



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL



Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

CARTA PATENTE N.º PI 0804980-7

Patente de Invenção

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

(21) Número do Depósito : PI 0804980-7

(22) Data do Depósito : 19/11/2008

(43) Data da Publicação do Pedido : 27/07/2010

(51) Classificação Internacional : F01D 15/10; F01D 1/00; F03G 7/00

(54) Título : USINAS TERMELETRICAS A BAGAÇO DE CANA E BIOGÁS DE ALTA EFICIÊNCIA

(73) Titular : SERGIO VIEIRA GUERREIRO RIBEIRO, Engenheiro(a) Eletrotécnico(a), CGC/CPF: 26103770700.
Endereço: Av. Sernambetiba 4000 Apto 103 Bl 5, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil (BR/RJ), CEP: 22290-011.

(72) Inventor : Sergio Vieira Guerreiro Ribeiro. Endereço: Av. Sernambetiba 4000 Apto 103 Bl 5, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, CEP: 22290-011.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 19/11/2008, observadas as condições legais.

Expedida em : 25 de Março de 2014.

Assinado digitalmente por
Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patentes



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para: USINAS TERMELÉTRICAS
A BAGAÇO DE CANA E BIOGÁS DE ALTA EFICIÊNCIA.

CAMPO DA INVENÇÃO

Trata-se de patente de invenção na área de geração de energia elétrica e vapor em usinas termelétricas movidas a biomassa, em especial bagaço de cana, consorciados com biogás, gás natural, diesel, biodiesel e/ou similares. Em usinas termelétricas convencionais, por exemplo, compostas por motores ou turbinas movidas a gás natural ou outros combustíveis (óleo diesel, querosene, gasolina, etc.) é comum o aproveitamento da energia térmica presente nos gases de escape das máquinas térmicas para a geração de vapor em caldeiras de recuperação. Este vapor poderá ser expandido em uma turbina a vapor acoplada a um gerador elétrico ou usado diretamente em processos industriais, aumentando consideravelmente o rendimento global da usina. Este processo chama-se ciclo combinado e é de uso corrente em diversas usinas no mundo. Caldeiras de recuperação diferem das caldeiras convencionais, porque os gases de escape das máquinas térmicas estão, em geral, a temperaturas muito inferiores, menores que 700°C, àquelas comumente encontradas nos gases de caldeiras convencionais, superiores a 1000°C. Em geral usinas termelétricas movidas a combustíveis sólidos como biomassa, carvão, resíduos industriais e/ou urbanos (lixo) geram gases quentes em um forno, onde são incinerados estes combustíveis sólidos, e o calor destes gases é usado para gerar vapor em uma caldeira dentro do próprio forno ou adjacente a este. No caso das usinas a bagaço de cana, uma grande parte do vapor produzido na caldeira é usada no processo de produção de álcool e/ou açúcar. Para se elevar o rendimento termodinâmico de usinas termelétricas deve-se aumentar a temperatura e pressão do vapor sendo que as mais modernas usinas a bagaço de cana chegam a 100 bar/520°C o que diminui a vida útil da caldeira e/ou aumenta seu custo de capital e manutenção. Uma maneira de resolver este problema e aumentar ainda mais a eficiência destas usinas com menor custo é usarmos pressão e temperaturas menores na caldeira, digamos em torno de 67 bar/480°C , usando uma turbina de alta pressão com extração a pressão intermediária, entre 15 e 21 bar. A quantidade de vapor de extração deve ser a diferença entre o vapor total e o vapor de processo, que em geral é usado a pressão de 2,5 bar. Após a extração o vapor deve ser reaquecido usando a exaustão de motor ou turbina movidos a biogás gerado pela digestão anaeróbica da vinhaça. A vinhaça é um resíduo líquido, altamente poluidor, que resulta do processo de obtenção do etanol e do açúcar. No biogestor além do biogás obtem-se adubo orgânico de boa qualidade muito menos poluente do que a vinhaça e de fácil manuseio. O problema é que para as grandes quantidades de vapor associadas com usinas de cana de açúcar a quantidade de biogás disponível não permite a adoção de uma turbina e/ou motor a biogás com porte compatível para reaquecer todo o vapor extraído da turbina de alta pressão. Este problema é resolvido pelo esquema proposto neste pedido de patente do seguinte modo: usamos um motor ou turbina a biogás de porte reduzido e complementamos a vazão de escape com ar puro pré-aquecido com os gases quentes após o reaquecedor do vapor extraído da turbina de alta

pressão. Através de um queimador de duto a biogás elevamos a temperatura da mistura de gases até o valor necessário para reaquecer o vapor na pressão intermediária. Deste modo reduzimos drasticamente o consumo de biogás viabilizando o processo para a quantidade disponível, sem perder a vantagem do elevado rendimento termodinâmico decorrente do reaquecimento do vapor na pressão intermediária. Este vapor reaquecido é usado em uma turbina a vapor de condensação enquanto o restante de vapor que não foi extraído é expandido na turbina de contrapressão até a pressão do vapor de processo, em geral 2,5 bar.

10 ESTADO DA TÉCNICA

O uso de usinas com ciclo combinado consorciando gás natural e combustíveis sólidos é comum e de uso consagrado. A usina de incineração de lixo espanhola de Zabalgardi, na cidade de Bilbao, descrita no Anexo 1, utiliza um processo de ciclo combinado modificado onde o vapor saturado, produzido em uma caldeira convencional situada no interior do incinerador de lixo, é superaquecido pelos gases de escape de uma turbina a gás natural em outra caldeira de recuperação externa ao incinerador. Este processo permite superaquecer o vapor até 540°C na pressão de 100 bar, sem o uso de materiais especiais nos tubos, aumentando o rendimento termodinâmico da usina. O inconveniente deste sistema se deve ao elevado consumo de gás natural que representa cerca de 78% da energia total consumida pela usina. Varias patentes nos EUA entre elas U.S.Pat. No. 5.724.807, U.S.Pat. No. 4.882.903, U.S.Pat. No. 4.957.049, U.S.Pat. No. 4.852.344. e U.S.Pat. No. 5.072.675 abordam a vantagem do gás natural para aumentar o rendimento da usina mas não atacam o problema do elevado consumo de gás natural, um combustível fóssil, nem maneiras de reduzi-lo. O sistema proposto nesta patente mantém o elevado rendimento termodinâmico das usinas biomassa-energia com biogás e/ou gás natural e similares mas reduz bastante o consumo de biogás. O autor deste pedido de patente apresentou junto ao INPI o pedido de patente PI0701249-7 para usinas termelétricas a gás natural/resíduos sólidos urbanos(lixo) que utiliza princípio semelhante.

30 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Considere a Figura 1. Foi considerado um ciclo de vapor com duas pressões (67 bar/480°C e 16 bar/380°C) e reaquecimento, apenas para efeito de exemplificar os resultados numéricos, porém outras pressões e temperaturas compatíveis podem ser adotados sem prejuízo do processo. A máquina térmica (10) deve ser especificada para suprir apenas o consumo próprio aproximado da usina, em geral cerca de 10% da produção total da planta. Esta máquina recebe a energia térmica E1 do biogás (ou similar), transforma parte desta energia diretamente em energia elétrica (gerador elétrico W1), e do restante da energia uma parte vai para os gases de exaustão e outra parcela é perdida para o meio ambiente. Os gases de exaustão da máquina térmica, em geral entre 400°C e 600°C, são misturados com ar puro, pré-aquecido a temperatura T3' entre 350°C e 400°C nos trocadores de calor (9) e (13). A mistura, à temperatura TO aproximadamente igual a 425°C, recebe energia adicional E2 no queimadores de biogás suplementar (11) de

modo a elevar a temperatura do vapor de pressão intermediária (16 bar/300°C) no superaquecedor (2). Após ceder calor ao vapor no superaquecedor os gases a temperatura T2, aproximadamente igual a 410°C, pré-aquecem o ar de mistura mencionado acima a cerca de 380°C e são resfriados a valores T2' aproximadamente igual a 300°C no trocador de calor (13). Opcionalmente podemos usar estes gases a T2' para preaquecer a água de alimentação no economizador (3) sendo resfriados a T2''. Estes gases são misturados com ar puro pré-aquecido a 160°C no trocador de calor (9) com os gases de combustão da caldeira de bagaço, resultando numa mistura a T4' entre 160°C e 200°C que é usada como ar de combustão na grelha da caldeira de bagaço (14) com concentração de oxigênio entre 18% e 20% em volume. Este ar aquecido e ligeiramente empobrecido reduz a formação de NOx no incinerador além de promover a secagem do bagaço na ante-câmara de combustão. A vazão de ar de combustão é ajustada para que os gases recebam a energia térmica do bagaço E4 e deixem a grelha de combustão a temperatura T1 entre 950°C e 1050°C. Esta temperatura é abaixada para TR, através da recirculação (25) opcional de parte dos gases que saem dos trocadores (8) e (9) à temperatura T10. Na seção de paredes d'água a temperatura é reduzida para TR, cerca de 750°C, e cede o calor na caldeira de recuperação composta dos trocadores de calor (4), (5), (7), (8) e (9), que são respectivamente: evaporador, superaquecedor (67 bar/480°C) economizador1, economizador2 e pré-aquecedor de ar. Como a temperatura T7 dos gases deixando o economizador1 (7) é de cerca de 200°C, poderá ocorrer condensação de gases ácidos nos economizadores (8) e (9). Neste caso empregamos trocadores de calor de condensação com tubos revestidos de teflon para (8) e de vidro ou teflon para (9). Os gases deixam os últimos trocadores de calor (8) e (9) à temperatura T10 a cerca de 90°C e são dirigidos para a chaminé (16). O vapor superaquecido a 67 bar/480°C no superaquecedor (5) alimenta as turbinas a vapor de contrapressão (17) e (23), com pressão de descarga igual a do vapor de processo de 2,5 bar gerando energia elétrica W2 e W4. O vapor extraído na pressão intermediária corresponde ao excesso acima do vapor de processo e é reaquecido a cerca de 400°C no reaquecedor (2) como descrito acima e expandido na turbina de condensação (18) gerando a potência elétrica W3. Após a turbina o vapor é condensado em (19) e (24) e bombeado por (20) até a pressão de 2,5 bar retornando ao economizador (8) de baixa pressão e em seguida para o desaerador (27) retornando para o desaerador (27). No desaerador o líquido saturado a 2,5 bar é bombeado por (21) até a pressão de 67 bar para o economizador (7) de alta pressão e em seguida ao evaporador (4), (22) onde o vapor saturado a 67 bar/283°C é gerado. Algumas usinas antigas utilizam acionamento mecânico para os dispositivos de produção de etanol e açúcar e neste caso a extração de vapor deve ser maior para acionar turbinas de contrapressão (25) descarregando na pressão de processo 2,5 bar junto com a turbina (23). O vapor de processo é direcionado para a usina de cana (26) e após o processo retornando ao desaerador. Parte do vapor de processo (5') é usada para promover a saturação do desaerador (27).

DESCRIÇÃO DETALHADA DO SISTEMA

A usina pode funcionar tanto em ciclo combinado como foi descrito acima ou como ilustrado na Figura 2, sem a turbina/motor a biogás. Neste caso basta aumentarmos a vazão de ar puro pré-aquecido a T3' e ajustarmos as quantidades de biogás no queimador (11) de modo a superaquecer o vapor de acordo com os mesmos valores do caso anterior. No caso da Figura 1, usamos um motor a gás de 8,034 MWe com rendimento 41,9%. Com gases de escape 12,453 Kg/s a 467°C. A capacidade da caldeira de bagaço é de 5340 ton/dia com PCI de 1800 Kcal/Kg, correspondendo a uma potencia térmica de 466 MWt. O ciclo de vapor adotado foi 67 bar e 480°C, na alta pressão; 16 bar e 380°C, na baixa pressão e pressão do condensador 0,1 bar. A quantidade de vapor de processo é de 356 tv/h. As eficiências isentrópicas das turbinas a vapor são de 82% e 87% para alta e baixa pressão. Considerando-se que a usina toda (cana e bagaço) consome 28,3 MWe a energia elétrica líquida exportada para a rede é de 99,3 MWe. Neste caso o consumo total de biogás é de 28 MWt. Estes valores correspondem a cerca de 112 KWh/ton de cana ou cerca de 60% a mais de energia do que as modernas usinas a bagaço.

VANTAGENS E ORIGINALIDADE DO SISTEMA

A patente solicitada resolve os dois principais problemas das usinas a bagaço de cana: poluição ambiental causada pela vinhaça e baixa eficiência termodinâmica. A principal vantagem é o reduzido consumo de biogás que compatibiliza o biogás disponível com a quantidade de cana processada. Além do expressivo ganho de eficiência há também uma redução do custo da usina devido a redução da pressão (e temperatura) da caldeira o que significa também menor custo de O&M. Sem prejuízo das vantagens do sistema proposto, o ciclo de vapor usado nos cálculos pode ser modificado visando a otimização da planta segundo critérios técnicos e /ou econômicos, sem prejuízo da elevada eficiência da usina. Tais critérios poderão envolver custo e quantidade do biogás, custo dos equipamentos, custo de manutenção, créditos de carbono pelo biogás queimado, receitas da venda de energia, etc...

REIVINDICAÇÕES:

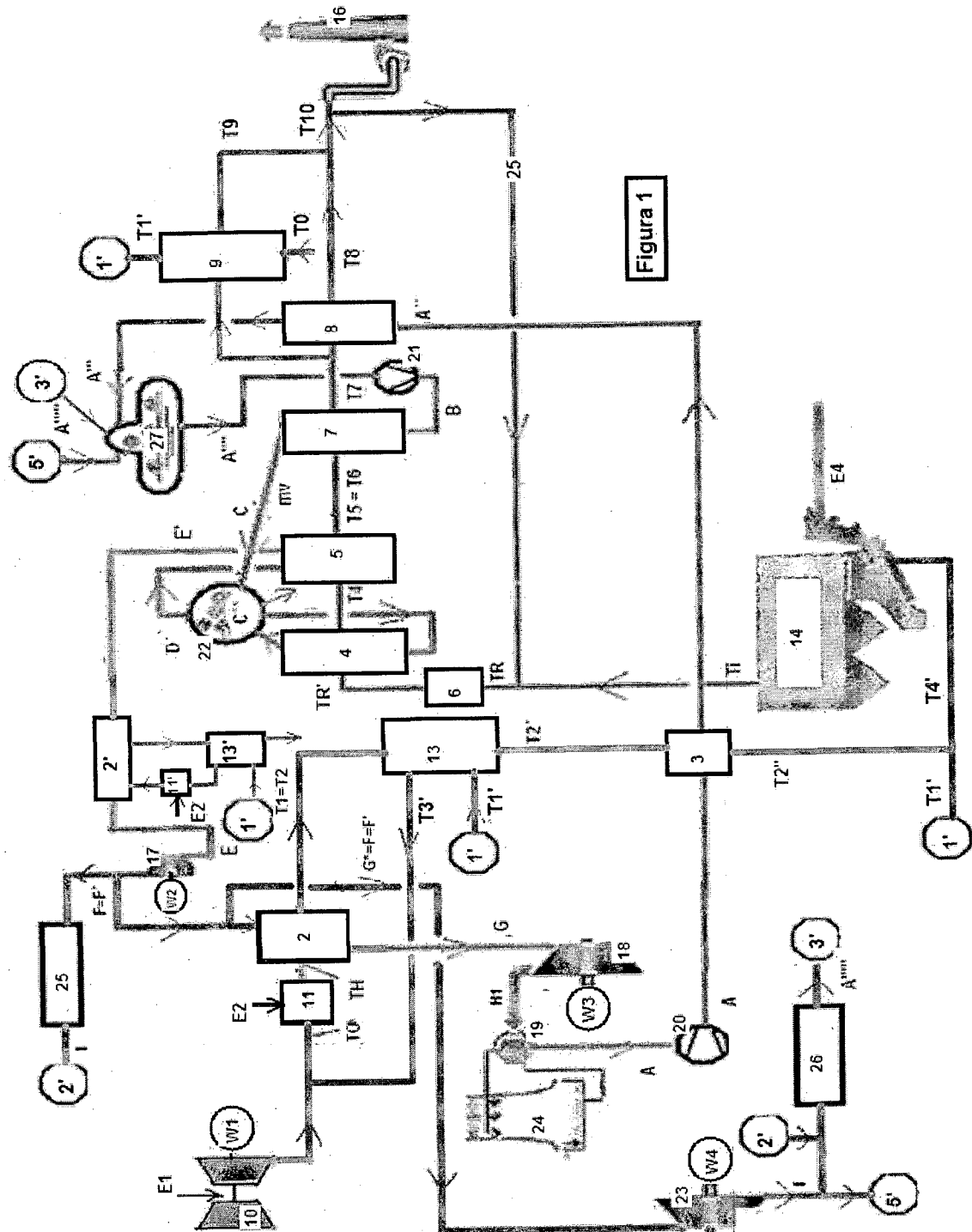
1. Uma usina termelétrica movida a bagaço de cana (biomassa, ou similares) e biogás (ou outro(s) combustível(eis) líquido(s) ou gasoso(s)) de alta eficiência, mostrada na **Figura 1**, caracterizada por compreender:

- 5 a) Uma caldeira de bagaço de cana composta pela fornalha **14**, evaporador(es) **6** e **4**, superaquecedor(es) **5** e economizador(es) **7**, pre-aquecedor(es) de água de alimentação **8** e pré-aquecedor(es) de ar de combustão **9**;
- 10 b) Uma turbina a vapor de contra-pressão de alta pressão **17**, uma turbina a vapor de contra-pressão de baixa pressão **23** e uma turbina a vapor de condensação **18**, todas acionando respectivos geradores elétricos W2, W3 e W4;
- c) Uma ou mais turbina(s) ou motor(es) e gerador(es) elétrico(s) **10** a biogás ou outros combustíveis líquidos ou gasosos todas acionando respectivos geradores elétricos W1;
- 15 d) Um ou mais superaquecedor(es) **2'**, externo(s) a caldeira, para superaquecimento do vapor proveniente da caldeira usando ar ambiente pré-aquecido nos trocadores de calor **9** e **13'** com queima de biogás (e similares) suplementar no queimador de duto **11'**;
- 20 e) Um ou mais reaquecedor(es) **2**, externo(s) a caldeira, para reaquecimento do vapor proveniente da turbina de alta pressão **17** usando os gases de exaustão do motor (turbina) a biogás (ou similar) **10**, misturados ao ar ambiente pré-aquecido nos trocadores de calor **9** e **13** com queima de biogás (e similares) suplementar no queimador de duto **11**;
- 25 f) Um sistema padrão de lavagem de gases da combustão antes da chaminé (não mostrado);
- g) Um desaerador **27** para remoção do oxigênio da água e controle da pressão do sistema;

2. Uma usina termelétrica movida a bagaço de cana (biomassa, ou similares) e biogás (ou outro(s) combustível(eis) líquido(s) ou gasoso(s)) de alta eficiência, mostrada na **Figura 2**, caracterizada por compreender:

- 30 a) Uma caldeira de bagaço de cana composta pela fornalha **14**, evaporador(es) **6** e **4**, superaquecedor(es) **5** e economizador(es) **7**, pre-aquecedor(es) de água de alimentação **8** e pré-aquecedor(es) de ar de combustão **9**;
- 35 b) Uma turbina a vapor de contra-pressão de alta pressão **17**, uma turbina a vapor de contra-pressão de baixa pressão **23** e uma turbina a vapor de condensação **18**, todas acionando respectivos geradores elétricos W2, W3 e W4;
- c) Um ou mais superaquecedor(es) **2'**, externo(s) a caldeira, para superaquecimento do vapor proveniente da caldeira usando ar ambiente pré-aquecido nos trocadores de calor **9** e **13'** com queima de biogás (e similares) suplementar no queimador de duto **11'**;
- 40 d) Um ou mais reaquecedor(es) **2**, externo(s) a caldeira, para reaquecimento do vapor proveniente da turbina de alta pressão **17** usando ar ambiente pré-aquecido nos trocadores de calor **9** e **13** com queima de biogás (e similares) suplementar no queimador de duto **11**;
- 45

- e) Um sistema padrão de lavagem de gases da combustão antes da chaminé (não mostrado);
- f) Um desaerador **27** para remoção do oxigênio da água e controle da pressão do sistema;



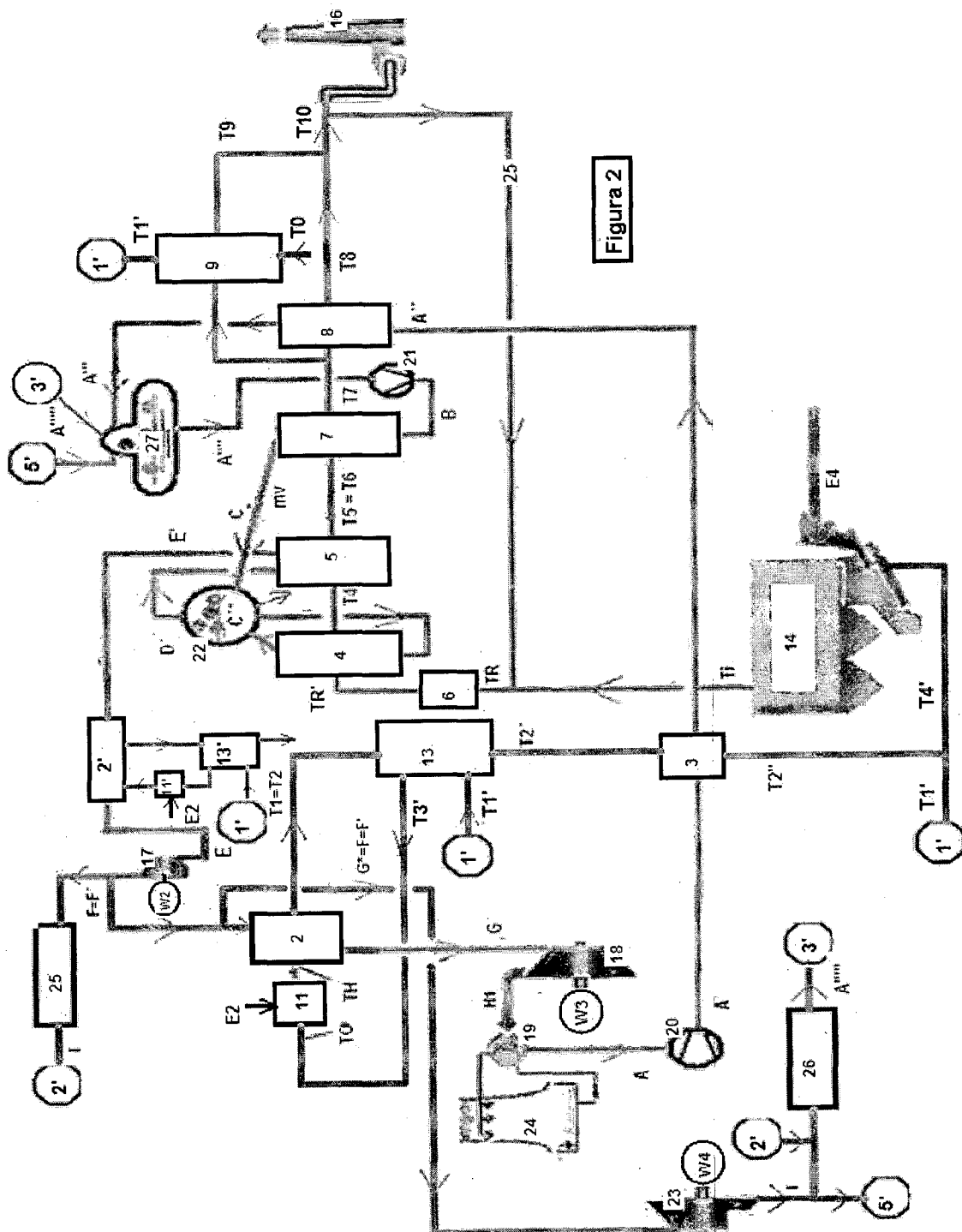


Figura 2

RESUMO

Patente de Invenção para: USINAS TERMELÉTRICAS A BAGAÇO DE CANA E BIOGÁS DE ALTA EFICIÊNCIA. Trata-se de patente de invenção na área de geração de energia elétrica e vapor em usinas termelétricas movidas a biomassa, em especial bagaço de cana, consorciados com biogás, gás natural, diesel, biodiesel e/ou similares em ciclo combinado. A eficiência da usina pode ser aumentada em até 60% através do reaquecimento do vapor gerado pela queima do bagaço de cana e usando-se o biogás gerado pela digestão anaeróbica da vinhaça resultante da produção de etanol/açúcar através da cana. Primeiramente o biogás é queimado em motores adequados e sua exaustão usada no reaquecimento do vapor extraído da turbina a vapor de alta pressão. Com o reaquecimento não há necessidade do uso de altas pressões e temperaturas usadas nas usinas de ultima geração obtendo-se muito mais energia para exportação com menor custo de investimento e manutenção. A queima do biogás da vinhaça qualifica a usina para créditos de carbono através do programa MDL das Nações Unidas melhorando ainda mais a viabilidade econômica do empreendimento.