



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

(11) PI 0801209-1 B1

(22) Data do Depósito: 14/04/2008

(45) Data de Concessão: 04/07/2017



(54) Título: SISTEMA DE FERMENTAÇÃO DE ETANOL

(51) Int.Cl.: C12P 7/06

(73) Titular(es): WHITE MARTINS GASES INDUSTRIAIS LTDA.

(72) Inventor(es): ANTONIO AUGUSTO MARTINS VELLOSO; MARCO A. MÁRQUEZ

RELATÓRIO DESCRITIVO

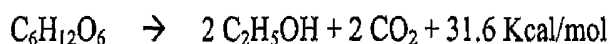
Pedido de Patente de Invenção para “SISTEMA DE FERMENTAÇÃO DE ETANOL”.

CAMPO TÉCNICO

5 Refere-se a presente invenção a sistemas de fermentação e, mais especificamente, a sistemas de fermentação de etanol onde, micro bolhas de um gás inerte provido por equipamento supersônico de estripagem, são usadas para promover a estripagem de dióxido de carbono, compostos sulfúricos, etanol e outros compostos voláteis formados durante o processo de fermentação, e o
10 controle de temperatura da reação do processo é assistida pelo uso do calor latente do gás inerte.

ESTADO DA TÉCNICA

Xarope de cana-de-açúcar, em presença de leveduras, aditivos como compostos sulfúricos e as próprias condições de operação, reagem para
15 produzir etanol e dióxido de carbono como os principais produtos do processo de fermentação, de acordo com a seguinte reação exotérmica:



O processo de fermentação de cana-de-açúcar produz várias reações laterais. O conteúdo de sucrose do xarope de cana-de-açúcar é usado como
20 alimento pela levedura. Durante a alimentação da levedura, a sucrose produz diferentes tipos de compostos orgânicos tais como glucose, frutose, triose, ácido glicérico, ácido pirúvico e acetaldeído, nesta sequência, antes da geração do etanol. Outros sub-produtos que também podem ser formados são formaldeído, ácido acético e ácido isomílico, entre outros. Os compostos sulfúricos inibem o
25 balanço de energia acima mencionado e interrompe a cadeia reacional, na etapa de formação do acetaldeído. Glicerina é então produzida do ácido pirúvico. Este desvio reacional é indesejável, pois etanol não pode ser produzido da glicerina em tal processo. Dióxido de carbono também reduz a atividade da levedura, comprometendo a produtividade da reação do etanol.

30 Com o progresso da reação, etanol, dióxido de carbono, compostos sulfúricos e sub-produtos da fermentação como os acima mencionados, tendem a inibir a atividade da levedura e subsequentemente a taxa de reação do etanol para

ou termina em um ponto onde produz alguns dos sub-produtos acima mencionados e, então, a produtividade de etanol reduz.

Como a concentração desses compostos aumenta durante o processo de fermentação, o efeito danoso limita a taxa de produção de etanol e fazem com que a levedura diminua a taxa de produção de etanol. Com a estripagem de uma porção dos produtos formados na reação de fermentação, a produtividade do etanol pode ser aumentada. A remoção de dióxido de carbono, compostos sulfúricos, etanol e outros subprodutos do caldo de fermentação contribui para a otimização da reação do etanol.

Considerando que a reação de fermentação é uma reação exotérmica, a temperatura do caldo deve ser controlada para impedir a morte dos microorganismos responsáveis pela conversão do açúcar em álcool, contaminando o caldo, e conseqüentemente, reduzindo a produtividade do processo. Por esta razão, os fermentadores tipicamente possuem uma corrente de reciclo para remover o calor da reação e manter a homogeneidade do caldo e manter os microorganismos em um meio ótimo. Normalmente, um trocador de calor de placa resfriado a água é utilizado com este propósito.

Várias técnicas são descritas no estado da técnica que usam um gás para estripar o etanol, dióxido de carbono e outros subprodutos indesejáveis.

Taylor e outros (Processo de Secagem-Trituração para Etanol Combustível por Fermentação Contínua e Estripagem, *Progresso Biotecnológico* (2000), 16(4), 541-547; Cinética de fermentação contínua e estripagem de Etanol, *Anotações de Biotecnologia* (1998), 20(1), 67-72; Efeitos da concentração de etanol e estripagem. *Microbiologia e Biotecnologia Aplicadas* (1997), 48(3), 311-316; Controle de falha em coluna empacotada na fermentação contínua e estripagem de etanol. *Biotecnologia e Bioengenharia* (1996), 51(1), 33-39; Fermentação contínua e estripagem de Etanol. *Progresso Biotecnológico* (1995), 11(6), 693-8), descrevem o uso de dióxido de carbono como um agente estripador para remover etanol em um ciclo fechado para estripar o etanol. Os benefícios relatados são insignificantes e o dióxido de carbono permanece no estado líquido em níveis saturados. Zhang e outros (Efeitos de diferentes tipos de gases na fermentação de etanol de estripagem de gás (GSEF), *Boletim Chinês de Engenharia de Processo*,

(2005) Vol. 5, No. 3, 349-352), comparam a estripagem de etanol com o uso de diversos gases inertes a uma alta taxa de fluxo e conclui que nitrogênio é a melhor opção. De um modo geral, o foco do estado da técnica é estripar etanol utilizando dióxido de carbono como um gás estripador.

- 5 O pedido de patente brasileiro número PI 8706443-0, de 30 de novembro de 1987, revela a estripagem de dióxido de carbono usando-se gás nitrogênio como o gás estripador para melhorar a produtividade de etanol. O nitrogênio passa através de um elemento poroso, produzindo bolhas, as quais são injetadas diretamente dentro do caldo. A inconveniência desta solução está
- 10 relacionada ao tamanho das bolhas e à sua incapacidade de remover satisfatoriamente os sub-produtos indesejáveis da reação.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

- O objetivo da presente invenção é oferecer um sistema aperfeiçoado para a estripagem de etanol, dióxido de carbono, compostos de enxofre e outros subprodutos tais como formaldeído, glicerina e ácido acético da
- 15 reação de fermentação, desse modo aumentando a velocidade da reação de etanol e a produtividade. Adicionalmente, de acordo com o sistema proposto, a remoção do calor da reação de fermentação pode ser auxiliada pelo gás estripador frio.

- Estes e outros aspectos da presente invenção são obtidos pelo uso
- 20 de um gás inerte, tal como nitrogênio ou hélio, juntamente com o equipamento supersônico de estripagem em linha, em uma corrente de reciclo do fermentador para estripar uma porção de etanol, dióxido de carbono, compostos de enxofre e outros materiais subprodutos voláteis que possam estar afetando negativamente o processo de fermentação.

- 25 Quando um líquido que está saturado com componentes solúveis é posto em contato com um gás inerte, há um processo de transferência de massa no qual os compostos voláteis difundem-se da fase líquida para a fase gasosa, de acordo com a lei de Henry. O processo de difusão é orientado de acordo com o gradiente de concentração do componente nos meios líquidos e gasosos, a partir
- 30 da fase mais concentrada até a fase mais diluída. A taxa de difusão do composto volátil é normalmente o fator limitante no processo de fermentação da presente invenção.

A eficiência global do processo em relação à fase líquida depende da taxa de variação da concentração do componente volátil na fase líquida; do coeficiente de transferência de massa; da área interfacial (superfície de contato entre as bolhas de gás e o meio líquido); da concentração do componente volátil na fase líquida, em equilíbrio; da concentração inicial do componente volátil na fase líquida, e da temperatura e pressão de operação. Se o coeficiente de transferência de massa for muito pequeno, a remoção dos componentes voláteis será restrita, o que requer mais tempo ou um consumo elevado de gás nobre, e conseqüentemente mais gastos com insumos para alcançar o nível de especificação requerido.

Em uma temperatura e pressão dadas, a taxa de transferência de massa é governada pelo gradiente de concentração e pela área interfacial de transferência. Como o coeficiente de transferência de massa é uma função da área interfacial, a redução do tamanho das bolhas de gás inerte tende a aumentar a taxa de transferência de massa para uma dada fração de volume de líquido. Quanto menor o tamanho das bolhas de gás, tanto mais dispersas elas ficam no líquido e mais eficiente o processo de purificação, uma vez que tais condições promovem mais contatos entre o componente volátil e as bolhas de gás, assim como a possibilidade de redução do tempo de estripagem.

De acordo com a presente invenção, o uso do equipamento supersônico de estripagem em linha no processo de fermentação maximiza o processo de transferência de massa mencionado acima, ao mesmo tempo em que promove os benefícios inerentes ao uso de um gás inerte no processo de fermentação.

O equipamento supersônico de estripagem em linha (daqui por diante no texto referido como o estripador) gera micro-bolhas de nitrogênio resultando em uma transferência de massa melhorada. Os equipamentos estripadores convencionais, por sua vez, geram bolhas grandes e requerem um uso muito maior de gás nitrogênio para obter resultados comparáveis aos do equipamento supersônico em linha. Usando-se o equipamento supersônico de estripagem em linha para o processo de produção de etanol, o processo de transferência de massa ocorre com a migração dos compostos solúveis

indesejáveis tais como dióxido de carbono, etanol, compostos de enxofre e outros subprodutos da mistura de fermentação para dentro das micro-bolhas de nitrogênio.

DESCRIÇÃO

5 Após ser colhida, a cana-de-açúcar é levada para a unidade de produção de álcool e açúcar. Lá, ela é lavada e triturada, e a fração líquida é eventualmente tratada com compostos de enxofre para ser clareada e para eliminar microorganismos indesejáveis que possam promover processos de infecção. Em termos genéricos, dependendo da demanda do mercado, parte da
10 fração líquida é distribuída à fábrica de produção de açúcar e a quantidade restante é bombeada para a unidade de produção de etanol.

Na unidade de produção de etanol, o processo de fermentação de xarope de cana-de-açúcar ocorre para gerar etanol. O processo usa levedura para propagar a reação de formação de etanol. Uma das leveduras mais comumente
15 aplicadas à fermentação de etanol é a *saccharomyces cerevisiae*. Em alguns casos, a levedura é pré-tratada com ácido sulfúrico para reduzir sua alcalinidade. O xarope é misturado com a levedura em recipientes cilíndricos, chamados fermentadores, onde ocorre a reação de fermentação.

Para gerar micro-bolhas, o gás nitrogênio e o líquido são postos em
20 contato na entrada do equipamento supersônico de estripagem em linha. O fluxo de duas fases (mistura de fermentação da bomba de recirculação de caldo, mais nitrogênio) atinge uma velocidade supersônica na seção Venturi do estripador (aproximadamente 15 m/s) e em função dos efeitos relacionados ao projeto do equipamento, o nitrogênio forma micro-bolhas. Uma vez tendo micro-bolhas,
25 para uma dada fração de volume líquida, o processo de transferência de massa é maximizado. Uma vez atingido o recipiente de fermentação, o fluxo de duas fases sofre uma partição: a fração gasosa (nitrogênio mais dióxido de carbono estripado, compostos de enxofre, etanol, outros subprodutos e conteúdo em água) é dirigida da parte superior do fermentador para dentro da tubulação central de
30 coleta de gás da unidade de fermentação, enquanto que a fração líquida cai de volta ao recipiente de fermentação. Após deixar o fermentador, essa corrente gasosa é adicionalmente lavada com água em contra corrente em um lavador, a

corrente gasosa, contendo principalmente dióxido de carbono e nitrogênio, é liberada na atmosfera. A corrente líquida (parte inferior do lavador), com etanol, água, material não fermentado e resíduos de subprodutos, vai para a unidade de destilação onde o etanol é recuperado.

5 O fluxo de nitrogênio gasoso no processo pode ser suprido por meio de um tanque de armazenamento de nitrogênio líquido criogênico, de uma membrana, de uma PSA (Adsorção por Variação de Pressão), ou por outros meios. Quando o nitrogênio é suprido como um líquido criogênico, é necessário usar vaporizadores atmosféricos para suprir nitrogênio em uma forma gasosa.

10 Para ilustrar os benefícios da presente invenção, testes foram realizados utilizando-se o equipamento supersônico de estripagem em linha no processo de fermentação de etanol utilizando nitrogênio como o gás inerte. Esses testes incluíram a comparação com o modo de operação padrão, isto é, sem estripagem.

15 Os testes foram realizados em dois fermentadores. Esses fermentadores serão referidos daqui por diante como o Fermentador de Teste (com N_2) e o Fermentador de Controle (sem N_2), ambos os quais são fechados. A corrente de gás que deixa o fermentador contendo resíduos de etanol é introduzida em um lavador onde é lavada com água antes de liberar a corrente de
20 gás na atmosfera. Cada fermentador possui as mesmas dimensões e capacidades nominais, isto é, 400 m³. Esses fermentadores têm também um sistema de recirculação de líquido refrigerante, através de um trocador de calor de placa que usa a água como um meio refrigerante. O Fermentador de Controle não tinha estripador nem usava nitrogênio. No Fermentador de Teste, utilizando-se o
25 nitrogênio como um gás de estripagem, o estripador supersônico em linha foi instalado em uma tubulação de saída de reciclo. Essa linha de reciclo poderia ser uma nova linha de reciclo independente com uma outra bomba para fornecer a mistura de fermentação ao estripador supersônico em linha, ou o já existente, imediatamente após da saída do refrigerante do trocador de placa, imediatamente
30 antes do final do reciclo da mistura de fermentação ter retornado para o recipiente de fermentação.

Como pode ser observado na Figura 1, o uso do estripador e de um gás inerte como um agente estripador pode aumentar a produtividade de etanol em valores de 2 a 12%. Presumindo-se um incremento de 2% na produtividade para fábricas de etanol de tamanho pequeno, grande e médio, este aumento de 2% representa um importante benefício econômico resultante do efeito multiplicador pelo volume de produção. Dependendo do tamanho da fábrica, a produção adicional (Mm^3 / ano) pode variar entre 1 e 7, representando um benefício devido à produção adicional de etanol da ordem de aproximadamente meio milhão até aproximadamente três milhões de dólares por ano.

A quantidade de etanol e de dióxido de carbono na fase gasosa, na seção superior do recipiente de fermentação, é aumentada enquanto interage com nitrogênio como resultado do efeito de estripagem. Para o recipiente de fermentação operando com injeção de nitrogênio, o gás de saída conteúdo etanol residual ficou na faixa de 0,8-1,2 %v/v. Para o recipiente de controle (operando sem nitrogênio), a mesma variável ficou na faixa de 0,1-0,4 %v/v. Este etanol da fase gasosa é recuperado com a lavagem com água e tipicamente retorna ao processo. O líquido no recipiente do fermentador com injeção de nitrogênio é pobre em etanol e em dióxido de carbono em comparação ao sem injeção de nitrogênio, que tende a compensar a deficiência produzindo mais etanol e dióxido de carbono.

A acidez da mistura de fermentação foi também reduzida com a aplicação de nitrogênio. Para o recipiente de teste, operando com o estripador, a acidez média da mistura foi de 4,8. Sem a aplicação de nitrogênio, a acidez média da mistura de fermentação foi de 5,4.

Os testes mostraram um ganho de 2-12% de capacidade do etanol para o recipiente de fermentação que operava com o estripador em linha mais nitrogênio, devido principalmente à remoção de compostos de dióxido de carbono e enxofre. Estima-se que o ganho de capacidade do etanol ficará provavelmente na faixa de 2-6%.

Como mencionado, no processo de fermentação de etanol, o padrão é a utilização de um ciclo de reciclo externo para remover o calor de reação exotérmica, utilizando-se um trocador de calor refrigerado a água, tipicamente

um trocador de calor do tipo com placa. O controle da temperatura de fermentação em aproximadamente 30-35°C é crucial para o processo, para prevenir a desativação de levedura, ciclos de fermentação mais demorados, e perda de produtividade.

5 Com base nisso, um outro aspecto da presente invenção relaciona-se ao controle da temperatura do processo. De acordo com o sistema proposto, o nitrogênio para a estripagem pode ser suprido ao processo de etanol como nitrogênio líquido em baixa temperatura, dependendo da tolerância do processo à temperatura (por ex., devido a limitações metalúrgicas ou microbiológicas).

10 Desta forma, parte do calor latente do nitrogênio pode ser utilizada para auxiliar o balanço de calor no processo de fermentação. Dependendo também do material de construção do sistema (material da tubulação), gás nitrogênio em baixa temperatura poderia transferir calor tanto à água de refrigeração por troca de calor indireta ou diretamente ao caldo de fermentação.

15 A Figura 2 apresenta um esquema do sistema objeto da presente invenção. Com este conceito, o calor latente do nitrogênio pode ser recuperado para resfriar indiretamente a água utilizada para remover o calor do processo de fermentação. A temperatura do nitrogênio usado para resfriar indiretamente a água pode ser ajustada controlando-se a taxa de fluxo através do vaporizador de produto para adequar-se a quaisquer restrições materiais. Isto pode contribuir
20 para a economia do processo global. Dependendo das restrições de material para processar fluidos criogênicos, o uso do vaporizador de nitrogênio pode ser minimizado, desse modo maximizando a recuperação de calor. A Figura 2 apresenta um exemplo das diferentes maneiras de transferir calor de acordo com a presente invenção. Uma outra maneira de se utilizar o calor latente da corrente
25 de nitrogênio fria é enviando diretamente nitrogênio frio à corrente de fermentação através da linha descontínua mostrada na Figura 2. Nesse caso, a tolerância da levedura a baixas temperaturas deve ser avaliada com cautela.

Com referência à Figura 2, o fermentador (1) é parte de uma planta
30 de etanol. Tal fermentador (1) pode operar em batelada ou em modo contínuo, e em ambos os casos, é equipado com um ciclo de reciclo que é feito para remover parte do calor da reação e manter a temperatura ideal no recipiente. O ciclo de

reciclo consiste tipicamente em uma bomba (2) e um trocador de calor (3), utilizando água como líquido refrigerante. O líquido quente que vem do fundo do fermentador (1) através da linha (a) é bombeado pela bomba (2) e através da linha (b) resfriado no trocador de calor (3) e através da linha (c) reciclado de volta ao fermentador (1) através da linha (d).

De acordo com um aspecto da presente invenção, um equipamento supersônico de estripagem em linha (6) é incorporado no ciclo de reciclo para remover componentes indesejáveis da fase líquida que possam tornar lenta a reação de fermentação tais como dióxido de carbono, etanol, formaldeído, ácido acético, etc. Em alguns casos, como mostrado na Figura 3, uma corrente de reciclo separada pode ser incorporada para o estripador utilizando-se uma outra bomba (20) para manter o sistema independente. A estripagem é realizada utilizando-se um gás inerte como o nitrogênio. Com referência à Figura 2, nitrogênio líquido a -186°C proveniente do tanque (4) através da linha (e) é convertido em gás utilizando-se o vaporizador (5), o qual é projetado para trocar calor com o ambiente circundante, para vaporizar o nitrogênio líquido até a temperatura de operação desejada (por ex., temperatura ambiente). O nitrogênio gasoso entra no equipamento supersônico de estripagem em linha (6) através das linhas (f), (g) e (h), onde é posto em contato com a corrente de fermentação líquida presente na linha (c). A mistura de gás-líquido se desfaz no topo do reator através da linha (d). O líquido estripado retorna ao fermentador (1), e a mistura de gases, essencialmente nitrogênio, dióxido de carbono, etanol e resíduos dos componentes indesejáveis, deixam o fermentador (1) através da linha (i) e é tratada abaixo em um lavador (não mostrado) onde o etanol na corrente de gás é lavado e recuperado na corrente aquosa.

De acordo com um outro aspecto da presente invenção, para o controle de calor da reação, parte do calor latente do nitrogênio líquido é recuperada e utilizada para auxiliar o processo de resfriamento. Existem diversas maneiras de recuperar o calor do nitrogênio líquido. Na referida Figura 2 são ilustradas duas dentre as diversas possibilidades. O conceito fundamental se baseia na manipulação de válvulas (7), (8), (9) e (10), para controlar a quantidade de nitrogênio líquido que vai para o vaporizador. Uma forma de auxiliar o meio

de resfriamento é transferindo-se calor indiretamente à água de refrigeração utilizada nos trocadores de calor (11) e (3). Parte do nitrogênio líquido que normalmente iria para o vaporizador (5) é desviada para o trocador de calor (11) através das linhas (l) e (k), e então fornecida através das linhas (n) e (h) ao

5 estripador supersônico em linha (6) em uma temperatura adequada (por ex., 30-35°C). Ao se fazer isso, parte do calor latente do nitrogênio pode ser utilizada para resfriar a água de refrigeração vinda da seção de utilidades através da linha (j) e para dentro do trocador de calor (11). Uma outra possibilidade é operar o vaporizador (5) de maneira que o gás frio possa ser utilizado diretamente em

10 contato com o caldo de fermentação na corrente de reciclo. Para fazer isso, a válvula (10) seria fechada de modo que uma porção do nitrogênio líquido fluiria através do vaporizador (5) e o gás resultante fluiria através das linhas (f) unindo-se à porção de fluido fluindo através das linhas (e), (l) e (m) para formar uma corrente combinada que flui através de (g) e (h) para o estripador. Nesse caso, um

15 controle rígido da temperatura e um estudo microbiológico são necessários para assegurar que o nitrogênio frio não afete a vida e/ou a atividade da levedura, por ex., choque térmico resultante do contato de nitrogênio frio com os microorganismos.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de fermentação de etanol que utiliza um gás de estripagem inerte para estripar uma porção de etanol, dióxido de carbono, compostos de enxofre ou outros materiais subprodutos voláteis indesejáveis do
5 caldo de fermentação, e para auxiliar a remoção do calor da reação de fermentação, sendo o sistema de fermentação de etanol, **caracterizado por** compreender:

um fermentador (1) que opera tanto em batelada como em modo contínuo;

10 um ciclo de reciclo para recircular uma porção do caldo de fermentação e para remover parte do calor da reação de fermentação;

um equipamento supersônico de estripagem em linha (6) disposto no ciclo de reciclo para promover a estripagem de etanol, dióxido de carbono, compostos de enxofre ou outros materiais sub-produtos voláteis indesejáveis do
15 caldo de fermentação utilizando o gás inerte de estripagem; e

um meio de controlar o fluxo de gás inerte de estripagem, na forma líquida e gasosa, de um tanque de armazenamento criogênico (4) para um trocador de calor e o equipamento de estripagem em linha (6).

2. Sistema de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo**
20 ciclo de reciclo incluir uma bomba (2) e um trocador de calor (3), que utiliza água fria como meio refrigerante, e por um fluxo de gás inerte de estripagem partindo do tanque de armazenamento criogênico ser usado para refrigerar a água fria.

3. Sistema de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado**
25 **pelos** meios de controlar o fluxo de gás inerte de estripagem compreender, um vaporizador (5) conectado ao tanque de armazenamento criogênico para vaporizar uma porção do gás inerte de estripagem líquido em um gás inerte de estripagem gasoso, e uma pluralidade de válvulas (7), (8), (9) e (10) para controlar os fluxos do gás inerte de estripagem líquido e do gás inerte de
30 estripagem gasoso para o ciclo de reciclo.

4. Sistema de acordo com a reivindicação 1 ou 3, **caracterizado pelo** referido gás inerte de estripagem ser nitrogênio ou hélio e pelo equipamento supersônico de estripagem em linha (6) criar micro-bolhas do gás inerte de estripagem no caldo de fermentação recirculante.

5 5. Sistema de acordo com a reivindicação 1 ou 4, **caracterizado pelo** referido gás inerte de estripagem ser preferivelmente nitrogênio.

6. Sistema de acordo com a reivindicação 1 ou 4, **caracterizado pelo** referido equipamento supersônico de estripagem em linha (6) ser disposto no ciclo de reciclo imediatamente após a corrente de saída do trocador de calor
10 (3).

7. Sistema de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo** ciclo de reciclo incluir uma corrente de reciclo independente que incorpora uma bomba (20).

8. Sistema de acordo com a reivindicação 1 ou 7, **caracterizado**
15 **pelo** referido equipamento supersônico de estripagem em linha (6) ser disposto na corrente de reciclo independente imediatamente após a bomba (20).

9. Sistema de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** parte do calor latente do gás inerte de estripagem ser utilizada para auxiliar a remoção do calor da reação de fermentação por meio da transferência de calor do
20 gás inerte de estripagem líquido para a água de refrigeração ou do gás inerte de estripagem líquido e/ou do gás inerte de estripagem gasoso diretamente para o caldo de fermentação recirculante.

10. Sistema de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo** calor latente do gás inerte de estripagem líquido ser recuperado para resfriar a
25 água de refrigeração usada para remover o calor da reação com base na manipulação de válvulas (7), (8), (9) e (10) para controlar a quantidade de gás inerte de estripagem líquido que vai para o vaporizador (5).

11. Sistema de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo** gás inerte de estripagem líquido ser vaporizado em uma forma gasosa e pelo gás
30 inerte de estripagem gasoso frio ser utilizado diretamente para resfriar o caldo de fermentação no ciclo de reciclo.

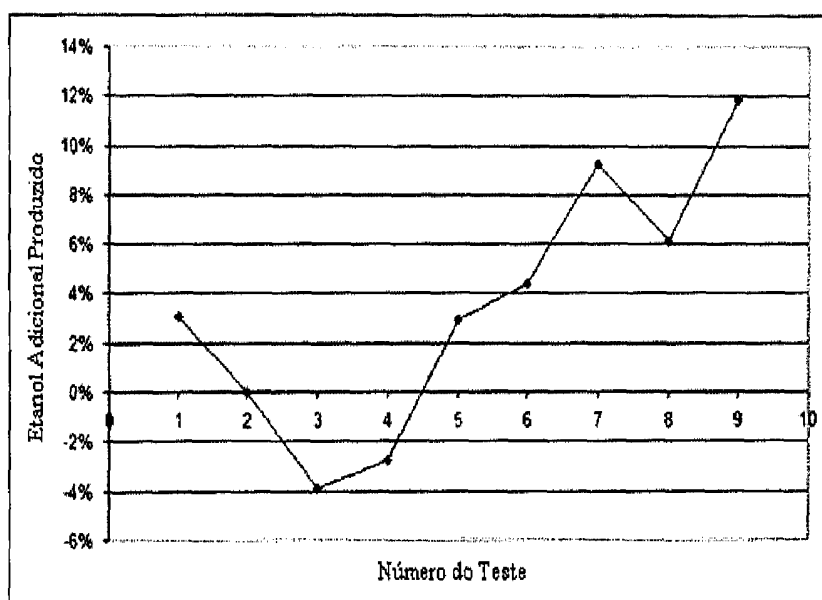
12. Método para estripar uma porção de etanol, dióxido de carbono, compostos de enxofre ou outros materiais subprodutos voláteis indesejáveis de um caldo de fermentação para aumentar a produtividade da fermentação e para auxiliar a remoção do calor da reação de fermentação, sendo o método

5 **caracterizado por** compreender as etapas de:

recirculação de uma porção do caldo de fermentação para um ciclo de reciclo e para remover parte do calor gerado pela reação de fermentação;

estripagem de etanol, dióxido de carbono, compostos de enxofre ou outros materiais subprodutos voláteis indesejáveis do caldo de fermentação no
10 ciclo de reciclo utilizando-se um equipamento (6) supersônico de estripagem em linha; e

controle do fluxo do gás inerte de estripagem de um tanque de armazenamento criogênico (4) para um trocador de calor usado para refrigerar indiretamente o caldo de fermentação recirculante e para o equipamento (6) de
15 estripagem em linha (6), estando o referido fluxo do gás inerte de estripagem em ambas as formas líquida e gasosa.

**Figura 1**

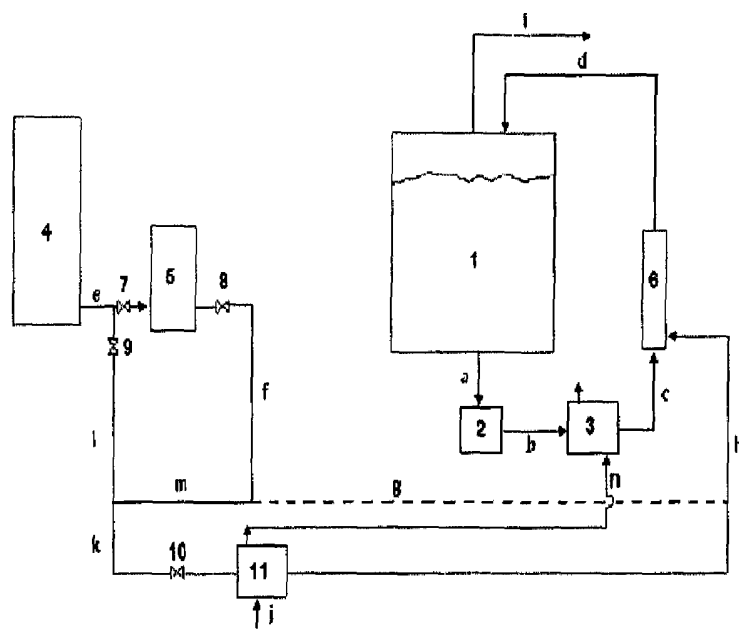


Figura 2

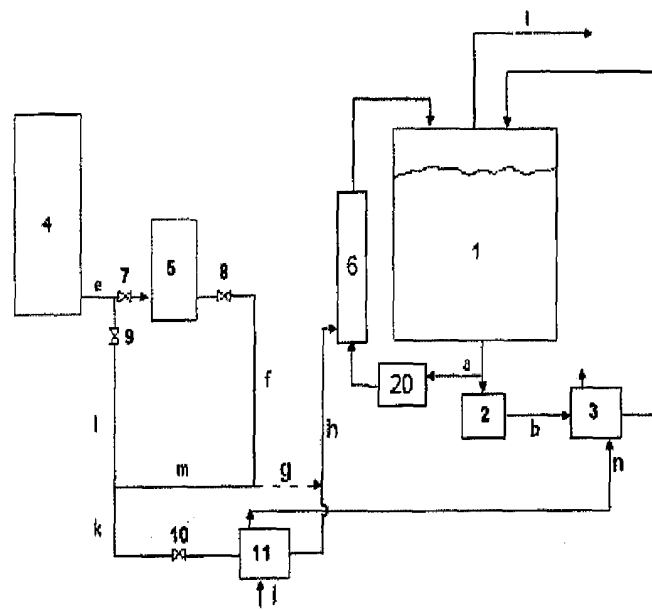


Figura 3