



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

(21) **PI0708375-0 A2**



* B R P I 0 7 0 8 3 7 5 A 2 *

(22) Data de Depósito: 02/03/2007
(43) Data da Publicação: 07/06/2011
(RPI 2109)

(51) *Int.Cl.:*
C10J 3/50 2006.01
C10J 3/84 2006.01

(54) Título: **EQUIPAMENTO E MÉTODOS DE FORMAÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE E DE CARREGAMENTO DE MATERIAL CARBONÁCEO EM REATOR DE DESVOLATILIZAÇÃO**

(30) Prioridade Unionista: 06/03/2006 US 11/368,820

(73) Titular(es): Robert E. Klepper

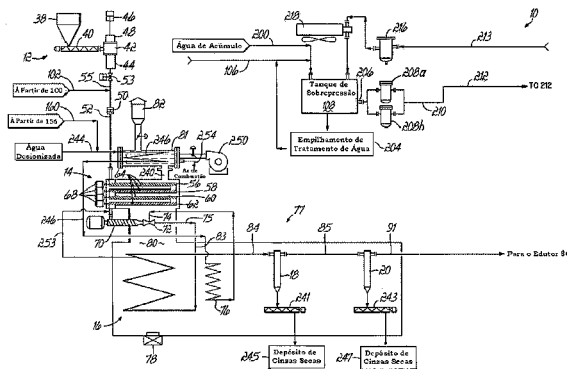
(72) Inventor(es): Robert E. Klepper

(74) Procurador(es): Hugo Silva, Rosa & Maldonado

(86) Pedido Internacional: PCT US2007063138 de 02/03/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/103771 de 13/09/2007

(57) **Resumo:** Equipamento e Métodos de Formação de Gás de Síntese e de Carregamento de Material Carbonáceo em Reator de Desvolatilização. Um equipamento (10) projetado para formar gás de síntese a partir de materiais carbonados tais como carvão inclui um reator de desvolatilização (14) em combinação com um reator de reforming (16) que subsequêntemente forma gás de síntese. O reator de reforming, por sua vez, está em comunicação com um separador de particulado (18). O reator de desvolatilização é carregado com material usando um carregador de compressão (12) que dirige ar a partir do material de carga, comprime-o numa zona de carga formando uma vedação entre a tremonha de carga e o reator de desvolatilização. O reator de reforming (16), assim como também os separadores de particulado (18, 20), são mantidos num forno aquecido (77) de forma que a temperatura do gás de síntese formado não diminui abaixo da temperatura de reação até que o material particulado tenha sido separado.





PI0708375-0

**“Equipamento e Métodos de Formação de Gás de Síntese
e de Carregamento de Material Carbonáceo
em Reator de Desvolatilização”**

Relatório Descritivo

5 **Antecedentes da Invenção**

O material carbonáceo pode ser feito reagir com vapor a temperaturas elevadas para formar gás de síntese, que é uma combinação de monóxido de carbono e hidrogênio. Conforme descrito na Patente US 6.863.878, se a reação inicial alcançar uma temperatura maior do que cerca de 232°C antes que o oxigênio disponível seja feito
10 reagir, ocorre a combustão. Isto produz dióxido de carbono indesejável, cinza e escória. Para evitar isto, como descrito na Patente US 6.863.878, a temperatura deve ser mantida em 232°C até depois que o oxigênio disponível esteja reagido.

15 **Sumário da Invenção**

A presente invenção é baseada no fato de que o gás de síntese pode ser produzido mais eficazmente modificando o processo descrito na Patente US 6.863.878, cuja revelação fica por este meio incorporada por referência. Em particular, o material carbonáceo na
20 zona de desvolatilização é mantido a uma temperatura menor do que 232°C até que todo o oxigênio disponível esteja reagido. Na presente invenção, este material é então elevado para uma temperatura de cerca de 538°C na zona de desvolatilização antes de ser combinado com vapor para formar o gás de síntese no reator de *reforming*.

25 A partir do reator de *reforming*, o gás de síntese formado passa por uma série de separadores de particulado para remover qualquer cinza formada. Estes separadores são mantidos a uma tempe-

ratura maior do que 816°C, através da localização deles no mesmo forno que o reator de *reforming*. Isto impede reações não desejadas que podem ocorrer, quando o gás de síntese arrefecer, e evita acúmulo de carbono no equipamento. O gás de síntese do separador está rapidamente arrefecido a uma temperatura bem abaixo de 538°C, de preferência a uma temperatura de cerca de 49°C. A esta temperatura, o gás de síntese é estável e não forma depósitos de carbono nem permite reações indesejáveis. Ao mesmo tempo, o material é arrefecido, de preferência num arrefecedor, qualquer alcatrão ou óleo residual é separado e retrocarregado para a zona de desvolatilização para reação ou coletada para uso adicional. Numa característica adicional da presente invenção, o calor da zona de desvolatilização é dirigido para uma seção de pré-aquecedor onde a água e o ar de combustão são circulados para recuperar calor residual.

Os objetivos e vantagens da presente invenção serão ainda observados levando em conta a descrição e os desenhos detalhados seguintes, em que:

Breve Descrição dos Desenhos

as **Figuras 1A e 1B** são descrições diagramáticas do equipamento usado na presente invenção;

a **Figura 2** é uma vista em seção reta de uma modalidade da seção de carga;

a **Figura 3** é uma vista esquemática em projeção de uma seção de carga alternada; e

a **Figura 4** é uma vista plana de um trado usado na modalidade mostrada na Figura 3.

Descrição Detalhada da Invenção

Conforme diagramaticamente mostrado nas Figuras 1A e 1B, a instalação de gás de síntese 10 inclui uma seção de carga 12 que comunica com uma seção de desvolatilização 14, por sua vez conectada a um reator de *reforming* 16. O reator 16 é projetado para produzir gás de síntese que passa por separadores de particulado 18 e 20. O gás é arrefecido, filtrado e coletado para uso.

Como mostrado mais particularmente nas Figuras 1 e 2, a seção de carga 12 inclui uma tremonha 38 tendo um trado 40, que dirige material carbonáceo de carga para a câmara de carga 42. A câmara de carga 42 é conectada a um tubo de carga 44 que leva para a seção de desvolatilização 14. Acima da seção de carga está um suporte cilíndrico 48 que suporta um cilindro de compactação 46 projetado para forçar o material de carga a partir da câmara de carga 42 para dentro do tubo de carga 44. O tubo de carga 44 leva para um descarregador 50, que comunica via passagem 52 para a seção de volatilização 14. Uma válvula de descarga 53 impede o retrofluxo através da linha 55 a partir do descarregador 50.

A seção de desvolatilização 14 inclui quatro câmaras de reação cilíndricas 56, 58, 60 e 62. Cada câmara de reação está em comunicação com a câmara de reação seguinte. Cada câmara de reação inclui um trado 64 que é adaptado para forçar o material de carga através das câmaras respectivas 56-62 para carregar o trado 70. Os trados 64, por sua vez, são operados pelos motores 68. O trado de carga 70 comunica com o edutor de carga 72. O vapor a partir de um aquecedor a vapor 76 localizado no forno 77 é introduzido num edutor 72 através da entrada de vapor 74. Isto força ciclonicamente o material através da linha 75 para o reator 16, também localizado no forno 77.

O forno 77 inclui um queimador 78 e uma saída de combustão ou *plenum* 80. Além do reator 16, o forno inclui o aquecedor de vapor 76 e os separadores 18 e 20. A saída de combustão 80 dirige ar

aquecido para a zona de desvolatilização 14, que, por sua vez, comunica com um pré-aquecedor 81 que, em última instância, comunica com um empilhamento 82.

Conforme mostrado, o reator de *reforming* 16 é um reator tubular que comunica com o edutor 72 via a linha 83. Uma linha de saída 84 a partir do reator 16 leva para o primeiro separador de particulado 18. O separador 18 inclui uma linha de saída de gás 85, que, por sua vez, conduz para o segundo separador de particulado 20. A linha 91 dirige o gás a partir do separador 20 para um edutor de arrefecimento 86 que dirige gás e água através da linha 87 para um tanque de arrefecimento 88 (Figura 1B). O edutor de arrefecimento 86 inclui uma linha de entrada de água 89.

O tanque de arrefecimento 88 é um separador de gás/água/óleo e inclui uma saída de gás 94, uma saída de água 96 e uma saída de alcatrão/óleo 98. A saída de alcatrão 98, conforme mostrado, leva para uma bomba 100 que dirige o alcatrão e/ou o óleo via linha 102 para a linha 55 logo a montante do descarregador 50. A saída de água 96 é dirigida através da linha 106 por um tanque de sobretensão 108.

A saída de gás 94 leva, por sua vez, para um segundo edutor de arrefecedor 114, que inclui uma entrada de água 116 dirigida a partir do tanque 117. A saída do edutor de arrefecimento 118, por sua vez, conduz para um arrefecedor secundário 120. O arrefecedor 120 inclui uma saída de água 122 e uma saída de gás 124, que leva para o *scrubber* (lavador) de arrefecimento 126.

A saída de água 122 conduz para a linha de água 106, levando, por sua vez, para o tanque de sobretensão 108. O *scrubber* de arrefecimento 126 inclui uma saída de água 128 que vai para um dreno 130. A saída de gás 132 do *scrubber* de arrefecimento 126 conduz para

um T 134 em que uma primeira linha 136 é dirigida para um filtro de água 137, que remove água. Uma saída de gás 140 a partir do filtro 137 passa para a seção de gás de produto 142 e uma saída de água 138 conduz via linha 128 para o dreno 130. A segunda linha 146 a partir do T 134 é dirigida para um segundo filtro de água 148 que também inclui uma saída de água 150 que leva de volta para o dreno 130 via linha 128. A saída de gás 152 é dirigida para um compressor 154 e, por sua vez, para um *scrubber* 156, para remover a água residual. O *scrubber* 156 inclui uma saída de água 158 dirigida para o dreno ou a linha de água de acúmulo 244 e uma saída de gás 160, que, por sua vez, é dirigida para o queimador 78, onde é usado para aquecer o forno 77.

A entrada da água de acúmulo 200 leva para o tanque de sobretensão 108. A água no tanque 108 pode circular através de um empilhamento de tratamento de água opcional 204, dependendo das condições particulares da água, tais como dureza e semelhantes. O tanque 108 inclui uma saída 206 que é dirigida para filtros em *tandem* 208a e 208b. Os filtros têm uma saída comum 210 que é dirigida para T 212. Uma linha a partir de T 212 é dirigida para uma primeira bomba 214. A bomba 214 dirige a água através da linha 213, um filtro 216 e, subseqüentemente, para um arrefecedor 218 que dirige a água gelada de volta para o tanque 108. A segunda linha 220 a partir de T 212 é dirigida para um segundo T 226 que dirige uma parte da água para uma segunda bomba 228 que a dirige para um tanque 117, que, por sua vez, comunica com um *chiller* (arrefecedor) 234. A terceira bomba 230 dirige a água a partir de T 212 pela linha 89 para dentro do edutor de arrefecimento 86, como previamente descrito.

O equipamento 10 também inclui uma seção de pré-aquecedor 81 que utiliza gás de exaustão que passou a partir do forno 77 pela seção de desvolatilização 14 para pré-aquecer a água para o reator a vapor 16, assim como ar de combustão para o queimador 78.

A exaustão a partir do forno 77 passa através do *plenum* de exaustão 80 para a seção de desvolatilização 14 e, então, através da exaustão 240 para a seção do pré-aquecedor 81. A linha de entrada da água 244 dirige água deionizada através da seção do pré-aquecedor pela linha 246 para o aquecedor a vapor 76. Um soprador 250 é usado para introduzir ar pelo pré-aquecedor 81. Este é exaurido via linha 254 para o queimador 78.

Em operação, a carga, tal como carvão pulverizado, é introduzida através da tremonha 38 e da seção de carga 12 onde é comprimida pelo cilindro 46 e forçada através da válvula 53 e da linha 55 para o descarregador 50. A carga é forçada para dentro da seção de desvolatilização 14. O cilindro 46 se aplica pressão suficiente para comprimir o material de carga e expulsar a maior parte de ar associado com o material de carga, geralmente 0,7-1,4 kgcm⁻² ou maior. Esta força, supera qualquer pressão da seção de desvolatilização e ocasiona que a carga material atue como uma vedação entre a seção de carga 12 e a seção de desvolatilização 14. Isto remove ar a partir da carga e impede a introdução de oxigênio não desejado na zona de desvolatilização.

O trado 64 força a carga através das câmaras 56-62. A seção de desvolatilização começa com uma primeira câmara de temperatura mais baixa 56, seguida de uma segunda câmara de temperatura mais alta 58 e, por sua vez, uma terceira 60 e quarta 64 câmaras de temperaturas mais altas. As temperaturas das câmaras são projetadas de forma que a temperatura do material de carga não alcance 232°C até que todo o oxigênio no material de carga reaja, a fim de impedir a pirólise. Em geral, a primeira câmara de reação terá uma temperatura inicial de cerca de 38°C, com a seção final de desvolatilização a 538°C. A maior parte do oxigênio livre reagirá bem antes que a carga alcance uma parte da seção de desvolatilização que está 111°C. A temperatura de cada seção é controlada pela sua proximidade do *plenum* de exaus-

tão 80, assim como também área de superfície e o tempo de residência. A pressão a partir do tubo de carga 44 através da seção de desvolatilização 14 é de cerca de 8,8 kgcm⁻².

O produto terminal que sai da seção de desvolatilização 14 é principalmente carvão animal e gases liberados durante a desvolatilização. Este produto terminal é dirigido para o trado de carga 70 levando ao edutor de vapor 72. O vapor a partir do aquecedor de vapor 76 é dirigido para dentro do edutor 72. A temperatura do vapor deve ser de cerca de 816°C e a pressão é de aproximadamente 8,8 kgcm⁻². O edutor, então, leva para o reator de *reforming* 16 em que é criado o gás de síntese. No reator 16, a temperatura do reator é aumentada para mais de 816°C, de preferência cerca de 843°C a uma pressão de cerca de 8,8 kgcm⁻². Uma parte do fluxo de reagente no reator 16 pode ser direcionada através da linha 253 para uma entrada imediatamente a montante do trado de carga 70 para levar sólidos a baixo fluxo ou velocidades de carga.

O produto de reação a partir do reator 16, cinza e gás de síntese, é dirigido para separadores de ciclone 18 e 20, que ficam localizados dentro do forno 77 e mantidos à mesma temperatura do reator 16 de cerca de 843°C a 8,8 kgcm⁻². Os separadores 18 e 20 removem a cinza a partir do produto de reação. A cinza é dirigida para os trados 241 e 243 que deslocam a cinza para dentro de depósitos de cinza seca 245 e 247 sem permitir que o gás de síntese escape do sistema.

Depois de passar pelos separadores 18 e 20, o gás de síntese flui via linha 91 do forno para o edutor de arrefecimento 86 e tanque de arrefecimento 88 e onde é arrefecido a mais ou menos 49°C pela água a partir do tanque 108 a aproximadamente 9,8 kgcm⁻². A temperatura da água no tanque 108 é controlada por recirculação através da torre de arrefecimento 218 e está de preferência a cerca de

32°C. O tanque de arrefecimento 88 separa o gás, a água e o óleo. A água é dirigida de volta para o tanque 108 e é reusada.

O gás propriamente é então dirigido a partir do tanque de arrefecimento 88 para um segundo edutor de arrefecimento súbito (*quench*) 114. A água a 14 kgcm⁻² a partir do tanque 117 é usada para arrefecer mais o gás de síntese para mais ou menos 21°C a 8,8 kgcm⁻². O arrefecedor (*chiller*) 234 é usado para estabelecer a temperatura da água em aproximadamente 316°C. O gás arrefecido flui para o arrefecedor secundário 120 que separa a água, dirigindo-a de volta para o tanque 108, e permite que o gás flua para o *scrubber* de arrefecimento 126, separando novamente água que é enviada pela linha 128 para o dreno do gás que é dirigido através dos filtros 137 e 148. O gás a partir do filtro 137 é coletado para uso. O gás de filtro 148 é carregado de volta para o queimador 78 que alimenta o forno. Para a partida inicial, pode ser usada uma fonte de combustível separada.

Um carregador alternado 250 é mostrado nas Figuras 3 e 4. O carregador 250 inclui uma tremonha de material 252 tendo um trado de carga 254 que leva ao depósito de carga 256. A caixa de carga 256 inclui um parafuso 258 girado pelo motor 260. O parafuso leva para o tubo de carga 44 que conecta através da saída 262 para a seção de desvolatilização 14.

Como mostrado na Figura. 4, o parafuso 258 tem um eixo principal 266 e uma lâmina helicoidal 268. O diâmetro exterior da lâmina 268 permanece constante, ao passo que o diâmetro do eixo 266 aumenta a partir da entrada 220 até à parte de saída 272. Isto diminui a área entre o eixo 266 e o tubo de entrada 44, comprimindo, assim, o material de carga, à medida que é forçado para dentro do equipamento 10. Em uso, é preferido 20-50% de preferência 40% de compressão.

Deste modo, a presente invenção tem muitos aperfeiçoa-

mentos diferentes que melhoram a eficiência do processo descrito na Patente US 6.863.878 de Klepper. Comprimir a carga expulsa o ar indesejável e forma uma vedação de entrada. Além disso, aquecer o material numa zona de desvolatilização a 538°C antes da adição de vapor melhora a eficiência da reação global e aumenta a velocidade da reação. Mantendo os separadores no forno e mantendo a sua temperatura, são evitadas reações indesejáveis e, em particular, é minimizada a deposição de carbono no equipamento. O arrefecimento súbito do produto de reação do gás de síntese evita ainda qualquer deposição de carbono ou produtos de reação indesejáveis.

Isto foi uma descrição da presente invenção em conjunto com o método preferido de praticar a presente invenção. Todavia, a invenção em si deve ser apenas definida pelas reivindicações anexadas.

**“Equipamento e Métodos de Formação de Gás de Síntese
e de Carregamento de Material Carbonáceo
em Reator de Desvolatilização”**

Reivindicações

5 **1 - Método de Carregamento de Material Carbonáceo em Reator de Desvolatilização, caracterizado** por que compreende

introduzir o referido material carbonáceo numa zona de carga;

10 comprimir o citado material para dirigir ar a partir de dito material;

forçar o referido material para dentro do citado reator de desvolatilização.

15 **2 - Método de Carregamento de Material Carbonáceo em Reator de Desvolatilização**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que, comprimindo o referido material, forma-se uma vedação substancialmente estanque ao gás entre a citada zona de carga e dito reator de desvolatilização.

20 **3 - Método de Carregamento de Material Carbonáceo em Reator de Desvolatilização**, de acordo com a Reivindicação 2, **caracterizado** por que compreende ainda quebrar o referido material comprimido entre a citada vedação estanque ao gás e dito reator de desvolatilização.

4 - Método de Carregamento de Material Carbonáceo em Reator de Desvolatilização, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o referido material carbonáceo é comprimido com um trado.

25 **5 - Método de Carregamento de Material Carbonáceo em Reator de**

Desvolatilização, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o referido material carbonáceo é comprimido com um êmbolo.

5 **6 - Método de Carregamento de Material Carbonáceo em Reator de Desvolatilização**, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o referido material carbonáceo é comprimido a pelo menos 0,7 kgcm⁻².

7 - Método de Carregamento de Material Carbonáceo em Reator de Desvolatilização, de acordo com a Reivindicação 6, **caracterizado** por que o referido material carbonáceo é carvão.

10 **8 - Método de Formação de Gás de Síntese, caracterizado** por que compreende

introduzir um material de carga carbonáceo num reator de desvolatilização;

15 aquecer o referido material de carga carbonáceo na ausência de oxigênio adicionado a uma primeira temperatura abaixo de 232°C até que substancialmente todo oxigênio no citado material de carga tenha reagido;

20 aquecer subseqüentemente dito material de carga carbonáceo na ausência de oxigênio e sem a adição da vapor a uma temperatura de pelo menos cerca de 538°C;

adicionar subseqüentemente vapor ao produto de reação do referido reator de desvolatilização e forçar o citado produto de reação para um reator de *reforming*, sendo dito reator de *reforming* aquecido a uma temperatura de reator para formar gás de síntese.

25 **9 - Método de Formação de Gás de Síntese**, de acordo com a Reivindicação 8, **caracterizado** por que é fornecido calor ao referido reator de desvolatilização a partir de uma exaustão a partir de um forno que aloja

o citado reator de *reforming*.

10 - Método de Formação de Gás de Síntese, de acordo com a Reivindicação 9, **caracterizado** por que compreende ainda dirigir o gás de síntese para um primeiro separador de particulado, mantendo o citado gás de síntese em dito separador à referida temperatura de reator.

11 - Método de Formação de Gás de Síntese, de acordo com a Reivindicação 10, **caracterizado** por que compreende ainda dirigir o gás de síntese a partir do referido separador para um arrefecedor de água em que o citado gás de síntese é introduzido em dito arrefecedor de água à referida temperatura de reator.

12 - Método de Formação de Gás de Síntese, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que compreende ainda dirigir o líquido a partir do referido arrefecedor para um separador e separar água e gás e líquido carbonáceo e alcatrão um do outro;

dirigir o citado líquido carbonáceo e alcatrão para uma seção de carga de dito reator de desvolatilização.

13 - Método de Formação de Gás de Síntese, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o referido gás de síntese é arrefecido a uma temperatura menor do que 427°C no citado arrefecedor.

14 - Método de Formação de Gás de Síntese, de acordo com a Reivindicação 11, **caracterizado** por que o referido gás de síntese é dirigido a partir do referido primeiro separador de particulado para um segundo separador de particulado que também é mantido à temperatura do citado reator e em que o gás é dirigido a partir de dito segundo separador para o referido arrefecedor.

15 - Método de Formação de Gás de Síntese, **caracterizado** por que compreende

introduzir um material de carga carbonácea num reator de desvolatilização;

aquecer o referido material de carga carbonácea na ausência de oxigênio no citado reator de desvolatilização;

5 dirigir o produto reagente a partir de dito reator de desvolatilização para um reator de *reforming* e misturar vapor com dito produto reagente e aquecer o referido produto a uma temperatura de reator para formar o gás de síntese;

10 dirigir o citado gás de síntese para um separador de particulado em que dito separador de particulado é mantido na referida temperatura de reator;

dirigir o gás de síntese a partir do citado separador para um arrefecedor em que a temperatura de dito gás de síntese é reduzida a menos do que 427°C.

15 **16 - Método de Formação de Gás de Síntese**, de acordo com a Reivindicação 15, **caracterizado** por que compreende ainda

dirigir o líquido a partir do referido arrefecedor para um separador e separar água, gás de síntese e material líquido carbonáceo;
e

20 dirigir o citado material líquido carbonáceo para uma seção de carga de dito reator de desvolatilização.

17 - Equipamento de Formação de Gás de Síntese, **caracterizado** por que compreende um reator de desvolatilização em comunicação com um reator de *reforming*, por sua vez em comunicação com um primeiro
25 separador de particulado em que o referido reator de *reforming* e o citado separador são mantidos num forno.

18 - Equipamento de Formação de Gás de Síntese, de acordo com a Reivindicação 17, **caracterizado** por que compreende ainda um segundo separador de particulado em comunicação com o referido primeiro separador de particulado em que o citado segundo separador de particulado também fica localizado em dito forno.

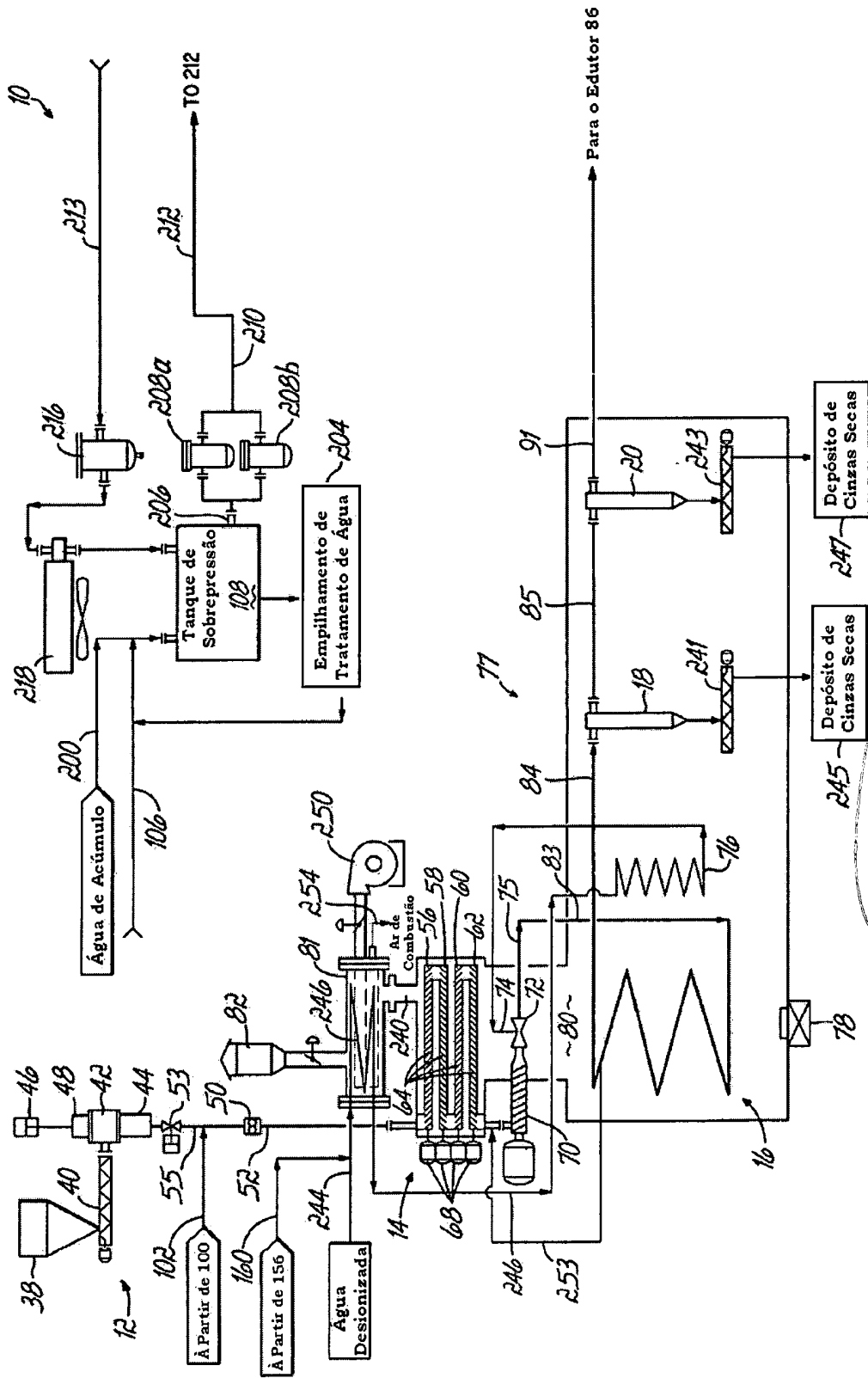


Figura 1A

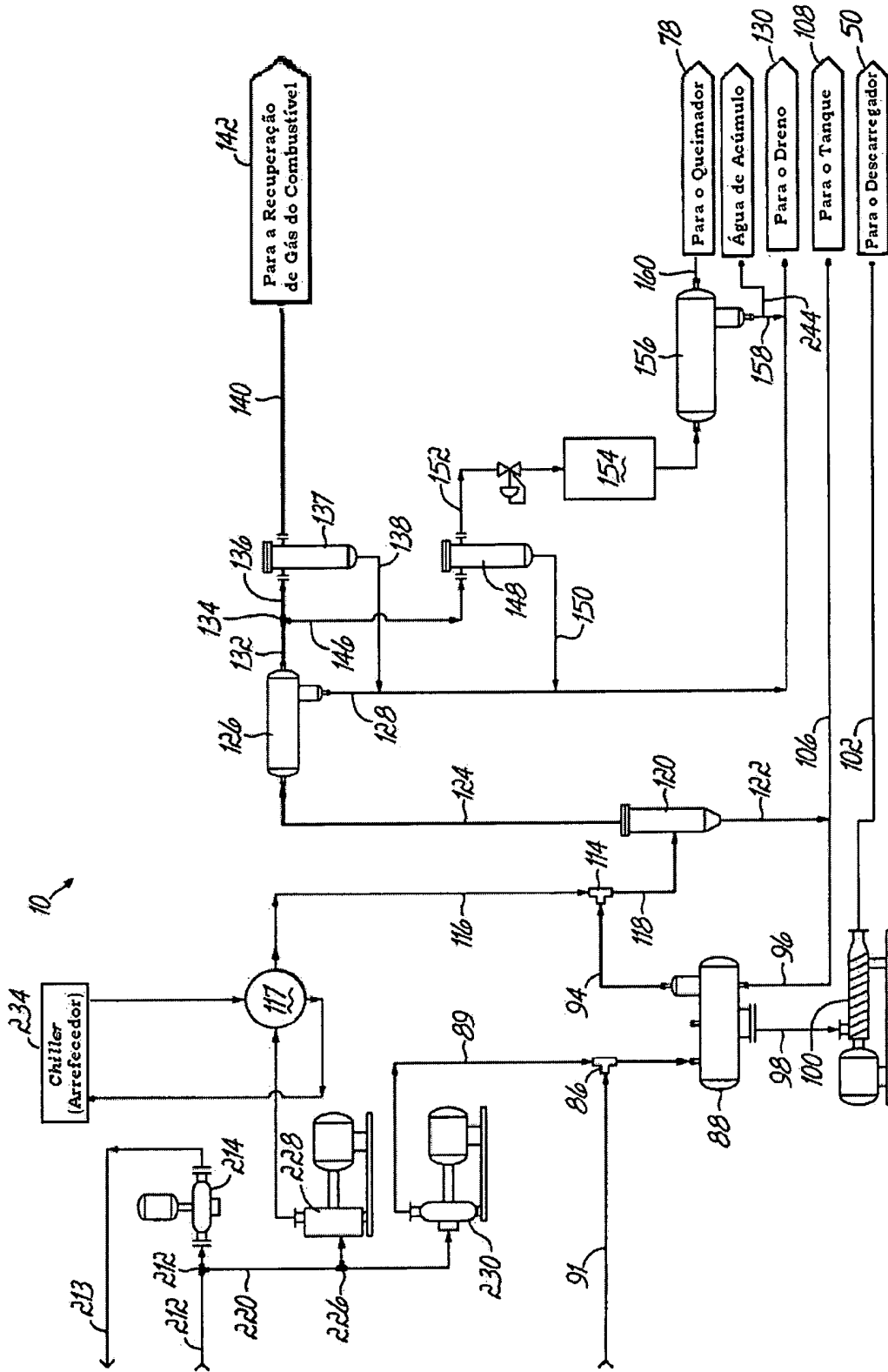


Figura 1B

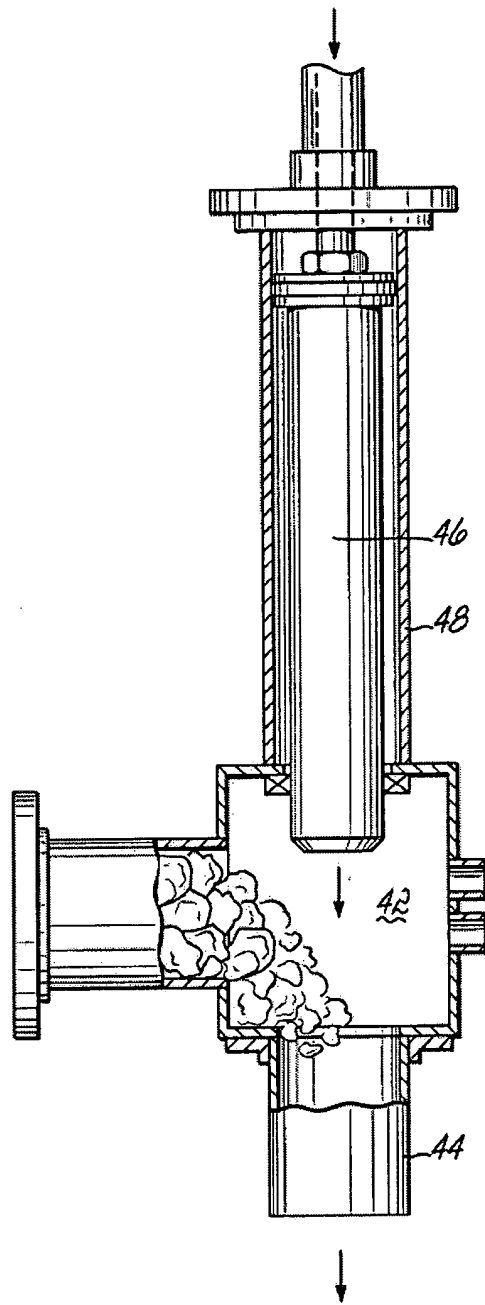


Figura 2

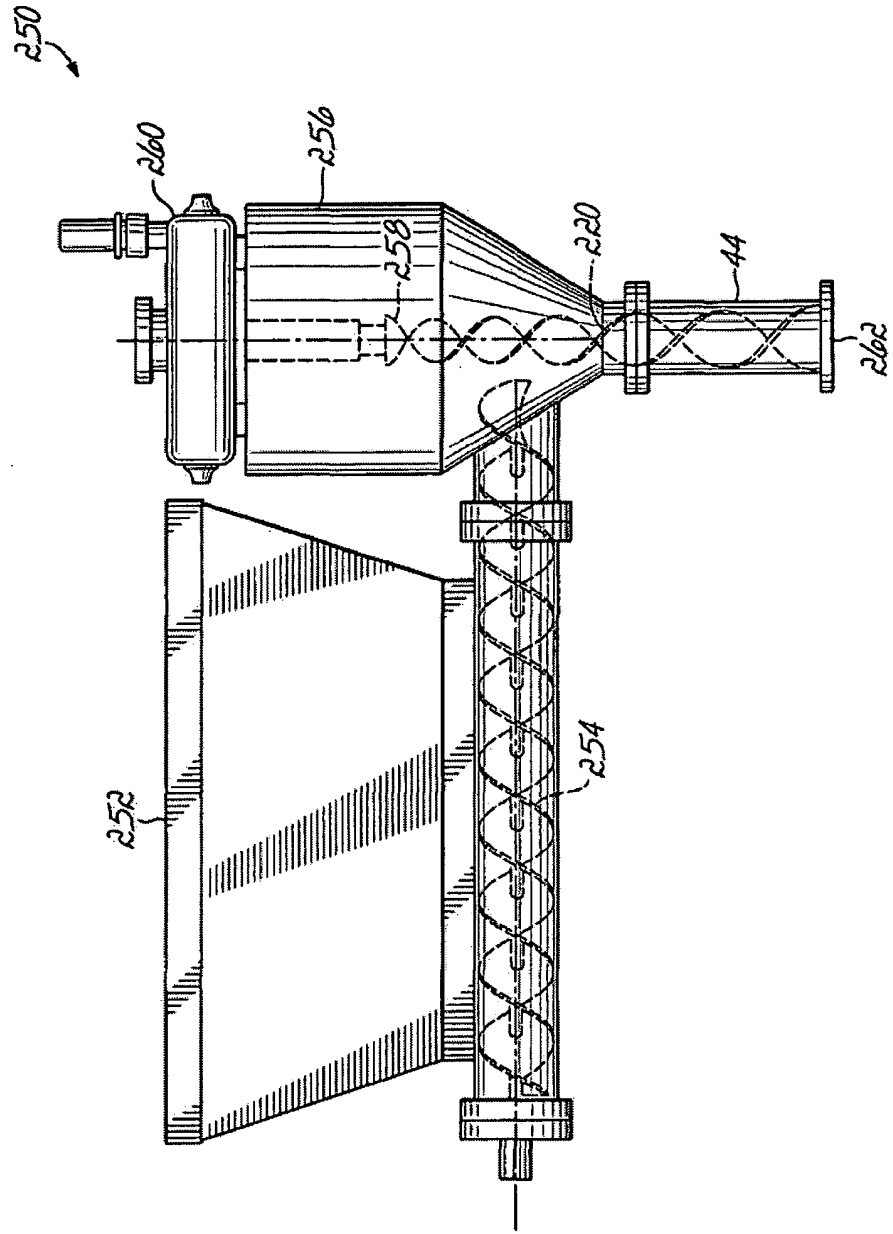


Figure 3

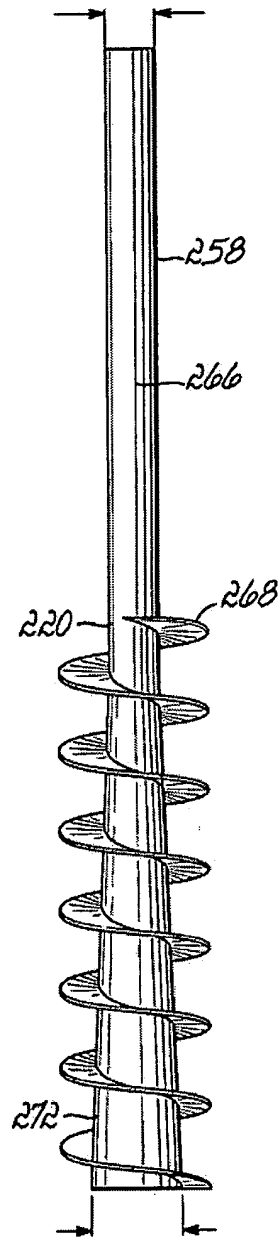
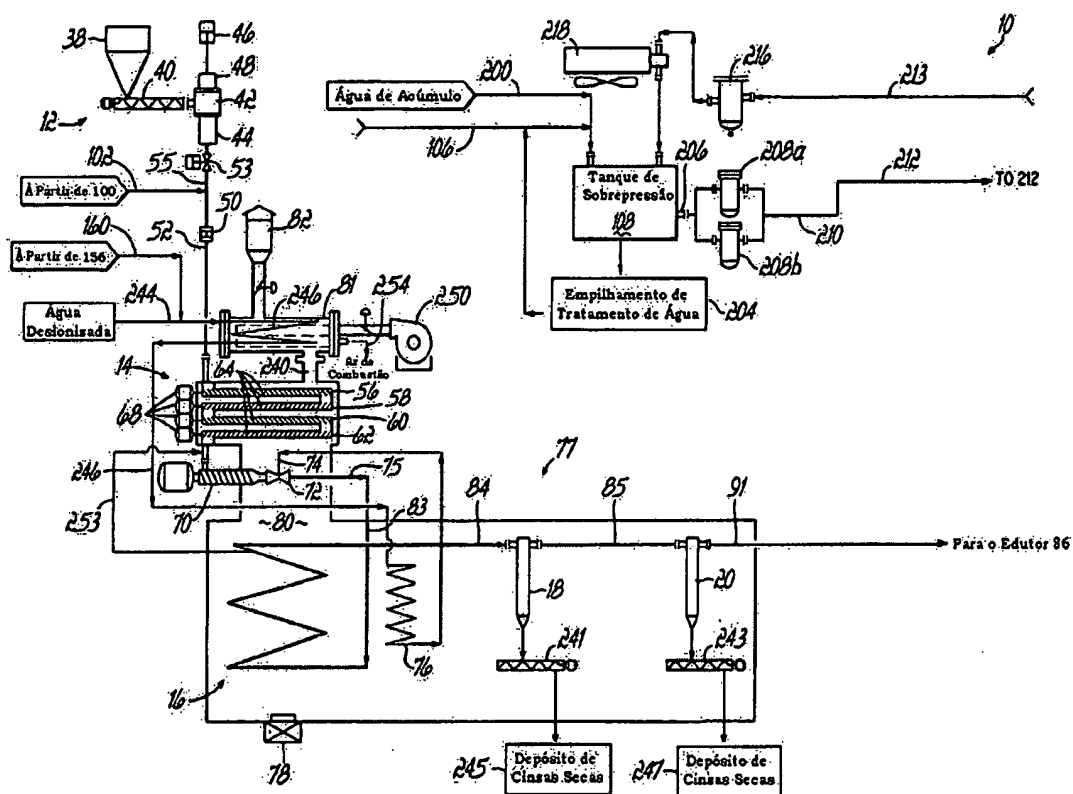


Figura 4

**“Equipamento e Métodos de Formação de Gás de Síntese
e de Carregamento de Material Carbonáceo
em Reator de Desvolatilização”**

Resumo



5

Um equipamento (10) projetado para formar gás de síntese a partir de materiais carbonados tais como carvão inclui um reator de desvolatilização (14) em combinação com um reator de *reforming* (16) que subsequentelemente forma gás de síntese. O reator de *reforming*, por sua vez, está em comunicação com um separador de particulado (18). O reator de desvolatilização é carregado com material usando um carregador de compressão (12) que dirige ar a partir do material de carga, comprime-o numa zona de carga formando uma vedação entre a tremonha de carga e o reator de desvolatilização. O reator de *reforming*

(16), assim como também os separadores de particulado (18, 20), são mantidos num forno aquecido (77) de forma que a temperatura do gás de síntese formado não diminui abaixo da temperatura de reação até que o material particulado tenha sido separado.