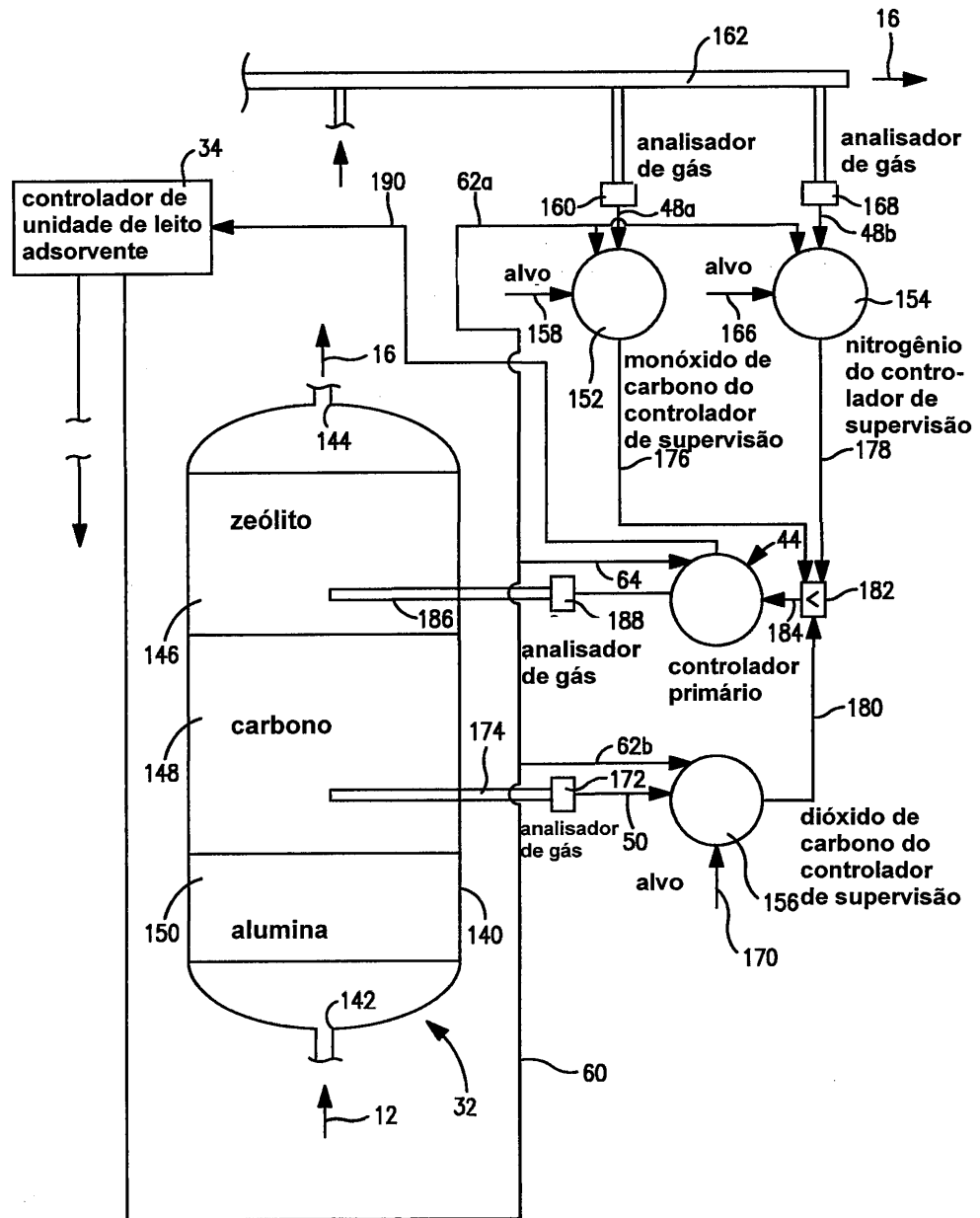


FIG. 3

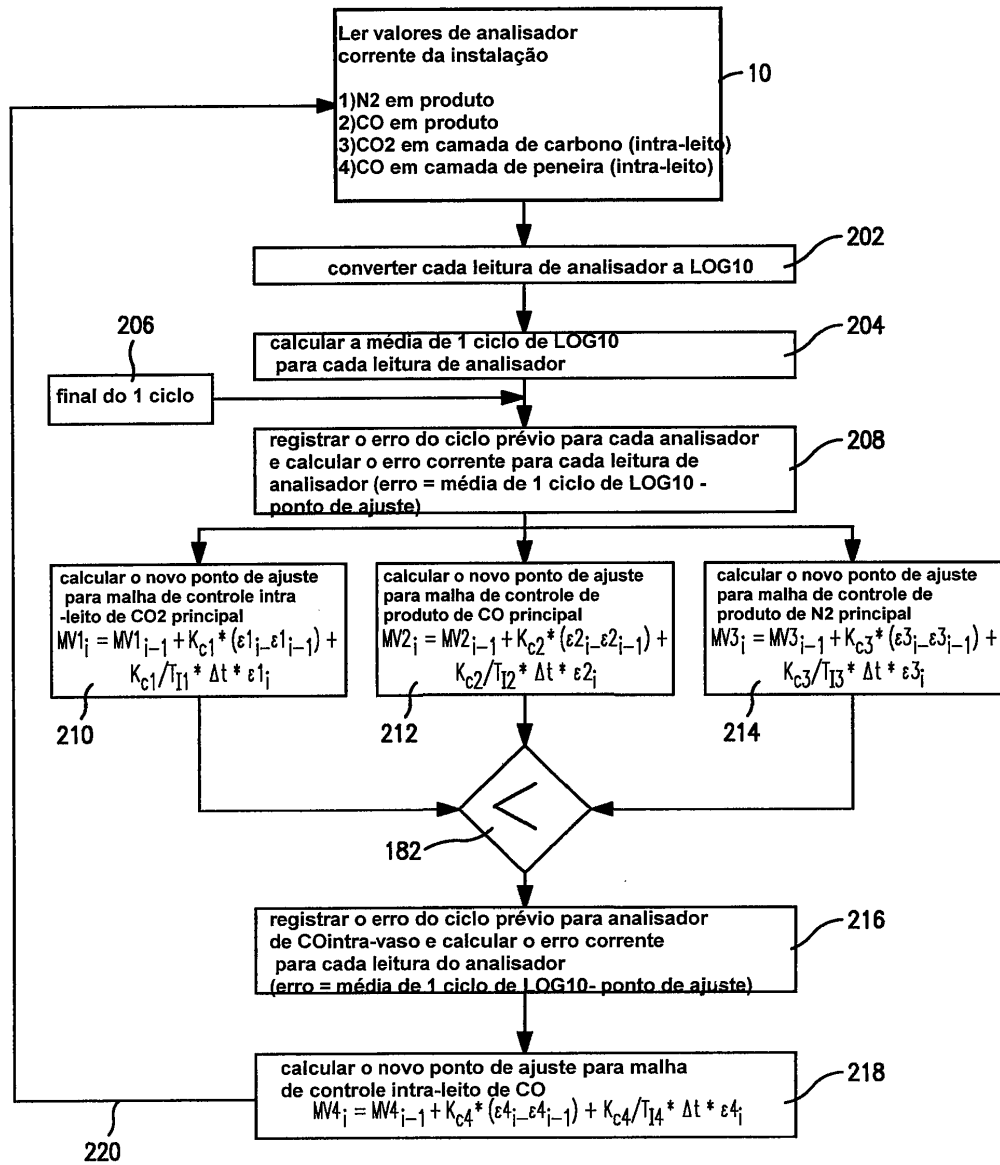


FIG. 4

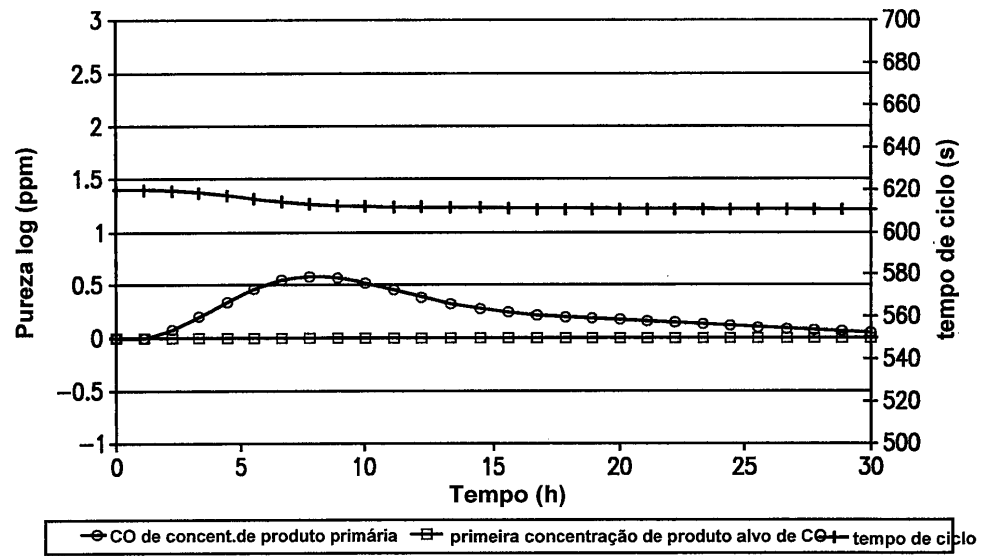


FIG. 5

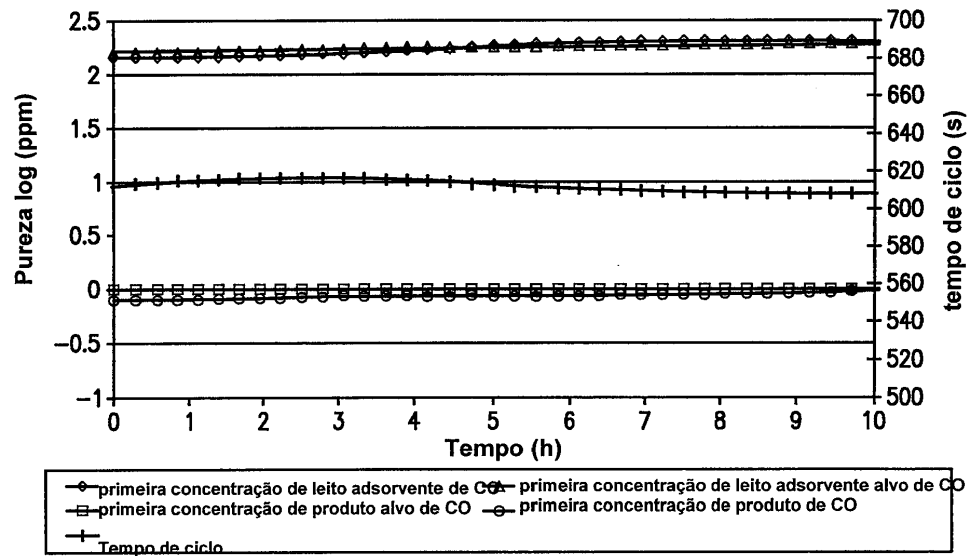


FIG. 6

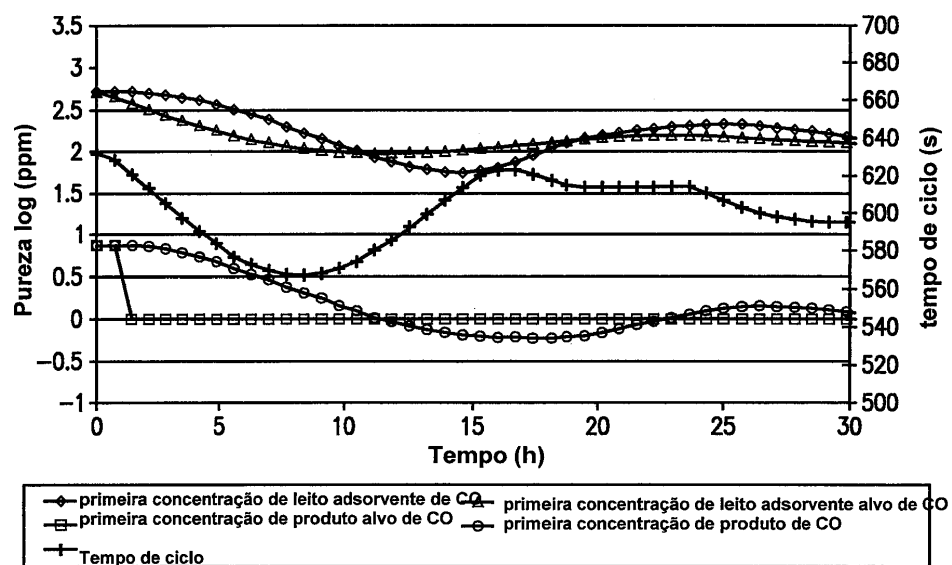


FIG. 7