



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

(11) PI 0913767-0 B1



(22) Data do Depósito: 07/04/2009

(45) Data de Concessão: 15/06/2021

(54) Título: SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO

(51) Int.Cl.: C10L 3/06; F17C 1/00.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

(72) Inventor(es): CESAR AUGUSTO MORAES DE ABREU; NELSON MEDEIROS DE LIMA FILHO; RODRIGO GOMES MARTINS; DEIVSON CESAR SILVA SALES.

(57) Resumo: SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO O SISTEMA COAXIAL E ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO tem aplicação na área de combustíveis, em especial, para armazenamento e transporte de gás A presente invenção desenvolve operações otimizadas de estocagem do gás, recorrendo-se à combinação energética dos efeitos de adsorção e dessorção simultâneas em um novo sistema de armazenamento de gás por compressão e adsorção, constituído de dois reservatórios concêntricos com cargas iguais de carvão ativada. O sistema de carga e descarga de gás apresentado não faz uso de meios acessórios, como fontes externas, e tem uma maior estabilidade térmica numa faixa de pressão razoável, ou seja, é mais eficiente e permite novos ciclos de armazenamento sem tratamentos externos resultando num custo de operação menor quando comparado ao atual estado da técnica.



SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO

5 Campo da Invenção

A presente invenção tem aplicação na área de combustíveis, em especial, para armazenamento e transporte de gás.

10 O armazenamento de gás no sistema proposto poderá ser aplicado em automóveis, em indústrias cujas matrizes energéticas sejam o gás natural, ou em qualquer estabelecimento cuja
15 necessidade de armazenar gás para uso posterior esteja presente (hospitais, shoppings fábricas, sistemas de ar condicionado, postos de combustíveis e similares). São possíveis aplicações em menores ou maiores escalas (automóveis, hospitais, indústrias, centrais de ar
condicionado, postos de combustíveis) adequando-se as dimensões correspondentes do sistema coaxial.

20

Sumário

A presente invenção relata um sistema de armazenamento de gás natural por compressão e adsorção aproveitando as energias
25 inerentes às etapas de carga e descarga do gás. Trata em especial do desenvolvimento de um sistema de armazenamento de gás natural por compressão e adsorção recorrendo-se à combinação energética dos efeitos adsortivos e dessortivos de etapas
simultâneas de carga e descarga, respectivamente.

30

Anterioridades

A estocagem de gás natural através do processo de
35 compressão (Gás Natural Comprimido – GNC), sob pressões de até 200 bar em temperatura ambiente, é a forma atualmente utilizada para se conseguir densidade energética por unidade de volume do tanque de armazenamento, adequada para seu uso como

combustível. O emprego de níveis elevados de pressão faz com que o custo operacional em estações de compressão de múltiplos estágios para carregamento do gás seja grande. O armazenamento sob a forma de GNC recorre ao uso de cilindros como reservatórios, os quais devem ser feitos de material resistente com espessura de parede compatível, requerendo um amplo espaço físico para o tanque de armazenamento. A tecnologia de gás natural adsorvido (GNA), em que o gás é armazenado principalmente sob a forma adsorvida em um sólido poroso sob pressões moderadas (35 a 40 bar) (LOZANO-CASTELLÓ, D.; ALCANIZ-MONGE, J.; DE LA CASALILLO, M. A.; CAZORLA-AMORÓS, D.; LINARES-SOLANO, A., Advances in the study of methane storage in porous carbonaceous materials. Fuel, 81, 1777-1803, 2002b.), é a alternativa de maior potencial para substituição do processo GNC.

Por esta via, têm-se expectativas de se reduzir os gastos operacionais inerentes ao processo de carregamento, permitindo também a flexibilidade de configuração dos tanques combustíveis e aumento da segurança do sistema de armazenamento. Desenvolvimentos do processo de armazenamento do gás natural com adsorvente (gás natural adsorvido – GNA) têm sido empreendidos (CHANG, K. J.; TALU, O., Behavior and experimental performance of adsorptive natural gas storage cylinders during discharge. Applied Thermal Engineering, 16, 5, 359-374, 1996; VASILIEV, L. L.; KANONCHIK, L. E.; MISHKINIS, D. A.; RABETSKY, M. I., Adsorbed natural gas storage and transportation vessels. International Journal of Thermal Science, 39, 1047-1055, 2000; BILOÉ, S.; GOETZ, V.; MAURAN, S., Dynamic discharge and performance of a new adsorbent for natural gas storage. AIChE Journal, 47, 12, 2819-2830, 2001; YANG, X. D.; ZHENG, Q. R.; GU, A. Z.; LU, X. S., Experimental studies of the performance of adsorbed natural gas storage system during discharge. Applied Thermal Engineering, 25, 591 – 601, 2005; LEE, J.W., BALATHANIGAIMANI, M.S., KANG H.C., SHIM, W.G., KIM C., MOON, H., Journal of Chemical and Engineering Data 52 (1): 66-70 JAN-FEB 2007), caracterizando melhorias relativas aos processos GNC.

Visa-se nas operações de processos GNA se obter uma maior quantidade adsorvida de gás na etapa de carga do sistema e uma

maior disponibilidade na etapa de descarga. Indicações resultantes de avaliações experimentais com gás metano (Chang e Talu, 1996 citado acima) mostraram dificuldades práticas em se operar um sistema GNA sob condições isotérmicas. Variações de temperatura na carga adsortiva e na descarga dessortiva, promovem diminuições de eficiência do processo.

Operações com controle das vazões de alimentação e liberação do gás no sistema de armazenamento e o uso dispositivos termostáticos têm sido propostos (Biloé et al., 2001; Yang et. al., 2005; Lee et. al., 2007) no sentido de garantir menores envolvimento energético garantindo mais estabilidade operacional. Diferentes tipos de carvões ativado têm sido utilizados, operando-se num intervalo de pressão da ordem de 0,1-100 MPa (Vasilev et al., 2000).

Operações do processo de armazenamento de gás natural por adsorção foram realizadas por Mota (MOTA, J. P. B, Impact of gas composition on natural gas storage by adsorption. AIChE Journal, 45, 5, 986-996, 1999), utilizando o gás natural que serviu à avaliação da performance do sistema sujeito à adsorção da mistura real de hidrocarbonetos do GN (etano, propano, n-butano e n-pentano). Evidenciou-se que os componentes mais pesados que o metano tinham maiores seletividade de adsorção no leito de carvão ativado após o processo de descarga, provocando maior retenção do componente metano, predominante no GN.

Biloé et. al. (2001 – citado acima) investigaram a influência de duas diferentes condições de troca de calor externa às paredes de um cilindro de armazenamento, recorrendo ao uso de uma camisa externa. A primeira utilizava a água como fluido refrigerante e a segunda empregava ar. Nos dois casos a vazão era de 4 NL/min utilizada para cada fluido. A temperatura medida na parede interna do cilindro indicou decréscimo de 35 K e 1,5 K, para as circulações com ar e água, respectivamente. Os autores concluíram que com a circulação de água haveria uma maior estabilidade térmica no sistema adsortivo.

Yang et. al. (2005) instalaram um tubo em "U" na região central de um cilindro de armazenamento de gás natural adsorvido, representado pelo metano, com o interesse de fornecimento de calor ao sistema durante a etapa de descarga, para isso
5 aproveitaram a água de resfriamento do sistema de combustão de um veículo, alcançando uma temperatura em uma faixa de 343 K a 353 K. Como resultado dos experimentos de descarga realizados com e sem a água de aquecimento a 343 K, os autores puderam
10 concluir que a queda de temperatura, sem a água de circulação, foi de 37 K e com a água de aquecimento foi de apenas 3,2 K, obtendo uma melhor eficiência no que diz respeito à disponibilidade de metano para o sistema durante a descarga.

Lee et al. (2007) estudaram a influência da temperatura sobre
15 leitos adsorventes de carvões ativados, dos tipos RP-15 e RP-20, possuidores de altas áreas superficiais. Operaram em um cilindro de armazenamento, de capacidade de 0,5 L, com pressões de carga de aproximadamente 35 bar. Foram conduzidas operações com
20 temperaturas de 293 K, 303 K e 313 K. Como resultado, os autores obtiveram uma maior quantidade adsorvida de metano a uma menor temperatura de circulação (293K).

Problemas e Limitações do Estado da Técnica

25 Operações do processo de armazenamento de gás natural por compressão e adsorção têm sido aplicadas em sistemas instalados com leito poroso de carvão ativado em escala de laboratório e piloto.

30 Em tais sistemas, em razão da condução de operações, ocorrem problemas principalmente com valores dos seguintes parâmetros: vazão de alimentação, vazão de descarga, pressão de trabalho e números de ciclos de armazenamento sem regeneração
35 do leito. Os problemas decorrentes estão diretamente associados à temperatura alcançada no leito de armazenamento, devido às energias de adsorção e dessorção respectivamente liberada ou absorvida nas etapas de carga e descarga do sistema.

Pesquisadores destacam problemas advindos das operações cíclicas de armazenamento de gás. Chang e Talu (1996 – citado acima) observaram que o ciclo de carga de gás natural no reservatório de armazenamento para uso veicular não seria a etapa limitante da tecnologia de GNA, pois a carga poderia ser realizada em postos de abastecimento equipados com sistema de troca de calor ou sob condições de alimentação bem lenta, do tipo *overnight*, para a dissipação do calor de adsorção. O problema consistiria na descarga, devido ao impacto do calor de dessorção envolvido nesta etapa. Os autores concluíram que a operação de um sistema de GNA não é executável sob condições isotérmicas, ou seja, sob qualquer vazão de descarga real, haverá uma queda de temperatura correspondente. Para a menor vazão de descarga empregada em seus experimentos (1.0 L/min), houve uma queda de temperatura de 5 K e uma perda de capacidade adsortiva de cerca de 8%, definida como a relação entre a quantidade liberada de metano em condições reais sobre a quantidade liberada em um processo isotérmico. Para a maior vazão de descarga (15 L/min), a queda de temperatura foi 37 K e houve uma perda de capacidade de 29%.

Em resumo, variações de temperatura na carga adsortiva e na descarga dessorativa, promovem diminuições de eficiência do processo.

Vasilev et al. (2000 – citado acima) afirmaram que existe uma similaridade entre os processos de dessorção e adsorção. No primeiro processo haveria uma maior eficiência se houvesse uma fonte de calor no leito poroso, enquanto no segundo caso, no processo de adsorção, deveria haver uma retirada de calor do leito. Nesta direção, os autores se concentraram na dessorção do metano com fornecimento de calor à amostra de carvão ativado, utilizando um aquecedor elétrico posicionado no eixo da amostra contida no cilindro de armazenamento.

Tanger et al. (2003), detentores da Patente No. US 6613126 B2, propuseram metodologia para armazenamento de gás natural por adsorção em um sistema estruturado em dois tanques

envolvendo previamente a separação dos componentes do gás, de baixas massas moleculares (metano, etano) em um dos reservatórios, e no outro reservatório aqueles componentes de mais altos números de carbono (propano, butano,...). O método pleiteia a
5 solução do problema causado em sistemas adsorptivos de armazenamento de gás natural, em que os componentes de números de carbono mais elevados se condensam no interior dos poros do adsorvente, inibindo a adsorção do componente principal do gás natural.

10

No método foi proposto que os componentes mais leves fossem armazenados sob elevadas pressões, enquanto os hidrocarbonetos mais pesados estivessem submetidos a pressões mais elevadas. Os efeitos térmicos não foram considerados, bem
15 como não se destacaram os efeitos envolvidos quando da dessorção. No segundo reservatório buscou-se incrementar a adsorção dos mais pesados resfriando-se esta parte do sistema. O uso de uma fonte externa de remoção de calor distingue a proposição dos citados autores (Tanger et al., 2003) da presente reivindicação, a qual não aplica fonte externa, optando por envolver o sistema coaxial de armazenamento de gás, fazendo usos das energias de adsorção e dessorção, associadas às operações de carga e descarga de gás.

20

Assim, tanto Vasilev et al. (2000 – citado acima) quanto
25 Tanger et al. (2003), detentores da Patente No. US 6613126 B2 usam dispositivos externos nas suas soluções.

30

35

Kobayashi et al. (1994) patentearam um método segundo a proposição que indicou o tratamento de uma mistura gasosa para separação dos componentes por adsorção seletiva. O método coloca a invenção como capaz de melhorar a separação dos componentes de um gás, contando com a contribuição da dessorção preferencial de um dos componentes, favorecendo a separação dos outros
componentes que permaneceram adsorvidos. O sistema não recorreu aos efeitos associados de adsorção e dessorção, na operação realizada, sendo de conceito completamente distinto

daquele aplicado no sistema coaxial de armazenamento de gás, objeto da presente reivindicação.

5 Pupier et al. (2005 – citado acima) avaliaram os efeitos das operações cíclicas de carga e descarga de gás natural em um cilindro de armazenamento de 2 L de capacidade contendo um compósito adsorvente de carvão ativado e grafite natural expandido. Após o primeiro ciclo, os sucessivos ciclos de carga e descarga eram efetuados sem a regeneração do leito. Para as operações cíclicas
10 com gás natural, foi possível observar que os perfis transientes de pressão, temperatura e vazão alimentada eram influenciados pelo número de ciclos. A eficiência do processo de armazenamento, definida como a relação entre as disponibilidades volumétricas de gás natural no ciclo de número n e essa disponibilidade para o primeiro ciclo, também era fortemente dependente do número de
15 ciclos. Isto se deveu à adsorção preferencial e saturação do adsorvente pelos hidrocarbonetos mais pesados que o metano e também pelo dióxido de carbono, ambos presentes no gás natural.

20 Ridha et al. (2007 – citado acima) estudaram a influência da vazão de descarga, de um cilindro de armazenamento contendo carvão ativado, zeólitas ou sílica gel, com a disponibilidade volumétrica do metano para o sistema. As avaliações mostraram aumentos da vazão entre 1 L/min a 5 L/min, que promoviam uma
25 redução na disponibilidade volumétrica para o sistema numa ordem de 7,6 a 12,1 %. Adicionalmente foram avaliadas as disponibilidades volumétricas, para os gases etano e propano, para os quais houve redução de 14,98%, e 14,54%, respectivamente, para a mesma faixa de vazão. Tais reduções de disponibilidade volumétrica
30 ocorreram devido à influência da temperatura no processo de descarga. Com o aumento da taxa de descarga, os efeitos da temperatura eram mais severos, aumentando a instabilidade térmica, dificultando a liberação de gás do leito.

35 O emprego de níveis elevados de pressão, também é um problema que ocorre e faz com que o custo operacional em estações de compressão de múltiplos estágios para carregamento do gás seja grande.

Além disso, armazenamento sob a forma de GNC recorre ao uso de cilindros como reservatórios, os quais devem ser feitos de material resistente com espessura de parede compatível, requerendo um amplo espaço físico para o tanque de armazenamento.

Objetivos da Invenção

O objetivo da presente invenção é apresentar um sistema de carga e descarga de gás que não faça uso de meios acessórios, como fontes externas, que tenha uma maior estabilidade térmica numa faixa de pressão razoável, ou seja, que seja mais eficiente, e que permita novos ciclos de armazenamento sem tratamentos externos resultando num custo de operação menor quando comparado ao atual estado da técnica.

Solução

O sistema a que se refere a presente invenção considera as perdas de eficiência de armazenamento adsorativo do gás, decorrentes das elevações de temperatura na etapa de carga; e as reduções de liberação do gás, devido às diminuições de temperatura, na etapa de descarga; em consequência dos efeitos exotérmicos e endotérmicos, envolvidos respectivamente na adsorção e na dessorção. Não há utilização de meios acessórios, como por exemplo, fontes térmicas externas, aproveitando-se as energias inerentes às citadas etapas.

Como via de solução para a implementação do sistema desenvolveu-se um sistema de armazenamento que tem como princípio o aproveitamento das energias de adsorção e dessorção, liberadas ou absorvidas pelo leito adsorvente durante as etapas de carga e descarga.

Recorrendo-se a combinação energética dos efeitos de adsorção e dessorção, concebeu-se um sistema de armazenamento de gás natural por adsorção constituído de dois reservatórios

concêntricos comportando cargas iguais de carvão ativado (sistema coaxial). Através da troca de calor entre os reservatórios interno e externo do sistema com leitos de carvão ativado coaxiais, realiza-se operação de armazenamento, operando-se etapas simultâneas de
5 carga e descarga de metano. De um ciclo de operação para outro, alternam-se as etapas de carga e descarga entre os reservatórios interno e externo, respectivamente.

Vantagens

10

O sistema coaxial de armazenamento de gás quando comparado a um sistema tradicional, que é constituído por apenas um cilindro de armazenamento, mostra-se mais estável termicamente, segundo a evolução de temperatura do leito, mais
15 estável termicamente diante de todas as vazões de carga e descarga utilizadas, situadas entre 1,15 L/min a 9,09 L/min, para todas as pressões de trabalho empregadas, numa faixa de 10 bar a 60 bar.

Resultados referentes às quantidades adsorvidas, para o
20 sistema coaxial de armazenamento desenvolvido, evidenciam um acréscimo de massa adsorvida de metano de cerca de 50 % quando comparado ao sistema tradicional, nas mesmas condições de operação.

25 Das medidas comparadas de pressão, entre os sistemas com troca de calor (sistema com sistema coaxial) e tradicional, na etapa de descarga a uma vazão constante, constata-se que é possível promover a retirada de todo gás armazenado no sistema coaxial, provocada pela dessorção do gás do leito. Neste caso, a
30 regeneração natural do leito ocorre, permitindo assim novos ciclos de armazenamento sem tratamentos externos, o que reduz os custos operacionais e aumenta a eficiência do processo.

Resumindo, a presente invenção apresenta um sistema de
35 carga e descarga de gás que não faz uso de meios acessórios, como fontes externas; tem uma maior estabilidade térmica numa faixa de pressão razoável, ou seja, é mais eficiente; e permite novos ciclos de armazenamento sem tratamentos externos o que resulta em um

custo de operação menor quando comparado ao atual estado da técnica.

Descrição Detalhada

5

O sistema é um reservatório de armazenamento, isolado termicamente em sua parede externa, constituído de dois cilindros coaxiais de volumes iguais, cada um deles contendo a mesma massa de carvão ativado preenchendo todo seu volume. O importante é que o leito adsorvente do cilindro externo esteja disposto de forma anelar circundando o cilindro interno do sistema.

10

Os cilindros, quando em operação de armazenamento do gás natural, são alimentados com este gás alternadamente (interno, externo) e descarregados com o gás alternadamente (externo, interno) ao mesmo tempo, de forma a se ter as ocorrências simultâneas dos efeitos de adsorção e dessorção do gás, respectivamente, na alimentação e na descarga.

15

Compondo um ciclo, o processo de carga consiste na alimentação do gás, no cilindro interno sob uma vazão constante, até uma determinada pressão de carga, que quando alcançada, tem interrompida a vazão de alimentação. Ao mesmo tempo, o processo de descarga consiste na liberação do gás do cilindro externo sob uma vazão constante, até atingir-se a pressão manométrica adequada, por exemplo, 0,1 bar.

20

25

Neste primeiro ciclo os processos de carga e descarga são realizados simultaneamente e respectivamente nos cilindros interno e externo do sistema, de formas exotérmica e endotérmica, devido aos calores de adsorção e dessorção.

30

O sistema coaxial permite uma troca de energia através da parede não isolada do cilindro interno, promovendo-se neste uma redução da temperatura, que favorece à adsorção e o armazenamento adicional do gás, enquanto promove-se no cilindro externo uma elevação da temperatura, que favorece à dessorção do gás e sua mais completa liberação.

35

Em um segundo ciclo, a operação ocorre de forma alternada, alimentando-se o gás no cilindro externo e liberando-o do cilindro interno, onde estava armazenado. O fluxo térmico, através da
5 parede do cilindro interno, ocorre inversamente do cilindro externo para o cilindro interno.

A invenção pode ser usada para qualquer gás que faça parte da mistura de componentes do gás natural (metano, etano e
10 propano), mas outros gases sob necessidade de armazenamento e susceptíveis a adsorção sobre sólidos podem ser utilizados (gás hidrogênio, óxidos de carbono e similares).

Implementação

15

Para realizar o sistema da invenção é necessário:

- Um conjunto coaxial de cilindros (cilindro interno e cilindro
20 externo), confeccionado com qualquer metal resistente às pressões de operação, tendo o cilindro interno e o cilindro externo volumes iguais e a mesma massa de carvão ativado preenchendo seus volumes. O importante é que o leito adsorvente do cilindro externo esteja disposto de forma anelar circundando o cilindro interno do sistema;

25

- Um material isolante posicionado na parede interna do cilindro externo;

- Tubulações e conexões em metal para operações alternadas
30 de carga e descarga dos cilindros;

Para realizar medições de interesse pode-se completar o sistema da invenção com:

- Termopares medidores de temperatura, posicionados na
35 região central do leito do cilindro interno e na região anular entre os cilindros interno e externo;

- Transdutores de pressão, instalados na parte superior dos cilindros interno e externo para medidas de pressão;

5 Esses dois últimos dispositivos não são necessários para um bom funcionamento do sistema.

Descrição da Figura 1

Operação: Ciclo 1

10

Alimentação do cilindro interno (1) através da válvula de alimentação e descarga do cilindro interno (5) e difusor de gás no cilindro interno (3), com medição de aumento de pressão e temperatura pelo transdutor de pressão e indicador de temperatura (7).

15

Descarga do cilindro externo (2) pela válvula de alimentação e descarga do cilindro externo (6) e difusor de gás no cilindro externo (4), com medição de redução de pressão e temperatura pelo transdutor de pressão e indicador de temperatura (7).

20

Fluxo de calor do cilindro interno (1) para o cilindro externo (2).

Conclusão da operação: cilindro interno (1) carregado e cilindro externo (2) descarregado.

25

Operação: Ciclo 2

Alimentação do cilindro externo (2) através da válvula de alimentação e descarga do cilindro externo (6) e difusor de gás no cilindro externo (4), com medição de aumento de pressão e temperatura pelo transdutor de pressão e indicador de temperatura (7).

30

Descarga do cilindro 1 do cilindro interno (1) através da válvula de alimentação e descarga do cilindro interno (5) e difusor de gás no cilindro interno (3), com medição de redução de pressão e temperatura pelo transdutor de pressão e indicador de temperatura (7).

35

Fluxo de calor do cilindro externo (2) para o cilindro interno (1).

5 Conclusão da operação: cilindro externo (2) carregado e cilindro interno (1) descarregado.

Exemplo de construção

10 Como exemplo não limitativo de implementação da invenção, o cilindro interno foi construído em aço inoxidável 304, com estrutura compatível com o espaço interior do cilindro externo, comportando um volume útil de 500 cm^3 com altura de aproximadamente 22 cm e diâmetro interno de 4 cm.

15 O cilindro externo em aço inoxidável 304, tem volume útil de 2000 cm^3 , com altura de aproximadamente 26 cm e diâmetro interno de 10 cm.

20 O material isolante, um tubo em PVC, com altura de 26 cm e diâmetro externo de aproximadamente 10 cm é posicionado na parede interna do cilindro externo.

25 Para operações alternadas de carga e descarga dos cilindros interno e externo do sistema coaxial foram utilizadas tubulações e conexões em aço inox.

30 Dois termopares medidores de temperatura foram posicionados nas regiões centrais do leito do cilindro interno e anular, compreendida entre os cilindros interno e externo.

Medidas de pressão podem ser feitas através do transdutor de pressão instalado na parte superior dos cilindros interno e externo de armazenamento coaxial.

35 Os cilindros coaxiais, quando em operação de armazenamento do gás natural, são carregados alternadamente (interno ou externo) e descarregados alternadamente (externo, interno) simultaneamente, de forma a se ter as ocorrências dos efeitos de

adsorção e dessorção do gás, respectivamente na carga e na descarga. Proporciona-se o aproveitamento energético das energias envolvidas nos processos de adsorção e dessorção, via troca térmica através da parede do cilindro interno.

5

Otimizações operacionais do sistema de armazenamento por compressão e adsorção de gás natural, representado pelo metano, foram implementadas com o advento do sistema de armazenamento coaxial de gás natural por compressão/adsorção e descompressão/dessorção o qual operou em etapas simultâneas de carga e
10 descarga em cilindros coaxiais, recorrendo-se à troca térmica das energias envolvidas aos efeitos de adsorção e dessorção.

Medidas de temperatura, na etapa de carga, indicaram que o
15 sistema coaxial se mantém mais estável (temperatura constante) no processo de adsorção, quando comparado ao sistema tradicional de armazenamento por adsorção.

Quando comparadas, as medidas de pressão do sistema com
20 troca de calor (sistema coaxial) e do sistema tradicional, as da invenção mostram que a pressão de equilíbrio é alcançada mais rapidamente.

Resultados referentes à quantidade de gás adsorvida
25 evidenciam um acréscimo de massa adsorvida de metano de cerca de 50%, quando comparado com o sistema tradicional de armazenamento, para a pressão de 60 bar, numa vazão de 9,09 L/min.

Em se tratando da capacidade volumétrica de armazenamento,
30 constatou-se um ganho de cerca de 28 % em volume para o sistema coaxial quando comparado ao tradicional.

Evoluções da pressão no sistema coaxial com troca de calor
35 destacam a possibilidade de regeneração completa do leito de carvão ativado por dessorção de todo gás armazenado, o que diminui o custo do processo e aumenta sua eficiência.

REIVINDICAÇÕES

1. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO composto por um material isolante, tubulações, conexões, carvão ativado e dois cilindros, um interno e outro externo, caracterizado pelo leito adsorvente do dito cilindro externo ser disposto de forma anelar circundando o dito cilindro interno e pelos cilindros serem coaxiais e concêntricos.
2. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO, conforme reivindicação 1, caracterizado pelos ditos cilindros terem volumes iguais e conterem a mesma massa de carvão ativado preenchendo por completo seus volumes.
3. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO conforme reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelos ditos cilindros serem confeccionados com qualquer metal resistente às pressões de operação.
4. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO conforme reivindicação 1, 2 ou 3, caracterizado pelo material isolante ser posicionado na parede interna do cilindro externo.
5. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO conforme reivindicação 3 ou 4, caracterizado pelos ditos cilindros serem confeccionados em aço inoxidável 304.
6. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO conforme reivindicação 1, 2, 3, 4 ou 5, caracterizado pelo dito cilindro interno ter estrutura compatível com o espaço interior do cilindro externo.
7. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO conforme reivindicação 6, caracterizado pelo dito cilindro interno comportar um volume útil de 300 a 700cm³, ter altura de 18 a 22 cm e ter diâmetro interno de 2 a 6 cm.

8. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO conforme reivindicação 6 ou 7, caracterizado pelo dito cilindro externo comportar um volume útil de 1500 a 2500cm³, ter altura de 20 a 32 cm e ter diâmetro interno de 4 a 16 cm.
- 5
9. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO conforme reivindicação 4, 5, 6, 7 ou 8 caracterizado pelo material isolante ter altura de 20 a 32 cm e ter diâmetro externo de 5 a 15 cm.
- 10
10. SISTEMA COAXIAL DE ARMAZENAMENTO DE GÁS POR COMPRESSÃO E ADSORÇÃO conforme reivindicações 4, 5, 6, 7, 8 e 9 caracterizado pelo cilindro interno ter volume útil de 500 cm³, altura de 22 cm e diâmetro interno de 4 cm; pelo cilindro externo ter volume útil de 2000 cm³, altura de 26 cm e diâmetro interno de 10 cm; e pelo material isolante ter altura de 26 cm e diâmetro externo de 10 cm.
- 15

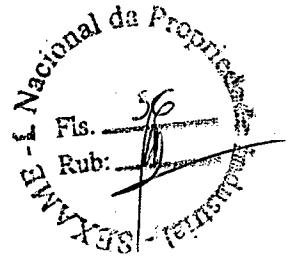


Figura 1

