



INPI
INSTITUTO
NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0606820-0

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0606820-0

(22) Data do Depósito: 24/02/2006

(43) Data da Publicação Nacional: 01/12/2009

(51) Classificação Internacional: F25J 3/02; B01D 45/16; B01D 53/24; B01D 53/00; F25B 9/04.

(30) Prioridade Unionista: EP 05101420.7 de 24/02/2005.

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA ESFRIAR UMA CORRENTE DE GÁS NATURAL E SEPARAR A CORRENTE DE GÁS ESFRIADA EM VÁRIAS FRAÇÕES TENDO DIFERENTES PONTOS DE EBULIÇÃO

(73) Titular: TWISTER B. V, Companhia Holandesa. Endereço: Einsteinlaan 10, 2289 CC Rijswijk, HOLANDA(NL)

(72) Inventor: MARCO BETTING; JACOB MICHIEL BROUWER; PASCAL VAN ECK; CORNELIS ANTONIE TJEENK WILLINK.

(87) Publicação PCT: WO 2006/089948 de 31/08/2006

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 19/11/2019, observadas as condições legais

Expedida em: 19/11/2019

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

“MÉTODO E SISTEMA PARA ESFRIAR UMA CORRENTE DE GÁS NATURAL E SEPARAR A CORRENTE DE GÁS ESFRIADA EM VÁRIAS FRAÇÕES TENDO DIFERENTES PONTOS DE EBULIÇÃO”

[0001] A invenção diz respeito a um método e sistema para esfriar uma corrente de gases naturais e separar a corrente de gases esfriados em várias frações, tais como metano, etano, propano, butano e condensados.

[0002] Na indústria de óleo e gás, o gás natural é produzido, processado e transportado até seus usuários finais.

[0003] O processamento de gás pode incluir a liquefação de parte da corrente de gás natural. Se uma corrente de gás natural for liquefeita, então uma faixa dos assim chamados Gás Natural Líquidos (NGL's) é obtida, compreendendo Gás Natural Liquefeito ou LNG (o qual predominantemente compreende metano ou C_1 ou CH_4 , Etano C_2 , Gás de Petróleo Liquefeito ou LPG (o qual predominantemente compreende propano e butano ou C_3 e C_4) e Condensado (que predominantemente compreende frações de C_5+).

[0004] Se o gás for produzido e transportado para compradores regionais através de uma canalização (rede), o valor do aquecimento do gás é limitado às especificações. Para as correntes de gás mais ricas, isto requer o processamento de corrente central para recuperar os líquidos de C_{2+} , os quais são vendidos como produtos residuais.

[0005] Se a produção regional do gás excede em peso o consumo de gás regional, as redes caras de transmissão de gás não podem ser justificadas, tendo em vista que o gás pode ser liquefeito em LNH, o qual pode ser embarcado como massa. Na produção dos líquidos C_1 , os líquidos C_2 são produzidos concomitantemente e vendidos como subprodutos.

[0006] As usinas de recuperação de NGL tradicionais baseiam-se nos processos de resfriamento criogênicos a fim de condensar as extremidades leves na correntes de gases. Estes processos de resfriamento compreendem: Refrigeração Mecânica (MR), Expansão de Joule Thomson (JT) e Turbo

expansores (TE), ou uma combinação (por exemplo, MR-JT). Estes processos de recuperação de NGL foram otimizados durante décadas em relação à atividade de compressão específica (isto é, Peso Molecular/ tonelada de NGL/hora). Estas otimizações freqüentemente incluem: 1) troca de intensidade do calor entre diferentes correntes do processo, 2) diferentes bandejas de alimentação na coluna de fracionamento e 3) retificação do óleo pobre (isto é, refluxo da coluna).

[0007] A mais sensível à atividade específica de compressão é a real pressão de operação da coluna de fracionamento. Quanto mais elevada a pressão de operação, menor a atividade específica de compressão, mas também menor a volatilidade relativa entre os componentes de fracionamento (por exemplo, $C_1 - C_{2+}$ para um desmetanizador, $C_{2-} - C_{3+}$ para um desetanizador, etc.), o que resulta em mais bandejas, daí maior coluna e/ou menos pureza na corrente suspensa.

[0008] A Patente Européia 0182643 e as Patentes U.S. 4.061.481; 4.140.504; 4.157.904; 4.171.964 e 4.278.457 emitidas para Ortloff Corporation apresenta vários métodos para processar correntes de gás natural em que a corrente gasosa é esfriada e separada em várias frações, tais como metano, etano, propano, butano e condensados.

[0009] A desvantagem dos métodos de resfriamento e de separação conhecidos é que eles compreendem massa e dispositivos caros de resfriamento e de refrigeração, os quais têm um alto consumo de energia. Estes métodos conhecidos baseiam-se ou nos métodos de esfriamento isentálpicos (isto é, o esfriamento de Joule Thomson, a refrigeração mecânica) ou os métodos de esfriamento isentrópicos (isto é, dispositivos turbo-expansores ciclônicos de expansão e separação). Os métodos quase isentrópicos são os mais eficientes quanto à energia, embora normalmente os mais dispendiosos quando os turbo-expansores são usados. Entretanto, os dispositivos ciclônicos de expansão e separação são mais interessantes quanto

ao custo, ao mesmo tempo em que mantêm uma alta eficiência de energia, se bem que menos eficiente do que um dispositivo turbo-expansor. Com o uso de dispositivos ciclônicos de expansão e separação eficazes quanto ao custo, em combinação com um ciclo de resfriamento isentálpico (por exemplo o ciclo de refrigeração externa), pode-se restaurar a eficiência máxima de energia obtível.

[00010] É, portanto, um objeto da presente invenção prover um método e sistema para esfriar e separar uma corrente de gás natural, que seja mais eficaz quanto à energia, menos volumoso e mais barato do que os métodos conhecidos.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[00011] Em conformidade com a invenção, é fornecido um método para esfriar uma corrente de gás natural e separar a corrente de gás esfriada em várias frações tendo diferentes pontos de ebulição, tais como metano, etano, propano, butano e condensados, o método compreendendo:

- esfriar a corrente de gás em uma montagem de trocador de calor;
- separar a corrente de gás esfriada em um tanque de separação de entrada em uma fração de fluido enriquecida de metano e uma fração de fluido exaurida de metano;
- alimentar a fração de fluido exaurida de metano do tanque de separação de entrada a uma coluna de fracionamento em que uma fração de fluido rica em metano seja separada de uma fração de fluido pobre em metano;
- alimentar parte da fração de fluido enriquecida com metano do tanque de separação de entrada a um dispositivo ciclônico de expansão e separação em que a referida fração de fluido é expandida e por esse meio ainda esfriada e separada em uma fração de fluido substancialmente gasosa rica em metano e uma fração de fluido substancialmente líquido

exaurida de metano, e

- alimentar a fração de fluido exaurida de metano do dispositivo ciclônico de expansão e separação à coluna de fracionamento para outra separação,

- em que o dispositivo ciclônico de expansão e separação compreende:

- a) uma montagem de palhetas que conferem redemoinho para proporcionar um movimento de turbilhonamento sobre a fração de fluido enriquecido com metano, cujas palhetas são dispostas a montante de um bocal em que a fração de fluido enriquecida com metano é acelerada e expandida, por este meio ainda esfriada, de tal modo que as forças centrífugas separam a corrente de fluido em turbilhonamento em uma fração de fluido rica em metano e uma fração de fluido exaurida de metano, ou

- b) uma válvula de estrangulamento, tendo uma seção de saída que é dotada com um dispositivo para conferir redemoinho, que proporciona um movimento de turbilhonamento à corrente de fluido que flui através do canal de saída do fluido, desse modo induzindo as gotículas líquidas para o redemoinho em direção à periferia externa do canal de saída do fluido e para coalescerem.

[00012] Preferivelmente a corrente de gás natural é esfriada em uma montagem de trocadores de calor compreendendo um primeiro trocador de calor e um refrigerador, de tal modo que a fração de fluido enriquecida com metano fornecida a uma entrada do dispositivo ciclônico de expansão e separação tenha uma temperatura entre -20 e -60 graus Celsius, e a fração rica em metano esfriada pelo dispositivo ciclônico de expansão e separação seja induzido a passar através do primeiro trocador de calor para esfriar a corrente gasosa.

[00013] É igualmente preferível que a montagem de trocadores de calor ainda compreenda um segundo trocador de calor em que a corrente de gás natural esfriada descarregada pelo primeiro trocador de calor seja ainda

esfriada antes de se alimentar a corrente de gás natural ao refrigerador, e que o fluido frio de uma seção de fundo da coluna de fracionamento seja fornecido ao segundo trocador de calor para esfriar a corrente de gás natural dentro do segundo trocador de calor.

[00014] É além disso preferível seja usado um dispositivo ciclônico de expansão e separação que seja fabricado pela companhia Twister B.V. e vendido sob a marca comercial de “Twister”. Várias modalidades deste dispositivo ciclônico de expansão e separação são apresentadas no pedido de patente internacional WO 03029739, na patente européia 1017465 e nas Patentes U.S. 6.524.368 e 6.776.825. O resfriamento dentro do aparelho do dispositivo ciclônico de expansão e separação pode ser estabelecido pela aceleração da corrente de alimentação dentro do bocal até uma velocidade transônica ou supersônica. Na condição transônica ou na supersônica, a pressão cairá tipicamente para um fator de 1/3 da pressão de alimentação, enquanto a temperatura cairá tipicamente para um fator de 3/4 em relação à temperatura de alimentação. A relação da queda T por queda P unitária para uma dada composição de alimentação é determinada com a eficiência isentrópica da expansão, a qual deve ser na faixa de 80% a 100%. A eficiência isentrópica expressa as perdas de fricção e de calor que ocorrem dentro do dispositivo ciclônico de expansão e separação.

[00015] Estas e outras modalidades, aspectos e vantagens do método e sistema de acordo com a invenção são apresentadas nos desenhos anexos e são descritas nas reivindicações que acompanham esta relatório, no resumo e na seguinte descrição detalhada das formas de realização preferidas do método e sistema de acordo com a invenção, em que referência é feita aos desenhos anexos.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[00016] A Figura 1 é um esquema de fluxo de um método e sistema para esfriar e fracionar uma corrente de gás natural de acordo com a invenção.

[00017] A Figura 2A representa uma vista em corte longitudinal de um dispositivo ciclônico de expansão e separação fornecido por uma válvula de estrangulamento JT, que é equipada com dispositivo de redemoinho de fluido.

[00018] A Figura 2B representa, em uma escala ampliada, uma vista em seção transversal do canal de saída da válvula de estrangulamento da Figura 1.

[00019] A Figura 2C ilustra o movimento de redemoinho da corrente defluída no canal de saída da válvula de estrangulamento das Figuras 2A e 2B.

[00020] A Figura 2D ilustra a concentração de gotículas líquidas na periferia externa do canal de saída da válvula de estrangulamento das Figuras 2A e 2B.

DESCRIÇÃO DETALHADA DE UMA FORMA DE REALIZAÇÃO PREFERIDA

[00021] A Figura 1 ilustra um esquema de fluxo de um método e sistema de acordo com a invenção, para esfriar e fracionar uma corrente de gás natural.

[00022] Uma corrente de gás natural C_xH_y é comprimida de cerca de 60 bar a mais do que 100 bar em um compressor de alimentação 20 e inicialmente esfriado em um refrigerador a ar 21, de tal modo que a corrente de gás natural tenha uma pressão de cerca de 100 bar quando ela entrar em um primeiro trocador de calor entre gases 1. A corrente de gás natural é subsequentemente esfriada em um segundo trocador de calor 2 e, depois disso, em um refrigerador 3. A corrente de gás natural esfriada descarregada pelo segundo trocador de calor 2 é separada em um separador de entrada 4 em uma fração enriquecida com metano 5 e uma fração exaurida de metano 6.

[00023] A fração exaurida de metano 6 é alimentada a uma coluna de fracionamento 7, enquanto a fração 5 enriquecida com metano é alimentada a um dispositivo ciclônico 8 de expansão e separação.

[00024] O dispositivo ciclônico de expansão e separação 8 compreende as palhetas que conferem redemoinho 9, um bocal 10 no qual a mistura do fluido em turbilhonamento é acelerada a uma velocidade transônica ou supersônica, uma saída 11 de fluido primário central para descarregar uma fração de fluido rica em metano CH_4 do separador 8, e uma saída externa do fluido secundário para descarregar uma fração de fluido secundário enriquecida de condensáveis e pobre em metano em um conduto 13. A fração de fluidos secundária é alimentada através do conduto 13 à coluna de fracionamento 7.

[00025] O primeiro trocador de calor 1 é um trocador de calor entre gases em que a corrente de gás natural CH_4 é esfriada com a corrente de gás pobre CH_4 descarregada da saída primária central 11 do dispositivo ciclônico de expansão e separação 8. A corrente de alimentação pré-esfriada pelo primeiro trocador de calor 1 é ainda esfriada no segundo trocador de calor 2, o qual pode ser um trocador de calor entre gás e líquido que é esfriado alimentando-o com líquidos de uma ou mais das bandejas de fundo da coluna de fracionamento 7 como ilustrado pelas flechas 14 e 15. A corrente de alimentação de gás natural pré-esfriada é então superesfriada no refrigerador 3, a qual é conduzida por uma máquina de resfriamento (ou um refrigerador mecânico ou máquina de resfriamento por absorção).

[00026] Os líquidos formados durante este caminho de pré-resfriamento de 3 estágios são separados de uma fração ainda gasosa de metano no separador de entrada 4, e alimentados a uma das bandejas inferiores na coluna de fracionamento 7, uma vez que ela contém todas as extremidades pesadas presentes na alimentação (isto é, C_4+).

[00027] O gás, vindo através do topo do referido separador de entrada, é pobre com respeito aos hidrocarbonetos mais pesados (por exemplo contém a maioria das vezes C_4-). A extração profunda de NGL (por exemplo $\text{C}_2 - \text{C}_4$) é feita no dispositivo ciclônico de expansão e separação 8, em que o gás é

expandido quase isentropicamente. Dentro o dispositivo ciclônico de expansão e separação 8, a temperatura cai ainda a condições criogênicas em que quase todos os componentes C_{2+} são liquefeitos e separados. Com a separação criogênica dentro do dispositivo ciclônico de expansão e separação 8 o gás C_1 desliza junto com os líquidos C_{2+} . Uma certa fração molar de C_1 se dissolverá nos líquidos de C_{2+} . Esta corrente rica em C_{2+} é alimentada à coluna 7 de fracionamento, em que um corte rápido entre as extremidades leve e pesada é estabelecido, por exemplo $C_1 - C_{2+}$ (desmetanizador), $C_{2-} - C_{3+}$ (desetanizador) etc.

[00028] A fim de estabelecer um produto superior puro da coluna 7 de fracionamento, um refluxo de líquido pobre é criado para absorver o componente mais leve que devia deixar o fundo da coluna (por exemplo, C_{21} quanto a um desmetanizador). Referida corrente de refluxo é criada tomando-se uma corrente lateral 16 da alimentação do dispositivo ciclônico de expansão e separação 8, enquanto subsequente se esfria esta corrente lateral em um pré-refrigerador 17 entre gases com a corrente de gás suspensa 18 (isto é, o produto superior CH_4) da coluna 7 de fracionamento e isentalpicamente expandindo-se a corrente lateral pré-esfriada 16 para a pressão da coluna. Durante esta expansão isentálpica quase todos os hidrocarbonetos se liquefazem e são alimentados como refluxo à bandeja de topo da coluna 7 de fracionamento. Os fluxos de gás C_1 produzidos do: 1) dispositivo ciclônico de expansão e separação 8 da saída 11 de fluido primário (tipicamente 80% do fluxo primário) e 2) conduto 18 de saída do topo da coluna 7 de fracionamento (tipicamente 20% do fluxo secundário), são comprimidos separadamente nos compressores de exportação 19 e 20 até uma pressão de exportação de cerca de 60 bar. No exemplo apresentado, a pressão de exportação é aproximadamente igual à pressão de alimentação da corrente de gás natural CH_4 na entrada do primeiro trocador de calor 1. Ambos os compressores de exportação 19 e 20, portanto, compensam as perdas de

fricção e de calor que ocorrem no dispositivo ciclônico de expansão e separação 8. Estas perdas são mais elevadas se o dispositivo ciclônico de expansão e separação 8 for mais profundo, e conseqüentemente as atividades do compressor de exportação são proporcionalmente mais elevadas. A atividade mecânica do refrigerador 3 é principalmente proporcional à diferença entre a alta temperatura do condensador (T_{cond}) e a baixa temperatura do evaporador (T_{evap}). Se T_0 denotar a temperatura ambiente, então $T_{\text{cond}} > T_0 > T_{\text{evap}}$. Em geral, isto leva à expressão da eficiência de Carnot ou à atividade teórica máxima de esfriamento por atividade mecânica unitária do refrigerador 3:

$$C.O.P._{\text{Carnot}} = \frac{Q_{\text{esfriamento}}}{W_{\text{refrig}}} = \frac{T_{\text{evap}}}{T_{\text{cond}} - T_{\text{evap}}}$$

[00029] Quanto a um ciclo do refrigerador de propano com $T_{\text{evap}} = -30$ °C e $T_{\text{cond}} = 40$ °C, o C.O.P de Carnot é igual a 3,5. Em uma máquina de resfriamento real, as perdas diminuirão o C.O.P., de tal modo que: $C.O.P._{\text{real}} \approx 2,5$. Assim, para cada atividade de MW do compressor, a atividade de resfriamento de 2,5 MW pode ser obtida.

[00030] Para uma corrente de alimentação de 10 kg/s e um calor específico de 2,5 kJ/kg.K, um resfriamento de um grau requer uma atividade de resfriamento de 25 kW/K. Conseqüentemente, um resfriamento de -20 °C → -30 °C deve requerer uma atividade de resfriamento de 250 kW. Para uma temperatura do evaporador de -30 °C, isto corresponde a uma atividade mecânica do refrigerador de 100 kW. Se referido resfriamento adicional de 10 °C deva ser estabelecido através de uma expansão extra em um dispositivo ciclônico de expansão e separação, a relação de expansão ($P/P_{\text{alimentação}}$) necessita ser reduzida do valor padrão de 0,3 → 0,25 (isto é, expansão mais profunda). Isto resulta em uma perda de pressão maior através do dispositivo ciclônico de expansão e separação 8, conseqüentemente uma atividade

adicional do compressor de exportação de aproximadamente 200 kW.

[00031] Se a temperatura do evaporador do refrigerador 3 for escolhida na faixa criogênica, comparável às temperaturas de refluxo de NGL, isto é $T_{\text{evap}} = -70\text{ }^{\circ}\text{C}$, o C.O.P._{real} das quedas da máquina de resfriamento para $\approx 1,3$. Como consequência, um resfriamento de $-60\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow -70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ainda requer atividade de resfriamento de 250 kW, embora isto corresponda a uma atividade mecânica do refrigerador de 192 kW. Se este resfriamento adicional puder ser obtido no dispositivo ciclônico de expansão e separação 8, então a relação de expansão ainda decresce de $0,3 \rightarrow 0,25$, embora a atividade extra do compressor requerida seja reduzida de 200 kW para 170 kW. Isto é principalmente explicado pelo fato de que a atividade de qualquer compressor é menor na temperatura de sucção inferior, daí também a atividade adicional.

[00032] Concluindo do acima: Para a trajetória de temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ é mais eficiente obter resfriamento adicional do refrigerador 3 do que de uma expansão mais profunda no dispositivo ciclônico de expansão e separação 8. As retenções opostas para a trajetória de temperatura de $-60\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow -70\text{ }^{\circ}\text{C}$ como COP da máquina de resfriamento do refrigerador 3 caem progressivamente com as temperaturas inferiores, requerendo mais atividade do refrigerador. Como consequência, para o dispositivo ciclônico de expansão e separação 8-ciclo do refrigerador 3, 8 combinados, um ótimo pode ser encontrado para a atividade de esfriamento por atividade mecânica unitária fazendo-se uma divisão distinta das atividades mecânicas entre 1) o compressor de alimentação, e 2) o compressor da máquina de esfriamento do refrigerador 3.

[00033] O resfriamento dentro do dispositivo ciclônico de expansão e separação 8 pode ser estabelecido mediante aceleração da corrente de alimentação dentro do bocal 10 até velocidade transônica ou supersônica. Na condição transônica ou supersônica a pressão caiu até tipicamente um fator de $1/3$ da pressão de alimentação, enquanto a temperatura caiu tipicamente a um

fator de $3/4$ em relação à temperatura de alimentação. A relação da queda T por queda P unitária para uma dada composição de alimentação é determinada com a eficiência isentrópica da expansão, a qual deve ser de $\geq 80\%$. A eficiência isentrópica expressa as perdas de fricção e de calor ocorrentes dentro do dispositivo ciclônico de expansão e separação.

[00034] No estado expandido dentro do dispositivo ciclônico de expansão e separação 8, a maioria dos componentes C_{2+} é liquefeita em uma dispersão de gotículas finas e separadas através da saída 12 do fluido secundário externo. A relação de expansão ($P/P_{\text{alimentação}}$) é escolhida de tal modo que a recuperação de C_xH_y especificada seja condensada no líquido dentro do bocal 10. Além do bocal 10 em que a corrente do fluido é acelerada e por esse meio expandida e esfriada, o fluxo dentro do dispositivo ciclônico de expansão e separação 8 é dividido em um fluxo líquido de C_{2+} enriquecido (aproximadamente 20% em massa) e um fluxo de C_1 pobre (aproximadamente 80% em massa).

[00035] O fluxo principal de C_1 é desacelerado em um difusor dentro da saída 11 do fluido central, resultando em um aumento da pressão e da temperatura. O aumento de P e o aumento de T acompanhado no difusor é determinado tanto com a eficiência isentrópica da expansão quanto com a eficiência isentrópica da recompressão. A eficiência isentrópica da expansão determina a energia cinética remanescente na entrada do difusor, ao passo que a eficiência isentrópica da recompressão é determinada com as perdas dentro da modalidade do difusor. A eficiência isentrópica da recompressão para o dispositivo ciclônico de expansão e separação é de aproximadamente 85%. A pressão de saída resultante do fluxo principal de C_1 é, portanto, menor do que a pressão de alimentação, conquanto maior do que a pressão de saída do fluxo úmido de C_{2+} , o que é igual à pressão de operação da coluna de fracionamento.

[00036] Como resultado da recompressão, a temperatura do fluxo

principal de C_1 é mais elevada do que a temperatura em cima da coluna de fracionamento. Conseqüentemente, a atividade potencial deste fluxo principal de C_1 para pré-esfriar a alimentação é limitada. Esta última é uma limitação inerente de um dispositivo ciclônico de expansão e separação supersônico. A eficiência inerente do dispositivo ciclônico de expansão e separação é que ela produz um fluxo úmido de C_{2+} superesfriado concentrado alimentando a coluna de fracionamento. Tanto o índice de fluxo reduzido alimentando a coluna de fracionamento quanto a temperatura relativamente baixa possibilita o processo de separação na coluna. Para um esquema de LPG compreendendo um dispositivo ciclônico de expansão e separação, a otimização da recuperação de C_{2+} é encontrada em se criar uma expansão mais profunda no dispositivo ciclônico de expansão e separação (isto é, decréscimo da relação de $P/P_{\text{alimentação}}$) e/ou na redução do fluxo de gás deslizante que vem junto com o fluxo úmido de C_{2+} . Ambas as medidas resultarão em um aumento da perda de pressão, que necessita ser comprimida até a pressão de exportação.

[00037] É preferível que das simulações termodinâmicas, um ótimo para o rendimento de C_{2+} /atividade do compressor de MW, seja avaliado para uma certa atividade do compressor de refrigeração versus a atividade do compressor de exportação para compensar quanto à perda de pressão no dispositivo ciclônico de expansão e separação. Referido ciclo combinado compensa quanto à deficiência do pré-resfriamento limitado. O evaporador do ciclo de refrigeração pode ser conectado à entrada do dispositivo ciclônico de expansão e separação 8 de acordo com o superesfriamento da corrente de alimentação.

[00038] As Figuras 2A a 2D apresentam uma Joule Thomson (JT) ou outra válvula de estrangulamento, que é equipada com dispositivo de redemoinhar fluidos que pode ser usado como uma alternativa para o dispositivo ciclônico de expansão e separação 8 apresentado na Figura 1.

[00039] A válvula de estrangulamento de JT mostrada na Figura 2A

a2D tem uma geometria de válvula que intensifica o processo de coalescência das gotículas formadas durante a expansão ao longo do trajeto do fluxo de uma Joule Thomson ou outra válvula de estrangulamento. Estas gotículas maiores são mais bem separáveis do que deve ser o caso com as válvulas tradicionais de Joule Thomson ou outras de estrangulamento. Quanto às colunas de bandeja, isto reduz arrastamento do líquido para as bandejas superiores e, daí, melhora a eficiência das bandejas.

[00040] A válvula mostrada na Figura 2A compreende um alojamento de válvula 21, no qual um corpo 22 de válvula tipo pistão e a luva 23 perfurada associada são deslizavelmente dispostas, de tal modo que, pela rotação de uma roda dentada 24 em um eixo de válvula 25, uma haste de pistão denteada 26 empurra o corpo de válvula tipo pistão para cima e para baixo dentro de um canal 27 de saída do fluido como ilustrado pela flecha 28. A válvula tem um canal 29 de entrada de fluido que tem uma seção 29A anular a jusante, que pode circundar o pistão 22 e/ou a luva perfurada 23, e o fluxo do fluido que é permitido fluir do canal 29 de entrada do fluido para o canal 27 de saída do fluido é controlado pela posição axial do corpo 22 de válvula tipo pistão e da luva 23 perfurada associada. A luva 23 perfurada compreende perfurações não radiais inclinadas 30 que induzem o fluido a fluir em um movimento de turbilhonamento dentro do canal 27 de saída do fluido como ilustrado pela flecha 34. Um corpo guia 35 de turbilhonamento conformado em bala é fixado ao corpo 22 de válvula do tipo pistão e disposto co-axialmente a um eixo central 31 dentro do interior da luva perfurada 23 e do canal 27 de saída do fluido para intensificar e controlar o movimento de turbilhonamento 34 da corrente de fluido no canal 27 de saída.

[00041] O canal 27 de saída do fluido compreende um divisor de fluxo tubular 39 que separa um conduto 11 de saída do fluido primário para transportar uma fração enriquecida com metano de volta ao primeiro trocador de calor 1 mostrado na Figura 1, de uma saída 40 anular de fluido secundário

para transportar uma fração exaurida de metano através do conduto 13 para a coluna 7 de fracionamento mostrada na Figura 1.

[00042] A Figura 2B ilustra, em mais detalhes, que as perfurações 30 inclinadas ou não radiais são cilíndricas e furadas em uma orientação parcialmente tangencial selecionada em relação ao eixo central 31 do canal 27 de saída de fluido, de tal modo que o eixo longitudinal 32 de cada uma das perfurações 30 atravesse o eixo central 31 em uma distância D , a qual esteja entre 0,2 e 1, preferivelmente entre 0,5 e 0,99, vezes o raio interno R da luva 23.

[00043] Na Figura 2B, a espessura nominal do material da luva 23 perfurada é denotado por t e a largura das perfurações cilíndricas 30 é denotada por d . Em uma modalidade alternativa da válvula de acordo com a invenção, as perfurações 30 podem ser não cilíndricas, tal como quadradas, retangulares ou na forma de estrela, e em tal caso a largura d das perfurações 30 é uma largura média definida como quatro vezes a área da seção transversal da perfuração 30, divididos pelo perímetro da perfuração 30. É preferível que a relação d/t se situe entre 0,1 e 2, e mais preferível entre 0,5 e 1.

[00044] As perfurações inclinadas 30 criam um fluxo em redemoinho na corrente de fluido que escoar através do canal 27 de saída do fluido como ilustrado pela flecha 34. O movimento de redemoinho pode também ser imposto por uma geometria específica do equilíbrio da válvula e/ou corpo 35 de orientação do redemoinho. Na válvula de acordo com a invenção, a pressão livre disponível é usada para expansão isentálpica para criar um fluxo em redemoinho na corrente de fluido. A energia cinética é então principalmente dissipada através do amortecimento do redemoinho ao longo de um comprimento de tubo prolongado a jusante da válvula.

[00045] As Figuras 2C e 2D ilustram que a vantagem de se criar um fluxo em redemoinho no canal de saída da válvula é dupla:

[00046] 1. Padrão regular de velocidade → menos cisalhamento interfacial → menos separação das gotículas → gotas maiores

[00047] 2. Concentração das gotículas na circunferência externa 27A da área de fluxo do canal 27 de saída do fluido → grande densidade numérica → coalescência melhorada → gotas maiores 38.

[00048] Embora qualquer Joule Thomson ou outra válvula de mistura e/ou do tipo de estrangulamento possam ser usadas para criar um fluxo de redemoinho no dispositivo ciclônico de expansão e separação no método de acordo com a invenção, é preferível usar uma válvula de estrangulamento do tipo de mistura conforme fornecida por Mokveld Valves B.V. e apresentada no seu pedido de patente internacional WO 2004/083691.

[00049] Será entendido que cada método de esfriamento e de separação aplicado nos sistemas de recuperação de NGL, tem seu ótimo distintivo com respeito à eficiência de energia. Observa-se também que os métodos de esfriamento quase isentrópicos são mais eficientes quanto à energia do que os métodos isentálpicos e que, dos métodos de esfriamento isentrópicos, os dispositivos de expansão ciclônica são mais interessantes quanto ao custo do que as máquinas turboexpansoras, se bem que menos interessantes quanto à energia.

[00050] Em conformidade com a invenção, foi surpreendentemente descoberto que a combinação de um ciclo de esfriamento isentálpico (tal como um refrigerador mecânico) com um método de esfriamento quase isentrópico, preferivelmente os dispositivos ciclônicos de expansão e separação, produzem uma sinergia em relação à eficiência de energia, isto é, atividade total por NGL de volume unitário produzido. Deve ficar entendido que os dispositivo ciclônico de expansão e separação diferentes produzem diferentes eficiências isentrópicas.

[00051] Uma montagem de bocal preferida do dispositivo ciclônico de expansão e separação de acordo com a invenção compreende uma montagem

de palhetas que conferem redemoinho dispostas a montante do bocal, e produz uma eficiência isentrópica de expansão $\geq 80\%$, enquanto outros dispositivo ciclônico de expansão e separação com uma seção de entrada tangencial e usando um fluxo de turbilhão de contra-corrente (por exemplo, tubos de turbilhão de Ranque Hilsch) tendo uma substancial eficiência isentrópica mais baixa de expansão $< 60\%$.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para esfriar uma corrente de gás natural e separar a corrente de gás esfriada em várias frações tendo diferentes pontos de ebulição, tais como metano, etano, propano, butano e condensados, compreendendo:

- esfriar a corrente de gás em uma montagem de trocador de calor (1, 2, 3);

- separar a corrente de gás esfriada em um tanque de separação de entrada (4), em uma fração de fluido enriquecida com metano (5) e uma fração de fluido exaurida de metano (6);

- alimentar a fração de fluido exaurida de metano (6) do tanque de separação de entrada (4), a uma coluna de fracionamento (7) em que uma fração de fluido rica em metano seja separada da fração de fluido pobre em metano;

caracterizado pelo fato de compreender ainda:

- alimentar parte da fração de fluido enriquecido com metano (5) do tanque de separação de entrada (4), a um dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) em que a fração de fluido seja expandida e dessa forma ainda esfriada e separada em uma fração de fluido gasoso rica em metano (11) e uma fração de fluido líquida exaurida de metano (13); e,

- alimentar a fração de fluido exaurida de metano (13) do dispositivo ciclônico de expansão e separação (8), à coluna de fracionamento (7) para outra separação,

- em que o dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) compreende:

- a) uma montagem de palhetas (9) que conferem redemoinho para impor um movimento de redemoinho sobre a fração de fluido enriquecido de metano (5), cujas palhetas (9) são dispostas a montante de um bocal (10) em que a fração de fluido enriquecido de metano (5) é acelerada e expandida e dessa forma ainda esfriada, de tal modo que as forças centrífugas

separam a corrente de fluido em redemoinho em uma fração de fluido rico em metano (11) e uma fração de fluido exaurido de metano (13), ou

b) uma válvula de estrangulamento, tendo uma seção de saída que é dotada com um dispositivo que confere redemoinho (23) que impõe um movimento de redemoinho à corrente de fluido que escoar através do canal de saída de fluido (27), dessa modo induzindo as gotículas líquidas a redemoinhar em direção à periferia externa do canal de saída de fluido (27) e a coalescerem.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a corrente de gás natural é esfriada em uma montagem de trocador de calor (1, 2, 3) compreendendo um primeiro trocador de calor (1) e um refrigerador (3), de tal modo que a fração de fluido enriquecida de metano (5) fornecida a uma entrada do dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) tenha uma temperatura entre -20 e -60 graus Celsius, e em que a fração esfriada rica em metano (11) descarregada pelo dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) é induzida a passar através do primeiro trocador de calor (1) para esfriar a corrente de gás.

3. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a montagem do trocador de calor (1, 2, 3) ainda compreende um segundo trocador de calor (2) em que a corrente de gás natural esfriada descarregada pelo primeiro trocador de calor (1), é ainda esfriada antes de alimentar a corrente de gás natural ao refrigerador (3), e em que o fluido frio de uma seção de fundo da coluna de fracionamento (7), é fornecido ao segundo trocador de calor (2) para esfriar a corrente de gás natural dentro do segundo trocador de calor (2).

4. Sistema para esfriar uma corrente de gás natural e separar a corrente de gás esfriada em várias frações tendo diferentes pontos de ebulição, tais como metano, etano, propano, butano e condensados, compreendendo:

- uma montagem de trocador de calor (1, 2, 3) para esfriar a

corrente de gás natural;

- um tanque de separação de entrada (4) para separar a corrente de gás natural esfriada tendo uma saída superior para descarregar uma fração de fluido enriquecido de metano (5) e uma saída inferior para descarregar uma fração de fluido exaurido de metano (6);

- uma coluna de fracionamento (7) que é conectada à saída inferior do tanque de separação de entrada (4), em cuja coluna (7) uma parte da fração exaurida de metano (6) descarregada da saída inferior do tanque de separação de entrada (4) é ainda separada em uma fração de fluido gasoso rica em metano e uma fração de fluido líquido pobre em metano,

caracterizado pelo fato de compreender ainda:

- um dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) que é conectado à saída superior do tanque de separação de entrada (4), em cujo dispositivo (8) a fração de fluido enriquecido de metano (5) é expandida e desse modo ainda esfriada e separada em uma fração de fluido rica em metano (11) e uma fração de fluido exaurida de metano (13), e

- um conduto de fornecimento para alimentar a fração de fluido exaurida de metano (13) do dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) à coluna de fracionamento (7) para outra separação,

- em que o dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) compreende:

- a) uma montagem de palhetas (9) que conferem redemoinho para impor um movimento de redemoinho sobre a fração de fluido enriquecida de metano (5), palhetas (9) estas que são dispostas a montante de um bocal (10) em que a fração de fluido enriquecida de metano (5) é acelerada e expandida e dessa forma ainda esfriada, de tal modo que forças centrífugas separem a corrente de fluido em redemoinho em uma fração de fluido rica em metano (11) e uma fração de fluido exaurida de metano (13),
ou

b) uma válvula de estrangulamento tendo uma seção de saída, que é dotada de dispositivo que confere redemoinho (23) que impõe um movimento de redemoinho à corrente de fluido que flui através do canal de saída de fluido (27), por esse meio induzindo as gotículas líquidas a redemoinhar em direção à periferia externa do canal de saída de fluido (27), e a coalescer.

5. Sistema de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) é uma válvula de estrangulamento compreendendo um alojamento (21), um corpo de válvula (22) que é disposto de forma móvel no alojamento (21), de modo tal que o corpo de válvula (22) controle o fluxo de fluido de um canal de entrada de fluido (29) para o canal de saída de fluido (27) da válvula, compreendendo uma luva perfurada (23) através da qual o fluido escoar do canal de entrada de fluido (29) para o canal de saída de fluido (27), se em uso o corpo de válvula (22) permite que o fluido flua do canal de entrada de fluido (29) para o canal de saída de fluido (27), em que algumas perfurações (30) da luva (23) têm uma orientação parcialmente tangencial em relação a um eixo longitudinal da luva, de tal modo que a corrente de fluido de múltiplas fases seja induzida para redemoinhar-se dentro do canal de saída de fluido (27), e as gotículas sejam induzidas a redemoinhar-se em direção à periferia externa do canal de saída de fluido (27), e coalescer-se em gotículas líquidas ampliadas.

6. Sistema de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que uma montagem de separação de gás-líquido (39) é conectada ao canal de saída (27) da válvula de estrangulamento, montagem esta em que as fases líquidas e gasosas do fluido descarregado pela válvula são parcialmente separadas.

7. Sistema de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) compreende uma montagem de palhetas (9) que conferem redemoinho, que se projetam em

uma direção parcialmente radial de um corpo central conformado em torpedo, a montante do bocal (10), tendo um diâmetro externo maior do que o diâmetro interno do bocal (10).

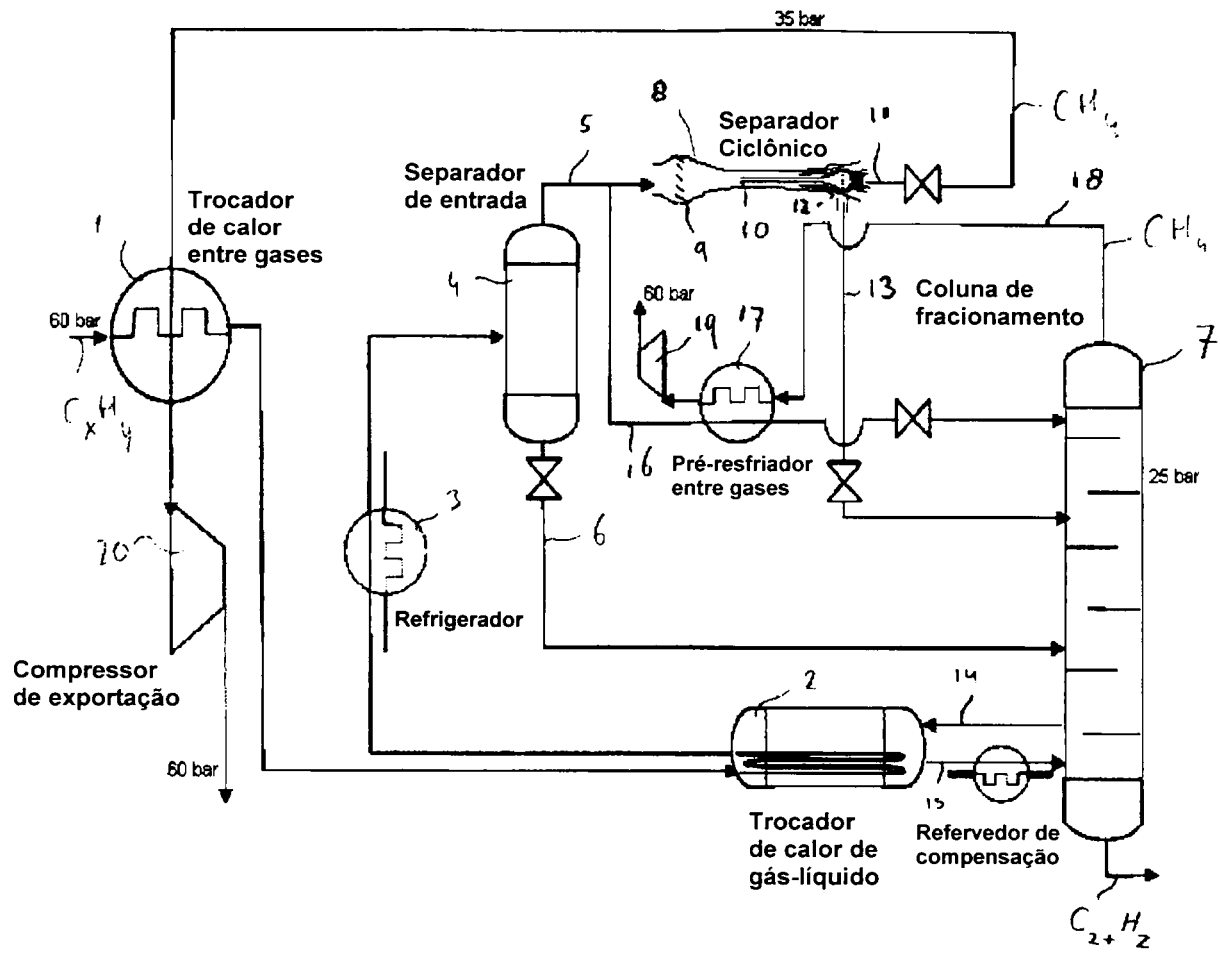
8. Sistema de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que ainda compreende um compressor de alimentação e um refrigerador (3) a ar que são dispostos a montante do primeiro trocador de calor (1).

9. Sistema de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que é dotado de dispositivos de controle da temperatura que são configurados para manter a temperatura dentro de uma entrada do dispositivo ciclônico de expansão e separação (8) entre -20 e -60 graus Celsius.

10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dispositivo ciclônico de expansão (8) compreende um bocal, e a eficiência isentrópica da expansão no bocal do dispositivo ciclônico de expansão (8) é na faixa de 80% a 100%

11. Sistema de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o corpo central conformado em torpedo, a montagem das palhetas (9) que conferem redemoinho e o bocal são configurados de tal modo que a eficiência isentrópica de expansão no bocal seja na faixa de 80% a 100%.

FIG. 1



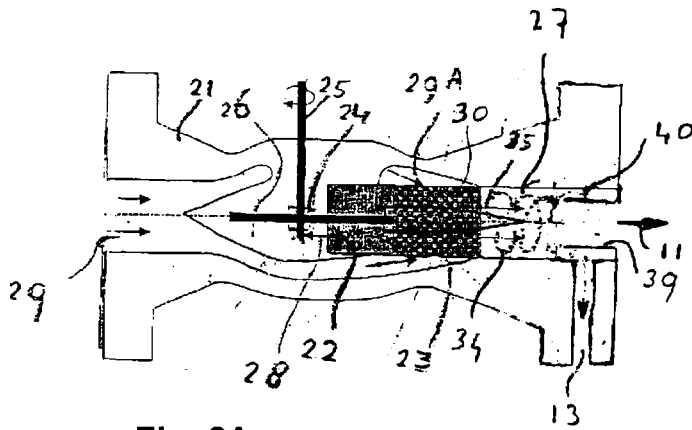


Fig. 2A

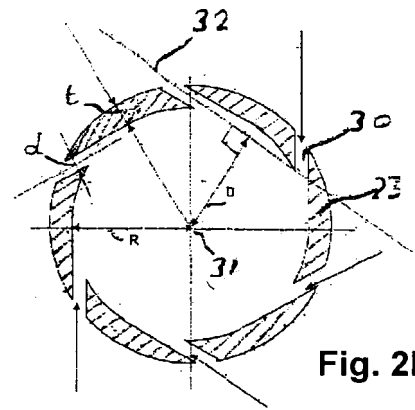


Fig. 2B

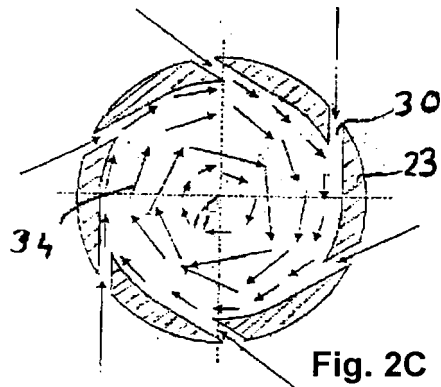


Fig. 2C

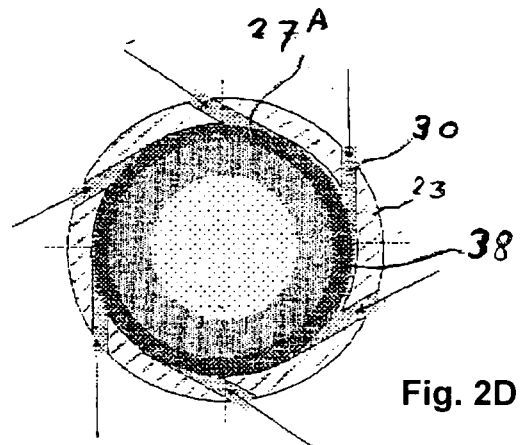


Fig. 2D