



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

(21) **PI1001985-5 A2**

(22) Data de Depósito: 31/05/2010
(43) Data da Publicação: 05/07/2011
(RPI 2113)



* B R P I 1 0 0 1 9 8 5 A 2 *

(51) *Int.Cl.:*
C01B 3/38 2006.01

(54) Título: **PROCESSO PARA PRODUZIR UM GÁS
PRODUTO CONTENDO HIDROGÊNIO**

(30) Prioridade Unionista: 03/06/2009 US 12/477617

(73) Titular(es): Air Products and Chemicals, Inc.

(72) Inventor(es): Bryan Clair Hoke Jr., Eugene S. Genkin,
Stephen Paul Dimartino, William Robert Licht, Xianming Jimmy Li

(57) Resumo: PROCESSO PARA PRODUZIR UM GÁS PRODUTO CONTENDO HIDROGÊNIO. Um processo para a produção de um gás produto contendo hidrogênio com reduzidas emissões de dióxido de carbono em comparação com processos convencionais de produção de hidrogênio. Um hidrocarboneto e vapor são reformadas em um reformador e a corrente de reformado resultante é submetida a substituição em um ou mais reatores de troca. A mistura submetida a substituição é submetida a limpeza por lavagem para remover o dióxido de carbono par formar uma corrente empobrecida em dióxido de carbono. A corrente empobrecida em dióxido de carbono é separada para formar um gás produto contendo hidrogênio e um gás subproduto. Uma parcela do gás produto contendo hidrogênio é usada como combustível no reformador e uma parcela do gás subproduto é reciclada de volta para o processo. O processo pode, opcionalmente, incluir a reforma de um pré-reformador e/ou um reformador secundário de oxigênio.



PROCESSO PARA PRODUZIR UM GÁS PRODUTO CONTENDO HIDROGÊNIO
Fundamentos

Há uma crescente pressão para reduzir as emissões de dióxido de carbono provenientes de processos industriais. Uma grande planta de produção de hidrogênio pode produzir até 900 mil toneladas métricas de dióxido de carbono por ano, e portanto, pode ser considerada uma fonte significativa de dióxido de carbono.

Na Europa, Canadá e Califórnia, regulamentações acerca da redução do dióxido de carbono estão sendo introduzidas gradualmente. Isso significa que a legislação com respeito aos gases de efeito estufa (GEE) continua a ser um elemento-chave em projetos no período 2012-2015. O atual entendimento acerca dessa questão é que as novas instalações terão de realizar estudos acerca da captura do dióxido de carbono mas podem não serem obrigadas a instalar e operar tais sistemas e carbono, mas não pode ser obrigado a instalar e operar esses sistemas na data de dar partida ao projeto. Portanto, a indústria deseja um projeto de fácil captura de dióxido de carbono que possa ser implementado quando necessário.

A indústria deseja produzir hidrogênio mediante reforma vapor-hidrocarboneto durante a captura de dióxido de carbono, assim, reduzir ou eliminar as emissões de dióxido de carbono.

A indústria deseja ajustar a quantidade de captura de dióxido de carbono baseada nas regulamentações e em bases econômicas.

A indústria deseja um processo de produção de hidrogênio em larga escala com eficiente consumo energético e com reduzidas emissões de dióxido de carbono em comparação aos processos convencionais.

Sumário da Invenção

A presente invenção refere-se a um processo para produzir um gás produto contendo hidrogênio. O processo compreende:

(a) introduzir uma corrente de processo compreendendo vapor e pelo menos um hidrocarboneto selecionado do grupo consistindo de metano, etano, propano, butano, pentano, e hexano e em uma pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador em um forno reformador e reagir a corrente de processo dentro da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador numa primeira temperatura variando de 700 °C a 1000 °C e uma primeira pressão variando de 2 a 50 atmosferas para formar uma corrente de reformados que compreende hidrogênio, monóxido de carbono, metano e vapor d'água e extrair a corrente de reformados da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador;

(b) reagir a corrente de reformados na presença de um catalisador de troca em uma segunda temperatura variando

de 190 °C a 500 °C e uma segunda pressão variando de 2 a 50 atmosferas para formar uma segunda corrente de processo que compreende dióxido de carbono, hidrogênio, monóxido de carbono e metano;

5 (c) limpar por lavagem (também conhecido pelo termo 'scrubbing') a segunda corrente de processo com uma corrente de lavagem para formar uma corrente pobre em dióxido de carbono e uma corrente de lavagem carregada de dióxido de carbono;

10 (d) separar a corrente empobrecida em dióxido de carbono para formar o gás produto contendo hidrogênio e um gás subproduto compreendendo metano e monóxido de carbono;

(e) introduzir uma parcela do gás subproduto dentro da corrente de processo numa posição a montante da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador e/ou
15 na corrente de reformados em uma posição a montante de um catalisador de reforma em um reator secundário de reforma;
e

(f) queimar um gás combustível compreendendo uma
20 parcela do gás produto contendo hidrogênio, opcionalmente, uma parcela do gás subproduto, e, opcionalmente, um combustível suplementar no forno reformador externo à pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador para
fornecer de energia para reagir a corrente de processo
25 dentro da pluralidade de tubos reformadores contendo

catalisador, e extrair um gás de combustão do forno reformador.

De 50% a 98% em volume do gás subproduto formado na etapa (d) pode ser introduzido na corrente de processo na
5 etapa (e).

O processo pode compreender reagir a corrente de processo na presença de um catalisador de reforma em um segundo reator não sujeito a ação de chama a uma terceira temperatura variando na faixa 425 °C a 600 °C e uma
10 terceira pressão variando na faixa 2 a 50 atmosferas para formar dióxido de carbono e hidrogênio na corrente de processo antes de introduzir a corrente de processo na pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador. A parcela do gás subproduto pode ser introduzida na corrente
15 de processo a montante do reator não sujeito a ação de chama. A corrente de processo reagida no reator não sujeito a ação de chamas pode compreender uma parcela do gás subproduto.

O processo pode compreender:

20 introduzir um gás rico em oxigênio na corrente de reformados após a extração da corrente de reformados proveniente da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador para oxidar parcialmente a corrente de reformados; e

25 reagir a corrente de reformados parcialmente oxidados na presença do catalisador de reforma no reator

secundário de reforma sob condições de reação suficientes para formar produtos de reação que compreende monóxido de carbono e hidrogênio na corrente de reformados antes de reagir a corrente de reformados na presença do catalisador de troca.

A parcela do gás subproduto pode ser introduzida na corrente de reformados na posição a montante do reator secundário de reforma. A corrente de reformados pode compreender pelo menos uma parcela do gás subproduto.

10 O processo pode compreender:

introduzir um gás de alimentação compreendendo pelo menos um hidrocarboneto e, opcionalmente, vapor na corrente de reformados após a extração da corrente de reformados proveniente da pluralidade de catalisador contendo tubos reformador, o pelo menos um hidrocarboneto selecionado do grupo consistindo de metano, etano, butano, propano, pentano e hexano;

introduzir um gás rico em oxigênio na corrente de reformados após a extração da corrente de reformados proveniente da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador para oxidar parcialmente a corrente de reformados; e

reagir a corrente de reformados parcialmente oxidados na presença do catalisador de reforma no reator secundário de reforma sob condições de reação suficientes para formar produtos de reação que compreende monóxido de

carbono e hidrogênio na corrente de reformados antes de reagir a corrente de reformados na presença do catalisador de troca.

O processo pode ainda compreender a segunda corrente de processo na presença de um segundo catalisador de troca, numa quarta temperatura variando entre 190 °C a 300 °C e uma quarta pressão variando de 2 a 50 atmosferas para formar dióxido de carbono e hidrogênio na segunda corrente de processo antes da etapa de limpar por lavagem a segunda corrente de processo. O segundo catalisador de troca pode compreender cobre.

O gás combustível pode compreender de 30% em volume a 98% em volume de gás produto contendo hidrogênio e de 2% em volume a 70% em volume gás subproduto.

15 Breve Descrição das Diversas Vistas dos Desenhos

A Figura 1 é um fluxograma de processo para um processo para produzir um gás produto contendo hidrogênio com reduzidas emissões de dióxido de carbono.

A Figura 2 é um outro fluxograma de processo para um processo para produzir um gás produto contendo hidrogênio com reduzidas emissões de dióxido de carbono.

A Figura 3 é um outro fluxograma de processo para um processo para produzir um gás produto contendo hidrogênio com reduzidas emissões de dióxido de carbono.

A Figura 4 é um fluxograma de processo para um processo da arte já existente de produzir um gás produto contendo hidrogênio.

Descrição Detalhada

5 Os artigos "a" e "um", conforme usado aqui, significa um ou mais quando aplicado a qualquer característica nas modalidades da presente invenção descritas no relatório descritivo e reivindicações. O uso de "a" e "um" não limita o significado de uma
10 característica única, exceto se tal limite estiver especificamente indicado. O artigo "o" precedendo substantivos no singular ou no plural ou frases denota uma característica particular especificada ou particulares características específicas e pode ter uma conotação
15 singular ou plural, dependendo do contexto em que ela é usada. O adjetivo "qualquer" significa um, alguns ou todos indistintamente, independentemente da sua quantidade.

A expressão "pelo menos uma parte" significa "uma parte ou a totalidade".

20 Como usado aqui, "pluralidade" significa pelo menos dois.

Para fins de simplicidade e clareza, as descrições detalhadas dos dispositivos conhecidos, circuitos e métodos foram omitidos para não obscurecer a descrição da invenção
25 com apresentação de detalhes desnecessários.

A presente invenção refere-se a um processo para produzir um gás produto contendo hidrogênio. O processo é particularmente útil para a produção de um gás produto contendo hidrogênio com as reduzidas emissões de dióxido de carbono em relação aos convencionais processos de reforma vapor/hidrocarboneto.

Com referência às Figuras 1 a 3, o processo compreende a introdução de uma corrente de processo 10 compreendendo vapor e pelo menos um hidrocarboneto selecionado do grupo consistindo de metano, etano, propano, butano, pentano, e hexano em uma pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104 tubos reformadores contendo catalisador 104 em um forno de reforma 100 e reagir o pelo menos um hidrocarboneto e vapor dentro da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104 a uma temperatura variando de 700 °C a 1000 °C e uma pressão variando de 2 a 50 atmosferas para formar hidrogênio e monóxido de carbono na corrente de processo 10 e extrair uma retirada de uma corrente de reformados 12 da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104.

Como usado aqui, uma corrente de reformados é qualquer corrente compreendendo hidrogênio e monóxido de carbono formada a partir da reação de reforma de um hidrocarboneto e vapor.

A corrente de processo 10 pode conter mais de um hidrocarboneto. A corrente de processo pode ser

inicialmente formada a partir do gás natural e vapor, gás de petróleo liquefeito (GPL) e de vapor, nafta e vapor e/ou outros suprimentos conhecidos na arte. Conforme descrito em mais detalhe abaixo, a corrente de processo 10 pode ser
5 processada em um pré-reformador antes de introduzir a corrente de processo 10 na pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104.

Fornos reformadores com uma pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador, isto é, reformadores
10 tubulares, são bem conhecidas na arte. Materiais e métodos adequados de construção são conhecidos. O catalisador nos tubos reformadores contendo catalisador pode ser qualquer um catalisador adequado conhecido na arte, por exemplo, um catalisador suportado compreendendo níquel.

15 A corrente de reformados 12 extraída da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104 é resfriada em um trocador de calor 30, que pode ser uma caldeira para produzir vapor 36 a partir de uma corrente contendo água 34 mediante transferência indireta de calor e em seguida
20 remover calor da caldeira 30. A corrente reformada 12 pode ser passada para o trocador de calor 30 a remover calor da corrente de reformados 12 e melhorar a eficiência térmica do processo.

A corrente de reformados é passada ao reator de
25 troca 40. O processo compreende ainda reagir monóxido de carbono e vapor d'água na corrente de reformados 32, na

presença de um catalisador de troca 44, a uma temperatura variando de 190 °C a 500 °C e a uma pressão variando de 2 a 50 atmosferas para formar uma segunda corrente de processo 42 compreendendo dióxido de carbono, hidrogênio, monóxido de carbono e metano.

Reatores de troca e catalisadores de troca adequados são conhecidos na arte. O catalisador de troca pode ser um catalisador de troca de alta temperatura à base de ferro, ou um catalisador de troca de média temperatura à base de cobre, ou um catalisador de troca de baixa temperatura à base de cobre. Qualquer adequado catalisador de troca pode ser utilizado. Um hábil na arte pode facilmente selecionar um adequado catalisador de troca.

O catalisador de troca 44 pode compreender óxido de ferro e da temperatura de reação pode ser de 310 °C a 500 °C ou de 310 °C a 400 °C.

O catalisador de troca 44 pode compreender cobre e a temperatura de reação pode ser 200 °C a 400 °C ou 200 °C a 350 °C.

O processo compreende ainda limpar por lavagem a segunda corrente de processo 42, com uma corrente de lavagem 64 para formar uma corrente empobrecida em dióxido de carbono 62 e uma corrente de lavagem carregada em dióxido de carbono 66. A limpeza por lavagem pode ser feita em um lavador de gases chamado 60. A limpeza por lavagem do dióxido de carbono também é conhecida na arte como a

remoção de gases ácidos. A corrente de lavagem 64 pode ser qualquer fluido de limpeza por lavagem conhecido na arte, por exemplo N-metil dietanolamina (MDEA). Outros fluidos de limpeza por lavagem associados com outros métodos de
5 limpeza por lavagem associados com outros métodos de limpeza por lavagem, por exemplo, Rectisol®, Selexol®, Genosorb® e sulfinol são conhecidos na arte.

O termo "empobrecido" significa possuir uma concentração %molar menor do componente indicado que na
10 corrente original a partir da qual ela foi formada. Isso significa que a corrente empobrecida em dióxido de carbono tem uma menor concentração %molar de dióxido de carbono do que a segunda corrente de processo que foi introduzida no limpador por lavagem 60. A corrente de lavagem possuindo
15 uma afinidade para o dióxido de carbono será "carregada" com dióxido de carbono. O dióxido de carbono será absorvido ou de outro modo capturado pela corrente de lavagem 64.

A corrente empobrecida em dióxido de carbono 62 contém apenas uma pequena quantidade de dióxido de carbono.
20 Água pode ser também removida da segunda corrente de processo 42 antes do lavador de gases 60 e/ou no lavador de gases 60.

O processo compreende ainda a separação da corrente empobrecida em dióxido de carbono 62 em um separador 70
25 para formar o gás produto contendo hidrogênio 72 e um gás subproduto 76 constituído por metano e monóxido de carbono.

A etapa de separação da corrente de dióxido de carbono empobrecido pode ser feita por adsorção com oscilação de pressão e/ou de oscilação de pressão e/ou adsorção com oscilação da temperatura. O separador 70 pode ser um
5 adsorvedor com oscilação de pressão e/ou um adsorvedor com oscilação de temperatura. A construção e operação de adsorvedores com oscilação de pressão e adsorvedores com oscilação de temperatura são conhecidos na arte. Adequados dispositivos e condições de funcionamento podem ser
10 selecionadas por aqueles usualmente versados na técnica.

Adsorvedores com oscilação de pressão e/ou adsorvedores com oscilação de temperatura mais simples e menos eficientes e seus processos associados podem ser usados desde que uma parcela do gás produto contendo
15 hidrogênio 72 pode ser misturado com o gás subproduto 76 para utilização como combustível no forno reformador (descrito adiante).

Mais água pode ser removida da corrente empobrecida em dióxido de carbono 62 antes de separar a corrente
20 empobrecida em dióxido de carbono. A remoção de água é convencional e água podem ser removida por qualquer método adequado e dispositivo adequado de remoção de água conhecido na arte.

Com referência às Figuras 1 a 3, o processo
25 adicionalmente compreende a introdução de uma parcela 78 do gás subproduto 76 na corrente de processo 10, 14 em uma

posição a montante da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104 e/ou na corrente de reformados 12 em uma posição a montante de um catalisador de reforma em um reator secundário de reforma 20 (descrito mais adiante).

- 5 A parcela 78 do gás subproduto 76 podem ser introduzidos no fluxo do processo em um ou mais locais no processo. A parcela 78 do gás subproduto 76 pode ser introduzida na corrente de processo 10, 14 em uma posição a montante da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104.
- 10 A parcela 78 do gás subproduto 76 pode ser introduzida na corrente de reformados 12 em uma posição a montante de um catalisador de reforma em um reator secundário de reforma 20. A parcela 78 do gás subproduto 76 pode ser introduzida na corrente de processo 10, 14 em uma posição a montante da
- 15 pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104 e introduzidas na corrente de reformados 12 em uma posição a montante de um catalisador de reforma um reator secundário de reforma 20.

A parcela 78 do gás subproduto 76 pode ser dividida

20 uma parcela da corrente gás subproduto 76 formada a partir da separação da corrente empobrecida em dióxido de carbono 62 e assim ter a mesma composição que a corrente gás subproduto 76 formada a partir da separação da corrente empobrecida em dióxido de carbono 62. Como usado aqui uma

25 "parcela dividida" de uma corrente é uma parcela que possui

a mesma composição química como a da corrente de onde foi tirada.

Mediante introduzir introdução do gás subproduto de volta para a corrente de processo para processamento adicional, o carbono adicional na corrente pode ser convertido em dióxido de carbono e removido através da etapa de limpeza por lavagem. Qualquer gás subproduto proveniente do separador que seja reciclado de volta para a corrente de alimentação do processo reduz o CO₂ emitido pelo processo global de produção de hidrogênio.

De 50% a 98% em volume de gás subproduto formados pela separação da corrente empobrecida em dióxido de carbono no separador podem ser introduzidas na corrente de processo, 10, 12, e/ou 14. A quantidade de CO₂ emitido no processo de produção de hidrogênio pode ser efetivamente reduzida com o aumento da quantidade de gás subproduto que é reciclada de volta para a corrente de alimentação do processo.

O processo compreende ainda a combustão de um combustível composto por uma parcela do gás produto contendo hidrogênio, opcionalmente, uma parcela do gás subproduto, e, opcionalmente, um combustível complementar no forno reformador externo à pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador para fornecer energia para reagir metano e vapor d'água dentro da pluralidade de tubos reformadores contendo

catalisador 104. O gás de combustão 110 é extraído do forno reformador 100, e pelo fato do gás combustível 74 compreender hidrogênio em uma quantidade maior do que aquela dos fornos reformadores convencionais, o gás de combustão irá conter uma quantidade reduzida de dióxido de carbono em comparação aos fornos reformadores convencionais. O combustível complementar 18, é freqüentemente chamado de um combustível de compensação e pode ser, por exemplo, gás natural. A parcela do gás produto contendo hidrogênio 72 e a parcela do gás subproduto 76 podem ser parcelas divididas dos respectivos gases.

A quantidade de emissões de dióxido de carbono no gás de combustão 110 pode ser ajustada pela quantidade de gás produto contendo hidrogênio 72, da quantidade de gás subproduto 76 e da quantidade de combustível complementar 18 que são utilizados como combustível.

Para o caso em que a maioria do gás subproduto 76 é reciclada para a corrente de processo e o gás combustível 74 é constituído essencialmente de gás produto contendo hidrogênio 72, as emissões de dióxido de carbono no gás de combustão 110 serão substancialmente reduzidas. O gás combustível pode compreender 90% em volume a cerca de 98% em volume do gás produto contendo hidrogênio 72. Para fins práticos, pelo menos uma parcela do gás subproduto 76 pode ser utilizada como combustível 74 para evitar o acúmulo de

gases inertes (por exemplo, N₂ e Ar) nas correntes de processo. Alternativamente, e de forma menos desejada, uma parcela do gás subproduto 76 pode ser usada em outro processo e/ou descartada.

5 A Figura 2 e Figura 3 mostram características adicionais opcionais, por exemplo, um assim chamado pré-reformador 80, um reformador secundário de oxigênio 20, e um segundo reator de troca 50.

Um pré-reformador é aqui definido como qualquer
10 vaso reacional não sujeito a ação de chama que converte suprimento hidrocarboneto por reação com vapor ao longo de um catalisador com ou sem aquecimento. O pré-reformador pode ser um reator de leito fixo adiabático. O pré-reformador pode ser um reator tubular. O pré-reformador
15 geralmente emprega um tipo diferente de catalisador de um reformador primário, por exemplo, um catalisador de alta atividade contendo alto teor de níquel. As temperaturas em um pré-reformador pode estar na faixa de cerca 400 °C a cerca de 600 °C. O calor a um pré-reformador pode ser
20 fornecido a partir dos gases de exaustão de um reformador ou de outra fonte, mas é caracterizada pela ausência de aquecimento direto por uma chama de combustão. Um pré-reformador e um reformador podem estar fisicamente conectados.

25 Como mostrado na FIG. 2 e FIG. 3, antes de introduzir a corrente de processo 10 na pluralidade de

tubos reformadores contendo catalisador 104, o processo pode ainda incluir a introdução da corrente de processo 14 compreendendo vapor e pelo menos um hidrocarboneto selecionado do grupo consistindo de metano, etano, propano, butano, pentano e hexano dentro do reator 80 e reagir o pelo menos um hidrocarboneto e vapor na corrente de processo 14, na presença de um catalisador de reforma 84, um reator não sujeito a ação de chama (pré-reformador) a uma temperatura variando de 400 °C a 600 °C e uma pressão variando de 2 a 50 atmosferas antes de introduzir a corrente de processo compreendendo vapor e pelo menos um hidrocarboneto selecionado do grupo consistindo de metano, etano, propano, butano, pentano, hexano e na pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104.

Como usado aqui, a "corrente de processo" inclui a corrente compreendendo vapor e pelo menos um hidrocarboneto a montante do pré-reformador opcional 80, se presente, para a saída da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104, onde se torna a "corrente de reformados". No caso da ausência do pré-reformador opcional 80, a corrente de processo inclui a corrente de vapor e pelo menos um hidrocarboneto a montante da entrada da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104 para a saída da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador.

A composição de hidrocarbonetos pode variar à medida que a corrente de processo 10, 14 é reagida. Por exemplo, o pelo menos um hidrocarboneto pode inicialmente incluir propano e butano e após reagir em um pré-reformador, o pelo menos um hidrocarboneto na corrente de processo pode ser metano.

O catalisador de reforma 84 pode ser qualquer catalisador de reforma adequado conhecido na arte quanto aos assim chamados "pré-reformadores". Pré-reforma é um termo usado para descrever a reforma antes da etapa principal a reforma, por exemplo, em um reformador queimado. Catalisadores para pré-reforma estão disponíveis comercialmente. Uma vez que os artigos "um" e "o" significam um ou mais, mais que um pré-reformador e mais um catalisador da reforma podem ser usados.

O catalisador de reforma 84 pode compreender pelo menos um metal selecionado de um grupo composto de níquel, cobalto, platina, paládio, ródio, rutênio, irídio e suas misturas.

Adequados catalisadores de reforma para a pré-reforma são discutidos em patentes nas Patentes norte americanas U.S. Nos. 4105591, 3882636, 3988425, Patentes inglesas GB. Nos. 969.637, 1150066, e 1155843.

O catalisador de reforma 84 pode estar em uma grande variedade de formas ou de outras formas, como por exemplo pastilhas cilíndricas, anéis de Raschig,

catalisadores de configuração multifuros, etc., ou outra forma conhecido conhecidos na arte. O tamanho do catalisador pode variar de cerca 1 mm a 15 mm de diâmetro. O comprimento do catalisador pode variar de cerca 3 mm a 10
5 mm. O tamanho ideal para uma determinada aplicação depende de uma série de fatores, incluindo a forma do catalisador e a carga de níquel, a temperatura, pressão e composição da alimentação, e a queda de pressão permitida. Um catalisador de uma forma multifuro com um diâmetro na faixa 5 mm a 25
10 mm e uma altura a relação diâmetro de 0,5 a 1,2 são adequados para catalisador de reforma 102. Um hábil na arte é capaz de selecionar o catalisador adequado com uma forma adequada para o catalisador de reforma 84.

O catalisador de reforma 84 também podem ser
15 catalisadores de empacotamento estruturado onde o catalisador é aplicado como um banho de revestimento em um empacotamento estruturado. Empacotamento estruturado é conhecido na arte. Como aqui utilizado, o termo "empacotamento estruturado" significa uma guia de fluxo
20 possuindo uma pluralidade de passagens substancialmente paralelas. Substancialmente paralelas significa paralelo dentro das tolerâncias de fabricação. Davidson, na Patente norte americana U.S. No. 4340501 descreve uma estrutura em um vaso do reator, onde o fluido é intermitente, mas
25 colocado de forma controlável com as paredes do vaso reator.

Como mostrado na Figura 2 e Figura 3, uma parcela do gás subproduto 76 pode ser reciclada de volta para o reator 80. A corrente de processo 14 pode compreender uma parcela do gás subproduto 76.

5 A Figura 2 e a Figura 3 também mostram um opcional reator secundário de reforma 20 localizado no processo entre a pluralidade de tubos contendo catalisador 104 e o reator de troca 40. O processo pode compreender ainda a introdução de um gás rico em oxigênio 26 na corrente de reformados 12 após a extração da corrente de reformados 12 da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104 para oxidar parcialmente a corrente de reformados, e reagir a corrente de reformados parcialmente oxidada 12 na presença de um catalisador de reforma 24 no reator secundário de reforma 20 sob condições de reação 15 suficientes para formar produtos de reação que compreendem monóxido de carbono e hidrogênio na corrente de reformados 22. O gás rico em oxigênio 26 pode ser introduzido na corrente de reformados 12 antes do reator 20 ou pode ser 20 introduzido na corrente de reformados 12 no reator 20, por exemplo através de um queimador.

Reatores secundários de reforma são bem conhecidos na arte e são usados amplamente para a produção de amônia e metanol. Reatores secundários de reforma são vasos de 25 reação revestidos com um ou mais queimadores e um leito de catalisador de reforma. O calor exigido para a reação de

reforma é fornecido pela oxidação parcial (combustão) de uma parcelada alimentação.

O efluente proveniente do reformador primário é alimentado para o reator secundário de reforma onde é
5 misturado com o oxigênio alimentado através de um queimador. As reações de oxidação parcial ocorrem em uma zona de combustão próxima ou logo abaixo do queimador. A mistura parcialmente oxidada, em seguida, passa por um catalisador, onde a mistura é substancialmente
10 termodinamicamente equilibrada sobre o catalisador de reforma.

A Patente norte americana U.S. No. 3479298, aqui incorporada por referência, revela um reformador secundário para a produção de um gás contendo hidrogênio e oxigênio, e
15 revela que se oxigênio é usado em vez de ar, o gás de processo que sai do reformador secundário é um gás adequado para um tratamento adicional para produzir metanol ou hidrogênio de alta pureza.

Tindall et al. "Alternative technologies to steam-
20 methane reforming," *Hydrocarbon Processing*, pp. 75-82, novembro 1995, também revelam um reformador secundário de oxigênio para produzir o hidrogênio.

Como usado aqui, um gás rico em oxigênio é um gás contendo oxigênio tendo uma concentração de oxigênio de 98%
25 em volume a 100% em volume, por exemplo oxigênio de grau industrial. Oxigênio é adicionado em uma quantidade para

combustão incompleta de quaisquer hidrocarbonetos na corrente de reformados. O fluxo resultante 22 é rico em hidrogênio e monóxido de carbono.

O catalisador da reforma 24 pode ser qualquer tipo de catalisador de reforma vapor convencional para qualquer tipo de gás de alimentação que seja adequado para promover a reação de metano e vapor para produzir hidrogênio. Típicos catalisadores de reforma adequados incluem catalisadores níquel tais como níquel e/ou óxido de níquel suportado em um suporte tal como alumina. O catalisador de níquel geralmente contém de 8 a 30% em peso de níquel calculado como NiO e pode também conter outros metais ou promotores compostos metálicos. Catalisadores adequados podem ser facilmente selecionados por aqueles usualmente versados na técnica.

Condições reacionais suficientes para formar produtos de reação no reator secundário de reforma incluem uma temperatura variando de 800 °C a 1200 °C ou de 900 °C a 1100 °C e uma pressão variando de 2 a 50 atmosferas.

Como mostrado na Figura e na Figura 3, uma parcela 78 do gás subproduto 76 pode ser introduzida na corrente de processo 10, 14 em uma posição a montante da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104 e/ou na corrente de reformados 12 em uma posição a montante do reator secundário de reforma 20. A parcela 78 do gás

subproduto 76 pode ser introduzida numa das posições ou subdividida e introduzida em duas ou mais posições. Por exemplo, a parcela 78 do gás subproduto 76 pode ser introduzida na corrente de processo 10 logo acima da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104. Alternativamente, a parcela 78 do gás subproduto 76 pode ser dividida com uma primeira parcela introduzida na corrente de processo 10 em uma posição a montante da pluralidade do tubos reformadores contendo catalisador e uma segunda parcela do gás subproduto introduzida na corrente de reformados 12 a montante do reator secundário de reforma 20. A corrente de reformados 12 pode compreender pelo menos uma parcela do gás subproduto 76.

No geral, nem todo o gás subproduto 76 será reciclado para a corrente de processos e/ou a corrente de reformados. Outra parcela 77 da corrente subproduto pode ser introduzida na corrente de gás combustível 74, como mostrado nas Figuras 1 a 3. Essa outra parcela 77 pode ser exigida par purgar o processo de gases inertes (por exemplo, N_2 e Ar).

Como mostrado na Figura 2 e Figura 3, o processo pode compreender a introdução de um gás de alimentação 28 na corrente de reformados 12 após a extração da corrente de reformados 12 da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104. O gás de alimentação 28 compreende pelo menos um hidrocarboneto e, opcionalmente, vapor. O pelo

menos um hidrocarboneto é selecionado do grupo consistindo de metano, etano, propano, butano, pentano e hexano. A adição do vapor é opcional em caso de uma quantidade adequada de vapor restar do reformador primário. O processo
5 pode compreender ainda a introdução de um gás rico em oxigênio 26 na corrente de reformados após a extração da corrente de reformados proveniente da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador para oxidar parcialmente a corrente de reformados. O processo pode então compreender
10 reagir a corrente de reformados parcialmente oxidada na presença do catalisador de reforma 24 no reator secundário de reforma 20 sob condições de reação suficientes para formar produtos de reação que compreendem monóxido de carbono e hidrogênio na corrente de reformados 12.

15 O gás de alimentação 28 pode ser introduzido na corrente de reformados 12 antes que a mistura resultante seja introduzida no reator secundário de reforma 20. O gás de alimentação 28 pode ser introduzido na corrente de reformados 12 no reator secundário 20. Tipicamente, o gás
20 rico em oxigênio vai ser introduzido no reator secundário 20 separadamente do gás de alimentação 28 e da corrente de reformados 12.

A fontes de hidrocarbonetos para o gás de alimentação 28 pode ser a mesma como a fonte de
25 hidrocarbonetos para a corrente de processo 10, 14.

A vantagem de fornecer uma alimentação de gás compreendendo pelo menos um hidrocarboneto e reagir o gás de alimentação no reator secundário de reforma 20 é que o tamanho do forno reformador 100 e, correspondentemente, a pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador, será menor. Um hábil na arte pode adequadamente otimizar o tamanho e a quantidade de matéria-prima processada no forno reformador 100 e do reator secundário de reforma 20. Outro benefício é que as exigências de combustível no reformador primário são reduzidas.

Como mostrado na Figura 2 e na Figura 3, o processo pode compreender um segundo reator de troca 50. A segunda corrente de processo 42 extraída do reator de troca 40 pode ainda ser submetida a troca no segundo reator de troca 50. A segunda corrente de processo pode ser convenientemente resfriada antes de ser introduzida no segundo reator de troca 50. O processo pode então adicionalmente compreender reagir monóxido de carbono e vapor d'água na segunda corrente de processo 42, na presença de catalisador de troca 54, a uma temperatura variando de 190 °C a 300 °C e uma pressão variando de 2 a 50 atmosferas para formar dióxido de carbono e hidrogênio na segunda corrente de processo 52. O catalisador de troca 54 pode compreender cobre. Adequados catalisadores podem ser facilmente selecionados por aqueles usualmente versados na técnica. Esta etapa do processo adicional, se incluída, pode ser

conduzida antes da etapa de limpeza por lavagem da segunda corrente de processo 52.

Esta seqüência de duas etapas de reação de troca pode ser uma substituição em alta temperatura, seguida por
5 uma substituição em baixa temperatura. A substituição em alta temperatura é realizada usando um catalisador de troca à base de ferro a uma temperatura variando de 310 °C a 500 °C ou de 310 ° a 400 °C. A mudança em baixa temperatura é realizada utilizando um catalisador de troca compreendendo
10 cobre e, opcionalmente, óxido de zinco a uma temperatura variando de 190 °C a 300 °C.

Como usado aqui, a "segunda corrente de processo" inclui o fluxo compreendendo dióxido de carbono, hidrogênio, monóxido de carbono e metano proveniente da
15 saída do reator de troca a montante para a saída do lavador de gases onde uma parcela se torna a "corrente empobrecida em dióxido de carbono".

Exemplos

A invenção será melhor compreendida com referência
20 aos exemplos a seguir, que servem para ilustrar, mas não para limitar o escopo da invenção, a invenção sendo definida pelas reivindicações.

A totalidade dos exemplos a seguir foram simulados usando Aspen Plus ®. Os resultados são normalizados para um
25 débito de produto hidrogênio a partir do processo de produção de hidrogênio de 100.000 Nm³/h. O débito de

produto hidrogênio é o hidrogênio total produzido menos qualquer quantidade usada par combustão no reformador. Os lavadores 60 e 260 são considerados serem 100% eficazes na remoção de CO₂. A água também é removida no lavador.

5 A composição do gás subproduto 76, 276 é baseada em um adsorvedor de oscilação de pressão. O pré-reformador não foi utilizado em qualquer um dos exemplos.

O gás natural foi considerado ser 98% molar de CH₄ e 2% molar de N₂.

10 Exemplo 1

A Figura 4 ilustra um fluxograma do processo para um processo de produção de hidrogênio da arte já existente. de hidrogênio. Um reator de troca de alta temperatura 240 é usado. O combustível para o reformador é fornecido pelo gás subproduto 276 e pelo combustível de compensação gás natural. Nenhum hidrogênio é utilizado como combustível e nada do gás subproduto é reciclado de volta para a corrente de processo. Os resultados são resumidos na Tabela 1.

20 As emissões de CO₂ de 16.167 Nm³/h foram calculadas para um débito de produto de hidrogênio de 100.000 Nm³/h. O gás de combustão CO₂ é cerca 40% da alimentação de CH₄. O saldo de 60% é removido no lavador 260. Para facilitar a comparação com outros casos, a relação molar de emissões de CO₂ relativamente ao debito de produto hidrogênio (100.000

Nm^3/h) é mostrada na Tabela 1. A relação molar CO_2/H_2 para esse caso base é de 0,162.

Tabela 1

| Corrente | Sem reciclo |
|---|-------------|
| Gás produto contendo H_2 usado como combustível (Nm^3/h) | 0 |
| CO_2 no gás de combustão (Nm^3/h) | 16.167 |
| Gás subproduto reciclado (Nm^3/h) | 0 |
| Gás subproduto usado como combustível (Nm^3/h) | 28.957 |
| Trabalho do reformador (kW) | 106.658 |
| CO_2/H_2 | 0,162 |
| Fração molar de N_2 no reciclo | 0,027 |
| Alimentação de CH_4 (Nm^3/h) | 40.499 |

Exemplo 2

5 O Exemplo 2 é baseado no fluxograma de processo mostrado na FIG. 1. O combustível para queimar no reformador 100 é fornecido pelo gás subproduto 76 e gás

produto contendo hidrogênio 72. A quantidade de gás subproduto e gás contendo hidrogênio depende da quantidade de gás subproduto reciclada para a corrente de processo. Nenhum combustível de compensação gás natural é usado. Um reator de troca de alta temperatura 40 é utilizado. Diversos casos são resumidos na Tabela 2 que representando diversas quantidades de reciclagem do gás subproduto 76 de volta para a corrente de processo 10 a montante da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104.

10 A Tabela 2 mostra o efeito do reciclo do subproduto na relação molar das emissões de CO_2 relativamente ao débito de produto hidrogênio. Com 98% do gás subproduto reciclado, a relação molar CO_2/H_2 é reduzida para 0,013 em comparação com 0,162 para o Exemplo 1.

15 Para esse caso, pequenas quantidades de reciclo de gás subproduto não parecem melhorar muito a relação molar das emissões de CO_2 relativamente ao débito de produto hidrogênio. Todavia, com níveis maiores de reciclo de gás subproduto e utilizando hidrogênio como o combustível de compensação, as emissões de CO_2 podem ser reduzidas em uma ordem de magnitude.

20 Com 98% de reciclo do gás subproduto, o teor de N_2 de gás de reciclo é de 34% em mol. Isto representa uma grande quantidade de N_2 que circula no 'loop' de processo, e como um resultado, a energia de compressão do sistema
25 será aumentada. O trabalho do reformador também aumenta com

a quantidade do fluxo de reciclo. Com capital adicional, essa corrente pode ser submetida a troca térmica para criar vapor que será produzido com baixas emissões de CO₂. Isto está em contraste com caldeiras que operam por queima, as

5 quais geram substanciais emissões de CO₂.

Tabela 2

| Corrente | Sem reciclo | Reciclo 50% gás subproduto | Reciclo 90% gás subproduto | Reciclo 98% gás subproduto |
|---|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Gás produto contendo H ₂ usado como combustível (Nm ³ /h) | 6.466 | 25.815 | 65.108 | 88.298 |
| CO ₂ no gás de combustão (Nm ³ /h) | 15.081 | 12.000 | 5.112 | 1.302 |
| Gás subproduto reciclado (Nm ³ /h) | 0 | 21.573 | 74.842 | 136.406 |
| Gás subproduto usado como combustível (Nm ³ /h) | 30.661 | 21.571 | 8.315 | 2.784 |
| Trabalho do reformador (kW) | 113.451 | 126.056 | 158.178 | 182.204 |
| CO ₂ /H ₂ | 0,151 | 0,120 | 0,051 | 0,013 |
| Fração molar de N ₂ no reciclo | 0,027 | 0,039 | 0,109 | 0,343 |
| Alimentação de CH ₄ (Nm ³ /h) | 40.499 | 42.187 | 45.353 | 47.883 |

Exemplo 3

O Exemplo 3 baseia-se no fluxograma de processo mostrado na Figura 1 e é semelhante ao exemplo 2, exceto
5 que um reator de troca de baixa temperatura é usado junto com o reator de troca de alta temperatura. Todo o combustível de compensação é fornecido pelo gás produto contendo hidrogênio.

Os resultados estão resumidos na Tabela 3, para
10 diversas quantidades de reciclagem do gás subproduto de volta para a corrente de processo a montante da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104.

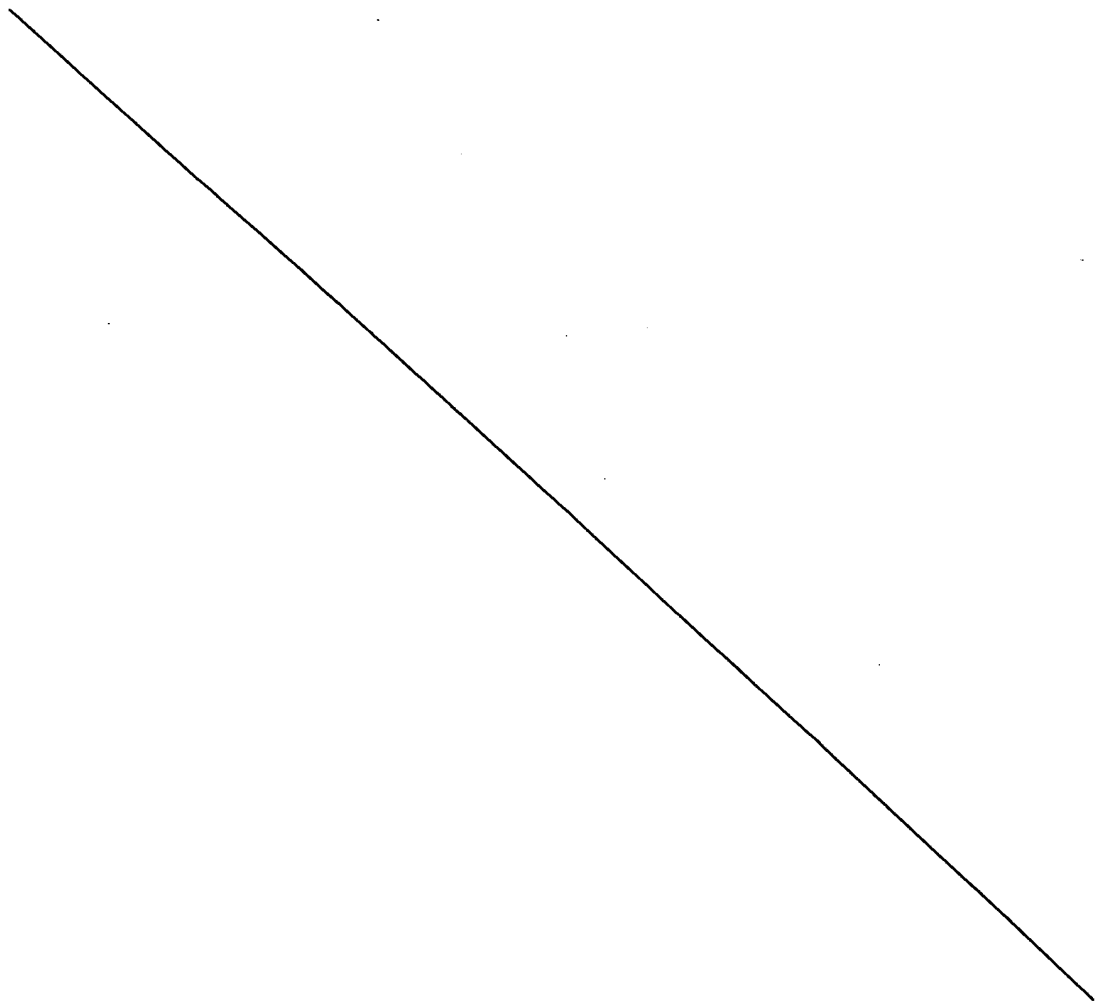


Tabela 3

| Corrente | Sem reciclo | Reciclo 50% gás subprodu to | Reciclo 90% gás subprodu to | Reciclo 98% gás subprodu to |
|--|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Gás produto contendo H ₂ usado como combustível (Nm ³ /h) | 11.752 | 32.128 | 68.683 | 86.388 |
| CO ₂ no gás de combustão (Nm ³ /h) | 10.322 | 7.901 | 2.844 | 605 |
| Gás subproduto reciclado (Nm ³ /h) | 0 | 17.913 | 54.807 | 101.108 |
| Gás subproduto usado como combustível (Nm ³ /h) | 26.635 | 17.913 | 6.090 | 2.063 |
| Trabalho do reformador (kW) | 114.489 | 128.316 | 157.495 | 175.840 |
| CO ₂ /H ₂ | 0,103 | 0,079 | 0,028 | 0,006 |
| Fração molar de N ₂ no reciclo | 0,031 | 0,048 | 0,148 | 0,455 |
| Alimentação de CH ₄ (Nm ³ /h) | 41.314 | 42.561 | 45.200 | 47.055 |

Os resultados mostram que o uso de um reator de troca de baixa temperatura é eficaz para reduzir a

quantidade de emissões de CO₂. Comparado ao exemplo 2, as emissões de CO₂ são menores para cada respectiva quantidade de subproduto o gás de reciclagem.

A Tabela 3 mostra o efeito do reciclo do subproduto na relação molar das emissões de CO₂ relativamente ao débito de produto hidrogênio. Com 98% do gás subproduto reciclado, a relação molar CO₂/H₂ é reduzida para 0,006, o que é substancialmente inferior àquela do exemplo 1, onde a relação molar CO₂/H₂ foi de 0,162.

Em geral, existe maior recuperação de CO₂, menos emissões de CO₂, menor trabalho do reformador e um menor volume de gás reciclado em relação às respectivas porcentagens de reciclo de gás subproduto no Exemplo 2.

Exemplo 4

O Exemplo 4 está baseado no fluxograma de processo mostrado na Figura 2 e é semelhante ao Exemplo 3, exceto que um reformador secundário de oxigênio é utilizado. O oxigênio para o reformador secundário de oxigênio 20 é assumido por volta de 99%vol O₂ e 1%vol Ar. A totalidade do combustível de compensação é fornecido pelo gás produto contendo hidrogênio.

Os resultados estão resumidos na Tabela 4 para diversas quantidades de reciclagem do gás subproduto de volta para a corrente de processo a montante da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104.

A Tabela 4 mostra o efeito da reciclagem do subproduto sobre a relação molar das emissões de CO₂ relativamente ao débito de produto hidrogênio. Com 98% do gás subproduto reciclado, a relação molar CO₂/H₂ é reduzida a 0,0003, que é substancialmente menor do que um exemplo onde a relação molar CO₂/H₂ era 0,162.

Com o reformador secundário de oxigênio, o deslize de metano é muito baixo e mesmo sem uma corrente de reciclagem, a emissão de CO₂ é quase tão baixa como no Exemplo 2 com 98% de reciclo de gás subproduto.

Esta configuração tem baixo trabalho de reformador e baixas exigências de alimentação de metano, mas tem uma exigência de oxigênio.

Em geral, há maior recuperação de CO₂, menos emissões de CO₂, menor trabalho do reformador e um menor volume de gás reciclado em relação às respectivas porcentagens de reciclo do gás subproduto nos Exemplos 2 e 3.

Tabela 4

| Corrente | Sem reciclo | Reciclo 50% gás subproduto | Reciclo 90% gás subproduto | Reciclo 98% gás subproduto |
|---|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Gás produto contendo H ₂ usado como combustível (Nm ³ /h) | 23.200 | 31.441 | 39.960 | 47.078 |
| CO ₂ no gás de combustão (Nm ³ /h) | 1.524 | 832 | 176 | 32 |
| Gás subproduto reciclado (Nm ³ /h) | 0 | 10.921 | 28.101 | 72.796 |
| Gás subproduto usado como combustível (Nm ³ /h) | 19 557 | 10.922 | 3.123 | 1.485 |
| Trabalho do reformador (kW) | 84.338 | 82.812 | 83.439 | 94.070 |
| CO ₂ /H ₂ | 0,015 | 0,008 | 0,002 | 0,0003 |

| | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Fração molar de N ₂ no reciclo | 0,043 | 0,078 | 0,274 | 0,597 |
| Alimentação de CH ₄ (Nm ³ /h) | 0,007 | 0,013 | 0,048 | 0,106 |
| Gás produto contendo H ₂ usado como combustível (Nm ³ /h) | 13.261 | 14.118 | 14.984 | 15.702 |
| CO ₂ no gás de combustão (Nm ³ /h) | 42.166 | 42.366 | 42.838 | 44.518 |

Exemplo 5

O Exemplo 5 baseia-se no fluxograma do processo mostrado na Figura 3 e é semelhante ao Exemplo 4, exceto que o gás subproduto é reciclado para o reformador secundário de oxigênio ao invés de reciclagem para o reformador primário 100. O oxigênio para o reformador secundário de oxigênio 20 é assumido por volta de 99%vol O₂ e 1%vol Ar. A totalidade do combustível de compensação é fornecido pelo gás produto contendo hidrogênio.

Os resultados estão resumidos na Tabela 5 para diversas quantidades de reciclagem do gás subproduto de

volta para a corrente de processo a montante da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador 104 e a montante do reformador secundário de oxigênio 20.

Tabela 5 mostra o efeito da reciclagem do subproduto sobre a relação molar das emissões de CO₂ relativamente ao débito de produto hidrogênio. Com 98% do gás subproduto reciclado, a relação molar CO₂/H₂ é reduzida a 0,0003, que é substancialmente menor do que um exemplo onde a relação molar CO₂/H₂ foi 0,162. Os resultados não são muito diferentes do que do Exemplo 4, exceto que a necessidade de oxigênio é maior e a alimentação de gás natural é maior. Com a integração adequada de um trocador de calor, mais vapor pode ser gerado. Este vapor será produzido com emissões de CO₂ muito baixas em comparação com uma caldeira de queima.

Com o reformador secundário de oxigênio, o deslizamento de metano é muito baixo e mesmo sem uma corrente de reciclagem, a emissão de CO₂ é quase tão baixa como no Exemplo 2 com 98% de reciclo de gás subproduto.

Em geral, há maior recuperação de CO₂, menos emissões de CO₂, menor trabalho do reformador e um menor volume de gás reciclado em relação às respectivas porcentagens de reciclo do gás subproduto nos Exemplos 2 e 3.

Tabela 5

| Corrente | Sem reciclo | Reciclo 50% gás subproduto | Reciclo 90% gás subproduto | Reciclo 98% gás subproduto |
|---|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Gás produto contendo H ₂ usado como combustível (Nm ³ /h) | 23.200 | 32.779 | 42.082 | 46.471 |
| CO ₂ no gás de combustão (Nm ³ /h) | 1.524 | 838 | 173 | 27 |
| Gás subproduto reciclado (Nm ³ /h) | 0 | 11.031 | 28.611 | 76.310 |
| Gás subproduto usado como combustível (Nm ³ /h) | 19.557 | 11.032 | 3.179 | 1.557 |
| Trabalho do reformador (kW) | 84.338 | 85.669 | 87.695 | 92.817 |
| CO ₂ /H ₂ | 0,015 | 0,008 | 0,002 | 0,0003 |

| | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Fração molar de N ₂ no reciclo | 0,043 | 0,078 | 0,276 | 0,593 |
| Alimentação de CH ₄ (Nm ³ /h) | 0,007 | 0,013 | 0,05 | 0,127 |
| Gás produto contendo H ₂ usado como combustível (Nm ³ /h) | 13.261 | 14.333 | 15.935 | 19.805 |
| CO ₂ no gás de combustão (Nm ³ /h) | 42.166 | 42.832 | 43.845 | 46.406 |

Embora a presente invenção tenha sido descrita de acordo com modalidades ou exemplos específicos, ela não está limitada a estes, mas pode ser alterada ou modificada em qualquer das diversas outras formas sem se afastar do

5 escopo da invenção como definido nas reivindicações anexas.

- REIVINDICAÇÕES -

1. PROCESSO PARA PRODUZIR UM GÁS PRODUTO CONTENDO HIDROGÊNIO, o processo caracterizado por compreender:

(a) introduzir uma corrente de processo
5 compreendendo vapor e pelo menos um hidrocarboneto selecionado do grupo consistindo de metano, etano, propano, butano, pentano, e hexano e em uma pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador em um forno reformador e reagir a corrente de processo dentro da pluralidade de
10 tubos reformadores contendo catalisador numa primeira temperatura variando de 700 °C a 1000 °C e uma primeira pressão variando de 2 a 50 atmosferas para formar uma corrente de reformados que compreende hidrogênio, monóxido de carbono, metano e vapor d'água e extrair a corrente de
15 reformados da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador;

(b) reagir a corrente de reformados na presença de um catalisador de troca em uma segunda temperatura variando 190 °C a 500 °C e uma segunda pressão variando de 2 a 50
20 atmosferas para formar uma segunda corrente de processo que compreende dióxido de carbono, hidrogênio, monóxido de carbono e metano;

(c) limpar por lavagem a segunda corrente de processo com uma corrente de lavagem para formar uma
25 corrente pobre em dióxido de carbono e uma corrente de lavagem carregada de dióxido de carbono;

(d) separar a corrente empobrecida em dióxido de carbono para formar o gás produto contendo hidrogênio e um gás subproduto compreendendo metano e monóxido de carbono;

(e) introduzir uma parcela do gás subproduto dentro da corrente de processo numa posição a montante da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador e/ou na corrente de reformados em uma posição a montante de um catalisador de reforma em um reator secundário de reforma;

e

(f) queimar um gás combustível compreendendo uma parcela do gás produto contendo hidrogênio, opcionalmente, uma parcela do gás subproduto, e, opcionalmente, um combustível suplementar no forno reformador externo à pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador para fornecer de energia para reagir a corrente de processo dentro da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador, e extrair um gás de combustão do forno reformador.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por de 50% a 98% em volume do gás subproduto formado na etapa (d) ser introduzido na corrente de processo na etapa (e).

3. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por adicionalmente compreender:

reagir a corrente de processo na presença de um catalisador de reforma em um segundo reator não sujeito a

ação de chama a uma terceira temperatura variando na faixa 425 °C a 600 °C e uma terceira pressão variando na faixa 2 a 50 atmosferas para formar dióxido de carbono e hidrogênio na corrente de processo antes de introduzir a corrente de processo na pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por a parcela do gás subproduto pode ser introduzida na corrente de processo a montante do reator não sujeito a ação de chama.

5. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por adicionalmente compreender:

introduzir um gás rico em oxigênio na corrente de reformados após a extração da corrente de reformados proveniente da pluralidade de tubos reformadores contendo catalisador para oxidar parcialmente a corrente de reformados; e

reagir a corrente de reformados parcialmente oxidados na presença do catalisador de reforma no reator secundário de reforma sob condições de reação suficientes para formar produtos de reação que compreende monóxido de carbono e hidrogênio na corrente de reformados antes de reagir a corrente de reformados na presença do catalisador de troca.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por a parcela do gás subproduto pode ser

introduzida na corrente de reformados na posição a montante do reator secundário de reforma.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por adicionalmente compreender:

5 introduzir um gás de alimentação compreendendo pelo menos um hidrocarboneto e, opcionalmente, vapor na corrente de reformados após a extração da corrente de reformados proveniente da pluralidade de catalisador contendo tubos reformador, o pelo menos um hidrocarboneto selecionado do
10 grupo consistindo de metano, etano, butano, propano, pentano e hexano;

 introduzir um gás rico em oxigênio na corrente de reformados após a extração da corrente de reformados proveniente da pluralidade de tubos reformadores contendo
15 catalisador para oxidar parcialmente a corrente de reformados; e

 reagir a corrente de reformados parcialmente oxidados na presença do catalisador de reforma no reator secundário de reforma sob condições de reação suficientes
20 para formar produtos de reação que compreende monóxido de carbono e hidrogênio na corrente de reformados antes de reagir a corrente de reformados na presença do catalisador de troca.

8. Processo, de acordo com a reivindicação ,
25 caracterizado por o catalisador de troca compreender óxido

de ferro e a segunda temperatura variar na faixa de 310 °C a 500 °C.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o catalisador de troca compreender cobre e a segunda temperatura variar na faixa de 200 °C a 400 °C.

10. Processo, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por adicionalmente compreender:

reagir a segunda corrente de processo na presença de um segundo catalisador de troca, numa quarta temperatura variando entre 190 °C a 300 °C e uma quarta pressão variando de 2 a 50 atmosferas para formar dióxido de carbono e hidrogênio na segunda corrente de processo antes da etapa de limpar por lavagem a segunda corrente de processo.

15 11. Processo, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por o segundo catalisador de troca compreender cobre.

20 12. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o gás combustível compreender de 30% em volume a 98% em volume de gás produto contendo hidrogênio e de 2% em volume a 70% em volume gás subproduto .

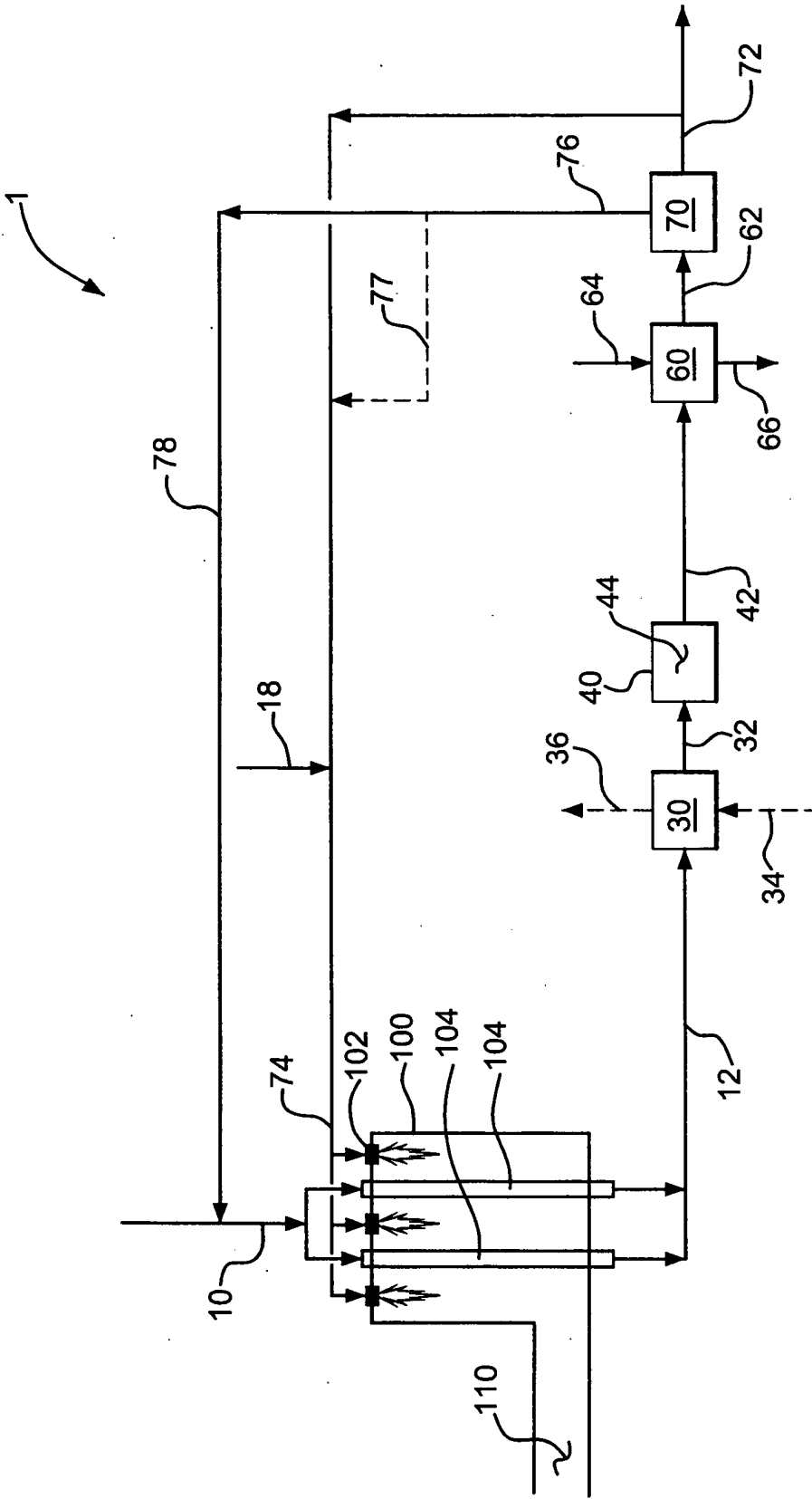


FIG. 1

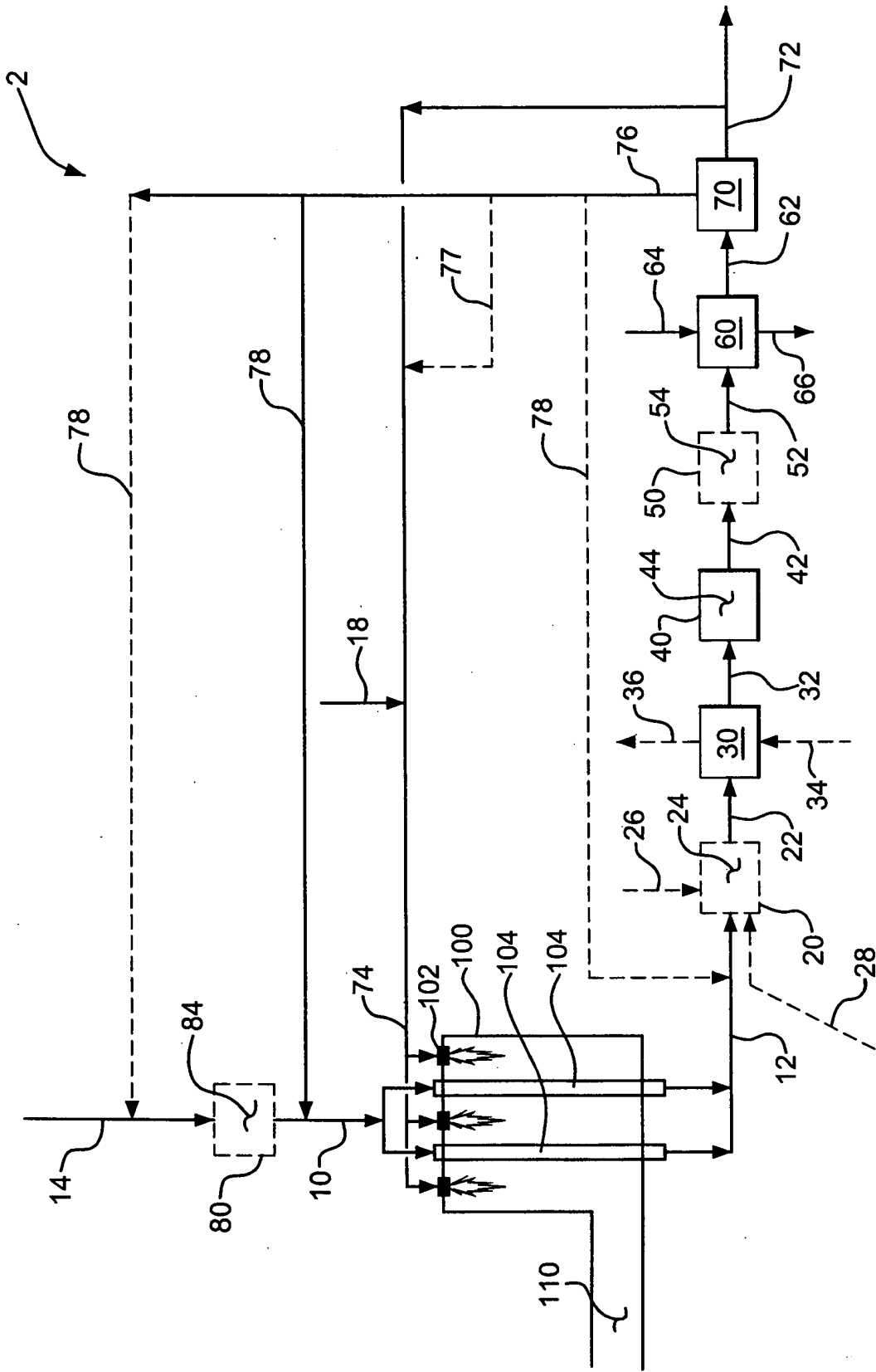


FIG. 2

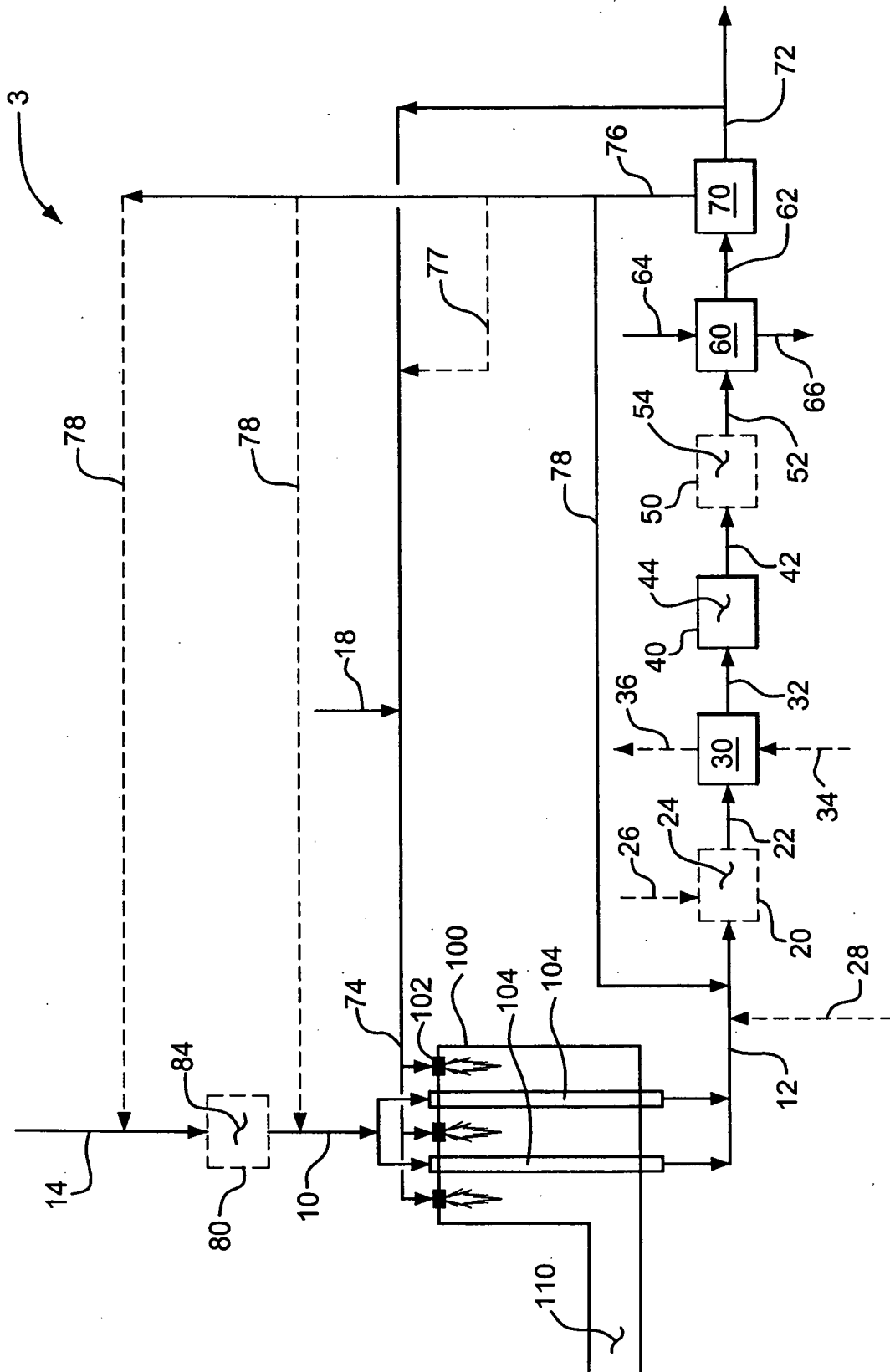


FIG. 3

4

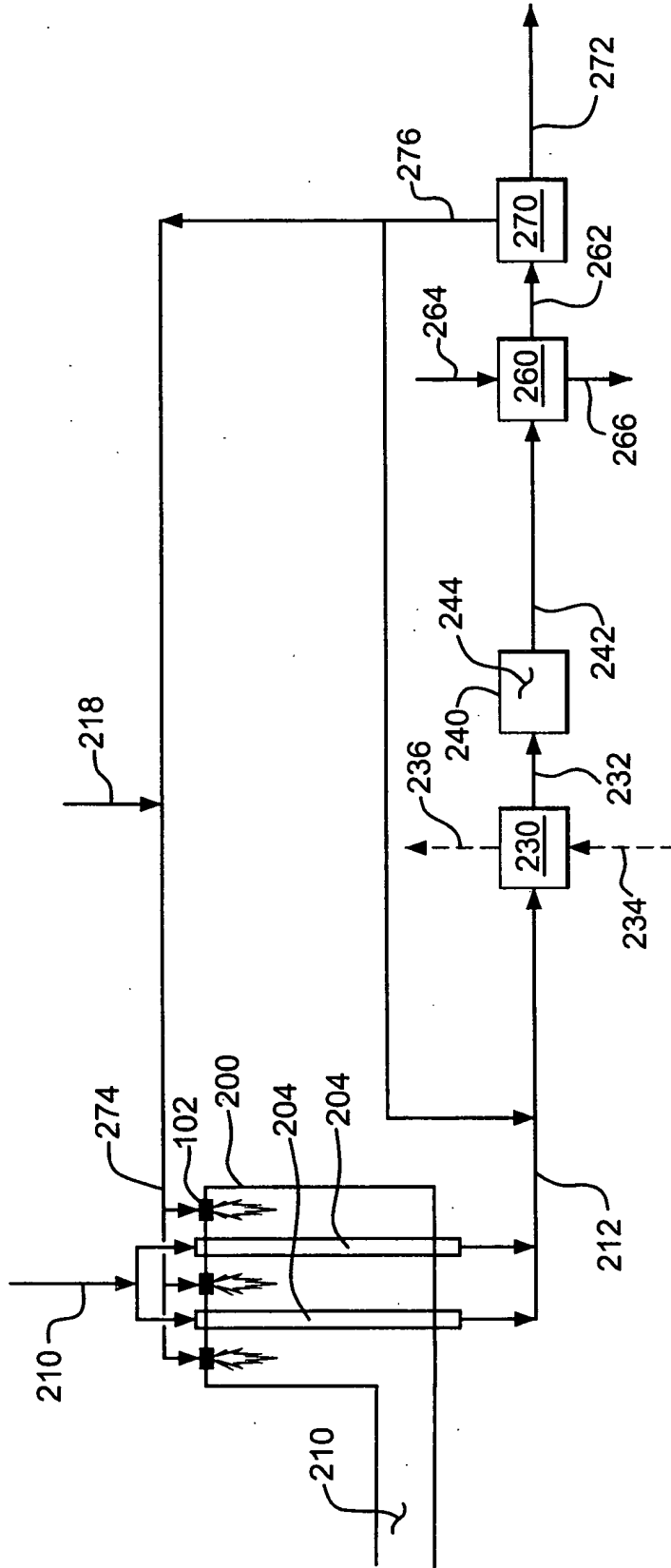


FIG. 4
Prior Art

- RESUMO -

PROCESSO PARA PRODUZIR UM GÁS PRODUTO CONTENDO HIDROGÊNIO

Um processo para a produção de um gás produto contendo hidrogênio com reduzidas emissões de dióxido de carbono em comparação com processos convencionais de produção de hidrogênio. Um hidrocarboneto e vapor são reformadas em um reformador e a corrente de reformado resultante é submetida a substituição em um ou mais reatores de troca. A mistura submetida a substituição é submetida a limpeza por lavagem para remover o dióxido de carbono par formar uma corrente empobrecida em dióxido de carbono. A corrente empobrecida em dióxido de carbono é separada para formar um gás produto contendo hidrogênio e um gás subproduto. Uma parcela do gás produto contendo hidrogênio é usada como combustível no reformador e uma parcela do gás subproduto é reciclada de volta para o processo. O processo pode, opcionalmente, incluir a reforma de um pré-reformador e/ou um reformador secundário de oxigênio.