

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

(21) **PI0702906-3 A2**



(22) Data de Depósito: 15/02/2007
(43) Data da Publicação: 22/03/2011
(RPI 2098)

(51) *Int.Cl.:*
C21B 5/00
F25J 3/04

(54) Título: **MÉTODO DE INTEGRAÇÃO DE UM ALTO-FORNO E INSTALAÇÃO PARA PREPARAÇÃO DO REFERIDO MÉTODO**

(30) Prioridade Unionista: 03/03/2006 FR 0650762

(73) Titular(es): L AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR
L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS GEORGES
CLAUDE

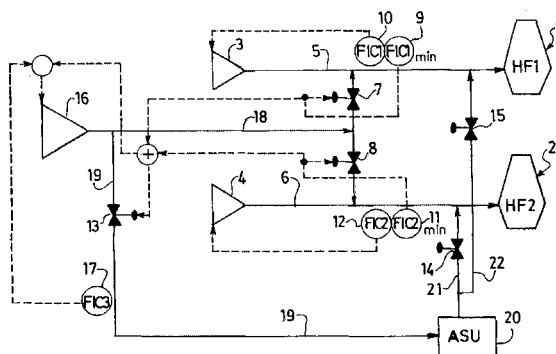
(72) Inventor(es): MICHEL DEVAUX, RICHARD DUBETTIER-
GRENIER

(74) Procurador(es): Flávia Salim Lopes

(86) Pedido Internacional: PCT FR2007050804 de 15/02/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/099246 de 07/09/2007

(57) Resumo: METODO DE INTEGRAÇÃO DE UM ALTO-FORNO E INSTALAÇÃO PARA PREPARAÇÃO DO REFERIDO METODO A invenção refere-se a um método de integração de uma pluralidade de alto-fornos e uma pluralidade de separação de gases do ar, no qual se utiliza o soprador de substituição disponível sobre o local dos alto-fornos para alimentar em ar comprimido uma unidade de separação de gases do ar que permitem enriquecer em oxigênio o vento dos alto-fornos, esta unidade estando parada quando um dos sopradores dos alto-fornos necessita ser substituído pelo soprador utilizado pela unidade de separação de gases do ar.



**MÉTODO DE INTEGRAÇÃO DE UM ALTO-FORNO E INSTALAÇÃO PARA
PREPARAÇÃO DO REFERIDO MÉTODO**

A presente invenção refere-se a um método de integração de pelo menos um alto-forno e pelo menos uma
5 unidade de separação de gases do ar, método no qual n alto-fornos e pelo menos uma unidade de separação de gases do ar são alimentadas em ar por pelo menos n+1 compressores com $n \geq 1$, e preferivelmente > 1 .

O alto-forno é equipamento mais utilizado para
10 produzir ferro fundido essencialmente composto de ferro (de 92 para 95% em peso), carbono (de 3 para 5% em peso), e outros elementos em pouca quantidade como o silício, o manganês, o fósforo, enxofre etc.

Este ferro fundido é em seguida convertido em aço em
15 um conversor a oxigênio por injeção de oxigênio no ferro fundido ao estado líquido que permite principalmente uma oxidação do carbono.

O aço obtido será, em seguida, refinado e colocado na tonalidade desejada (silício, manganês etc...) antes de ser
20 moldado em lingotes, placas, tarugos, ou biletas).

Um alto-forno é alimentado essencialmente por minério de ferro (em geral de 1,3 a 1,6 toneladas por tonelada de ferro fundido produzido) sob a forma de aglomerados ou "pellets" (em língua inglesa) enfiadas pelo bocal do
25 alto-forno, o coque (entre 250 e 500 kg por tonelada de ferro fundido) igualmente enfiado pelo bocal, o carvão pulverizado e injetado a nível dos jatos, com uma quantidade injetada que pode variar entre 0 e 250 kg por tonelada de ferro fundido, ou qualquer outro combustível
30 como gás natural, óleo combustível, gás de coqueria,

matérias plásticas, e ar que será determinado "vento" para um débito que pode variar de 800 para 1200 Nm³ por tonelada de ferro fundido produzido enriquecido ou não em oxigênio, este enriquecimento que pode variar de 0 a 15% em volume, 5 ou seja de 0 a 150 Nm³ de oxigênio por tonelada de ferro fundido produzido.

Graças a este alto-forno, produz-se principalmente ferro fundido, a escória (de 200 para 400 kg por tonelada de ferro fundido produzido), a escória que pode ser 10 valorizada também em diferentes aplicações, os gases, contendo principalmente nitrogênio (40 à 60% em volume), o monóxido de carbono CO (de 20 a 25% em volume), o dióxido de carbono CO₂ (de 20 a 25% em volume) e o hidrogênio (de 1 a 7% em volume).

15 Pode igualmente existir diversos outros elementos em teor inferior à 1%.

O gás ou mistura de gás procedente do alto-forno é recuperado geralmente e utilizado pelo seu valor térmico, seja em troca direta para baixar a sua temperatura e 20 aumentar a do gás ou do líquido com o qual está em troca térmica, seja por combustão, por exemplo CO com o oxigênio a fim de produzir calorias adicionais.

O vento do alto-forno enriquecido ou não em oxigênio é injetado na base do alto-forno a nível dos jatos que são 25 repartidos em todo o redor da circunferência do alto-forno.

Este vento é injetado sob uma pressão que pode variar de 1 a 7x10⁵ Pa, para vencer a perda de carga no alto-forno bem como a pressão que existe acima da carga no alto-forno.

As vazões de ar necessárias são muito elevadas, 30 variando de 5.000 Nm³/hora para os alto-fornos muito

pequenos (por exemplo, os alto-fornos que se vê hoje na China principalmente) até 500.000 Nm³ para os alto-fornos industriais muito grandes.

Para conduzir o ar ambiente a esta pressão, utilizam-se compressores de ar ou "sopradores" muito potentes, um soprador (ou vários) é dedicado a um alto-forno.

Em uma fábrica que produz ferro fundido e que possui mais de um alto-forno, dispõe-se geralmente para n alto-fornos de pelo menos n+1 sopradores, e algumas vezes de n+2 sopradores a fim de assegurar uma produção contínua de ferro fundido quando um destes sopradores é eventualmente danificado (ou deve ser parado para manutenção ou qualquer outra causa).

Atualmente, os sopradores redundantes (ainda chamados segundos sopradores) em relação ao número de alto-fornos são montados geralmente ao lado dos outros sopradores em funcionamento, e estão em posição de espera, prontos para iniciar de maneira a assegurar a continuidade da produção de ferro fundido, mesmo quando se detecta uma pressão e/ou vazão de ar sobre um soprador inferior a um valor predeterminado, abaixo da qual é necessária para substituir este soprador por um dos sopradores em espera.

Geralmente, para o enriquecimento de oxigênio do vento de ar, prevê-se sobre o local de produção de ferro fundido, perto do alto-forno, ou ligado a este por canalizações, uma ou várias unidades de produção de oxigênio de grande capacidade, geralmente unidades de separação criogênica do ar que produz um oxigênio de pureza industrial, ou seja geralmente superior a 80% vol. preferivelmente superior a 90% vol., mais preferivelmente superior a 95% vol., e

algumas vezes de pureza superior a 99% vol.

O aumento das necessidades de oxigênio de um local de produção de ferro fundido pode intervir, seja no caso do aumento da produção de ferro fundido nos alto-fornos existentes, seja por adição de um ou vários novos alto-fornos sobre o local, seja por aumento do consumo específico de oxigênio em cada alto forno, por exemplo, da adição de mais combustível como o carvão, o gás natural, o óleo combustível, o gás de coqueria, as matérias plásticas, etc... (Esta adição faz-se geralmente a nível dos jatos). Este aumento pode resultar da utilização de oxigênio para um outro objetivo técnico, como por exemplo, o enriquecimento de ar dedicado ao pré-aquecimento das estufas.

Neste caso, o aumento das necessidades de oxigênio pode conduzir a construção de uma nova unidade de produção de oxigênio, que seja uma unidade de separação criogênica do ar, ou por métodos referidos de VPSA.

Quando é necessário fazer tal investimento em uma nova unidade de separação de gases do ar, tendo em conta o custo elevado de tal unidade, pode ser necessário ou preferível utilizar elementos já existentes sobre o local.

O método de acordo com a invenção permite responder a este problema assim colocado.

Ele é caracterizado pelo fato de que, cada alto forno é alimentado pelo menos por um compressor entre os $n+1$ dos compressores disponíveis, pelo menos um dos compressores que não alimentam um alto forno (a seguir chamado segundo compressor) é utilizado para alimentar a unidade de separação de gases do ar enquanto, logo que um dos

compressores (a seguir chamado primeiro compressor) que alimentam um alto-forno produza uma vazão de ar inferior a uma vazão predeterminado $D_{\min}$, o referido primeiro compressor é desconectado do referido alto-forno, e o
5 segundo compressor é conectado ao referido alto-forno e preferivelmente desconectado da unidade de separação de gases do ar.

A vazão $D_{\min}$ corresponde tipicamente a vazão mínima requerida de modo que o alto-forno ao qual ele está ligado
10 funcione corretamente.

Desta maneira, utiliza-se um dos sopradores ou compressores disponíveis (segundo compressor), quando os outros sopradores (primeiros compressores) estão no estado de funcionamento normal e alimentam normalmente o seu alto-
15 forno respectivo, para alimentar em ar comprimido a unidade de separação de gases do ar (com geralmente um pequeno compressor suplementar de maneira a aumentar a pressão do ar fornecido à unidade de separação de gases do ar até um valor de pelo menos cerca de 5×10^5 kPa e/ou para completar
20 o volume de ar fornecido a unidade de separação) e, quando um problema é detectado a nível de um dos primeiros compressores que alimentam o alto-forno, para-se o primeiro compressor tendo um problema e substitui-se pelo compressor carregado a tempo de alimentar em ar comprimido a unidade
25 de separação de gases do ar, esta unidade, durante este tempo, fica em período de espera, até que um (outro) segundo compressor torne-se disponível (após reparar o primeiro compressor) para alimentar em ar comprimido a unidade de separação de gases do ar. Preferivelmente, um
30 compressor complementar, dedicado à unidade de separação de

gases do ar está previsto de maneira a fornecer uma parte de pelo menos ar comprimido necessário a esta unidade e/ou a sobrepressão necessária.

No presente contexto, um compressor é dito "conectado" ou "ligado" a um alto-forno ou a uma unidade de separação de gases do ar quando o referido compressor alimenta o alto-forno, respectivamente a unidade de separação de gases do ar em ar comprimido. De maneira análoga, um compressor é dito "desconectado" de um alto-forno ou de uma unidade de separação de gases do ar quando não alimenta o alto-forno, respectivamente a unidade de separação de gases do ar em ar comprimido.

De acordo com a vazão de ar necessária para o alto-forno e uma unidade de separação de gases do ar, e a vazão máxima que pode fornecer o soprador (segundo compressor) disponível, será possível, em certas circunstâncias, continuar a fazer funcionar a unidade de separação de gases do ar durante o período de espera, com uma vazão reduzida de ar comprimido, (diminuída a vazão necessária para o alto-forno ao qual este soprador agora é conectado).

Diferentes alternativas da invenção são possíveis:

um ou vários sopradores presentes sobre o local e previstos (s) para a compressão do ar ou vento enviado ao alto-forno, principalmente os sopradores em espera, podem ser utilizados para comprimir pelo menos uma parte do ar necessário para a fabricação do oxigênio por uma ou várias unidades de separação dos gases de ar.

As características de um ou vários sopradores inicialmente previstos para trabalhar em faixas de funcionamento adaptadas às necessidades próprias de pressão

e de vazão para o alto-forno poderão ser adaptadas às necessidades próprias de pressão e de vazão para a unidade de produção de oxigênio.

O ar comprimido a uma pressão em todos os casos superior a 200 KPa absolutos, produzido por um dos sopradores inicialmente dedicado a um alto-forno, poderá ser enviado à unidade de produção de oxigênio ou ao alto-forno.

Em funcionamento "normal", ou seja quando todos os sopradores estão em estado de funcionamento, o ar do soprador em espera (segundo compressor) será integralmente ou em parte apenas, enviado à entrada da unidade de separação de gases do ar.

Em contrapartida, no caso de urgência, ou seja quando um número insuficiente de sopradores estiver em estado de funcionamento normal para assegurar a injeção do vento nos alto-fornos, o ar deste soprador adicional poderá então ser enviado outra vez ao alto-forno, o funcionamento da unidade de produção de oxigênio parado ou adaptado a um funcionamento degradado, compatível com o funcionamento desejado dos alto-fornos.

Poderá prever-se um sistema de canalizações que permitem enviar o ar comprimido para um ou outro destino (alto-forno ou unidade de separação de gases do ar).

Preferivelmente, se utilizará um sistema de regulação para otimizar a adaptação, enquanto a faixa de funcionamento do ou dos sopradores inicialmente em posição de espera será estudada para permitir uma flexibilidade de adaptação às diferentes situações possíveis.

O funcionamento da unidade de separação de gases do ar

e produção de oxigênio poderá ser parado totalmente se a necessidade de produção de ferro fundido pelo alto-forno requê-lo e for escolhida pelo operador como prioridade.

Preferivelmente, a unidade de separação de gases do ar produz o oxigênio a uma pureza superior a 90% vol. (diz-se ainda oxigênio impuro) e de preferência uma pureza superior a 95% em volume de oxigênio.

Preferivelmente igualmente, preverá-se um compressor complementar dedicado à unidade de separação de gases do ar a fim de fornecer uma parte do ar necessário para a unidade de separação de gases do ar (se uma forte quantidade de ar é necessária, muito importante para a capacidade de um soprador). Além disso, este compressor complementar poderá ser utilizado para fazer funcionar a unidade de separação quando o soprador (segundo compressor) seja recuperado por um alto-forno. Este compressor complementar poderá ser utilizado igualmente como soprador de substituição no caso de dois danos simultâneos, neste caso a unidade de separação será parada.

O oxigênio produzido pela unidade de separação de gases do ar poderá ser destinado em parte ao alto-forno ou em parte a outras instalações geralmente presentes sobre o local como os conversores. Assim, uma parte do oxigênio produzido pela unidade de separação dos gases do ar é utilizada em pelo menos um dos conversores presentes sobre o local de integração.

De acordo com uma alternativa, a unidade de separação de gases do ar apresenta dois modos de funcionamento, um modo de operação dita regular e um modo de operação dita degradado.

Tipicamente, a unidade de separação de gases do ar funciona em modo de operação regular quando é alimentada em ar pelo segundo compressor, e em modo de operação degradado quando o segundo compressor é conectado a um alto-forno, ou
5 seja durante o período de espera da unidade de separação de gases do ar.

De acordo com uma primeira forma de realização, a unidade de separação de gases do ar produz o oxigênio de pureza superior a 90% vol. em modo de operação regular e de
10 pureza inferior ou igual a 90% em modo de operação degradado. De acordo com outra forma utilizada, a unidade de separação de gases do ar produz o oxigênio de pureza superior a 95% vol. em modo de operação regular e inferior ou igual a 95% em modo de operação degradado. A unidade de
15 separação de gases do ar pode igualmente gerar uma primeira vazão de oxigênio em modo de operação regular e uma segunda vazão de oxigênio inferior a primeira vazão em modo de operação degradado.

Assim, a unidade de separação de gases do ar pode
20 fornecer o oxigênio e em especial alimentar em oxigênio as canalizações de ar comprimido ligadas ao alto-forno, mesmo durante o período de espera.

De acordo com outra alternativa, a unidade de separação comporta as canalizações (18, 19) e as válvulas
25 (7, 8, 13) permitindo ligar o segundo compressor (16) seja a pelo menos uma das canalizações (5, 6) de alimentação em ar do alto-forno, seja a unidade de separação dos gases no ar (20), seja ao dois.

A invenção será mais bem compreendida com a ajuda do
30 exemplo de realização de acordo conforme descrito na única

figura que representa um exemplo de realização da invenção através de dois alto-fornos, uma unidade de separação de gases do ar e três compressores.

Os alto-fornos respectivamente 1 e 2 são ligados respectivamente aos compressores 3 e 4 pelo intermédio das linhas de alimentação em ar comprimido 5 e 6.

Sobre a linha 5, encontra-se um detector de vazão 9 que mede a vazão mínima sobre a linha 5 e um detector de vazão 10 que controla a vazão do ar comprimido do compressor 3.

Encontra-se a mesma função com os detectores 11 de vazão mínima sobre a linha 6 e 12 de regulação do compressor 4.

Os compressores 3 e 4 são os sopradores normalmente utilizados para alimentar respectivamente seus alto-fornos.

Sobre o local, dispõe-se de um compressor ou soprador suplementar destinado a nivelar as insuficiências dos compressores 3 ou 4.

Este compressor suplementar 16 é ligado pela linha de alimentação 19 e pela válvula 13 à unidade de separação de gases do ar 20, por um lado, e pela linha 18 às válvulas 7 e 8, elas mesmas ligadas respectivamente às linhas de alimentação 5 e 6.

Sobre a linha de alimentação 19, encontra-se um detector de vazão 17 encarregado de controlar a vazão de ar enviada a unidade de separação de gases do ar 20 pelo compressor 16 quando este está em funcionamento.

A unidade de separação de gases do ar 20 está ligada respectivamente pelas linhas de alimentação 21 e 22 às válvulas 14 e 15 que alimentam respectivamente as linhas 6

e 5.

O funcionamento deste sistema é o seguinte: em funcionamento normal, ou seja quando os compressores 3 e 4 funcionam normalmente, ou seja que a vazão do ar enviada respectivamente aos alto-fornos 1 e 2 é superior ao mínimo requerido para o funcionamento normal destes alto-fornos, e medido respectivamente pelos detectores 9 e 11, as válvulas 14 e 15 estão em posição aberta bem como a válvula 13.

Neste caso, o compressor de substituição 16 alimenta através da válvula 13 em posição aberta, a unidade de separação de gases do ar que ela mesma debita o seu oxigênio através das válvulas respectivamente 14 e 15 às linhas de alimentação de vento dos alto-fornos 6 e 5 de maneira a enriquecer este vento da quantidade de oxigênio desejada.

Quando, em contrapartida, um e/ou o outro dos dois detectores 9 ou 11 detectam uma anomalia de vazão nas linhas 5 ou 6, a válvula 13 que estava aberta é então fechada ou parcialmente fechada na linha 19, os detectores 9 e/ou 11 que comandam simultaneamente a abertura das válvulas 7 e/ou 8 (normalmente fechadas durante o período de funcionamento "normal") de maneira a poder alimentar em ar comprimido as linhas 5 e/ou 6 através destas válvulas 7 e 8.

De acordo com a escolha feita pelo operador ou permitida pela instalação, as válvulas 14 e 15 estarão seja fechadas completamente (modo preferencial), seja parcialmente fechadas se a unidade de separação de gases do ar 20 puder continuar a funcionar em modo degradado.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de integração de $n \geq 1$ alto-fornos e de pelo menos uma unidade de separação de gases do ar no qual os n alto-fornos e a unidade de separação de gases do ar que
5 produz o oxigênio são alimentados em ar por pelo menos $n+1$ compressores, cada alto-forno sendo alimentado por pelo menos um compressor dentre pelo menos $n+1$ compressores disponíveis, pelo menos um dos compressores que não alimentam um alto-forno ("segundo compressor") e utilizado
10 para alimentar a unidade de separação de gases do ar, caracterizado pelo fato de que logo que um dos compressores ("primeiro compressor") que alimenta um alto-forno produzir uma vazão inferior a uma vazão $D_{\min}$ predeterminada, o referido primeiro compressor é desconectado do referido
15 alto-forno e o segundo compressor é conectado ao referido alto-forno e de preferência desconectado da unidade de separação de gases do ar.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que um compressor complementar
20 fornece o ar comprimido e/ou a sobrepressão a unidade de separação de gases do ar.

3. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o alto-forno é alimentado com oxigênio pela unidade de
25 separação de gases do ar.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2 ou 3, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma parte do oxigênio produzido pela unidade de separação de gases do ar é utilizada em pelo menos um
30 conversor.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3 ou 4, caracterizado pelo fato de que a unidade de separação de gases do ar produz oxigênio de pureza superior a 90% vol., preferivelmente superior a 95% vol. de oxigênio.

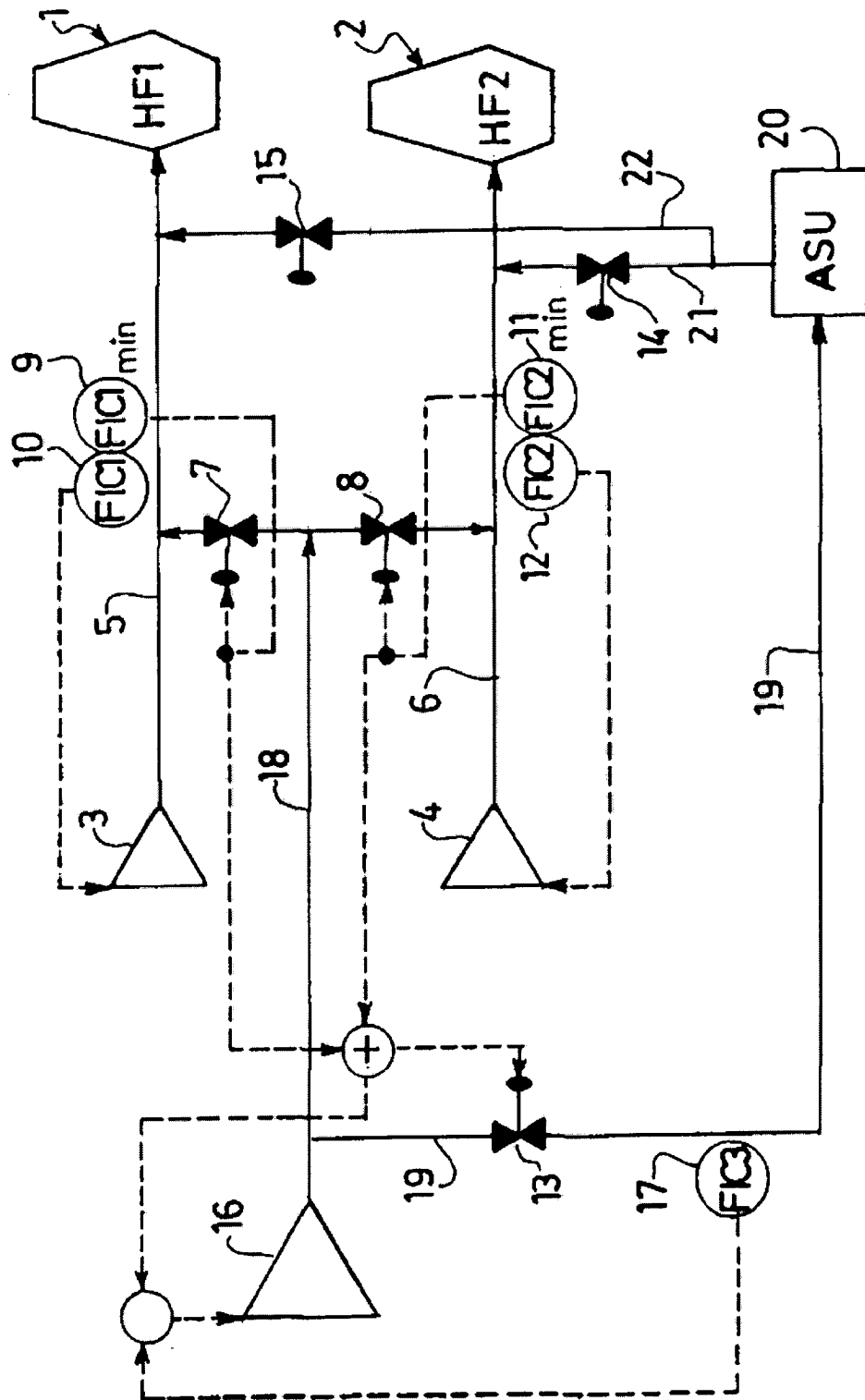
6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3 ou 4, caracterizado pelo fato de que a unidade de separação de gases do ar apresenta dois modos de operação, um modo de operação regular que produz o oxigênio de pureza superior a 90% vol. e um modo de operação degradado que produz o oxigênio de pureza inferior ou igual a 90% vol.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, ou 4, caracterizado pelo fato de que a unidade de separação de gases do ar apresenta dois modos de operação, um modo de operação regular que produz o oxigênio de pureza superior a 95% vol. e um modo de operação degradado que produz o oxigênio de pureza inferior ou igual a 95% vol.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6 ou 7, caracterizado pelo fato de que a unidade de separação de gases do ar apresenta dois modos de operação, um modo de operação regular que produz uma primeira vazão de oxigênio e um modo de operação degradado que produz uma vazão de oxigênio inferior a primeira vazão de oxigênio.

9. Instalação para implementação do método conforme definido nas reivindicações de 1 a 8 caracterizada pelo fato de que ele comporta $n \geq 1$ alto-fornos (1, 2), uma unidade de separação de gases do ar (20) e pelo menos $n+1$

compressores (3, 4, 16), cada alto-forno está ligado a pelo menos um compressor por canalizações de alimentação em ar (5, 6), e a instalação comporta canalizações (18, 19) que permitem ligar um dos compressores, o segundo compressor 5 (16), sendo a canalização de alimentação em ar (5, 6) de pelo menos um dos alto-fornos (1, 2), ou a unidade de separação de gases do ar (20), ou os dois.



**MÉTODO DE INTEGRAÇÃO DE UM ALTO-FORNO E INSTALAÇÃO PARA
PREPARAÇÃO DO REFERIDO MÉTODO**

A invenção refere-se a um método de integração de uma pluralidade de alto-fornos e uma pluralidade de separação de gases do ar, no qual se utiliza o soprador de substituição disponível sobre o local dos alto-fornos para alimentar em ar comprimido uma unidade de separação de gases do ar que permitem enriquecer em oxigênio o vento dos alto-fornos, esta unidade estando parada quando um dos sopradores dos alto-fornos necessita ser substituído pelo soprador utilizado pela unidade de separação de gases do ar.