

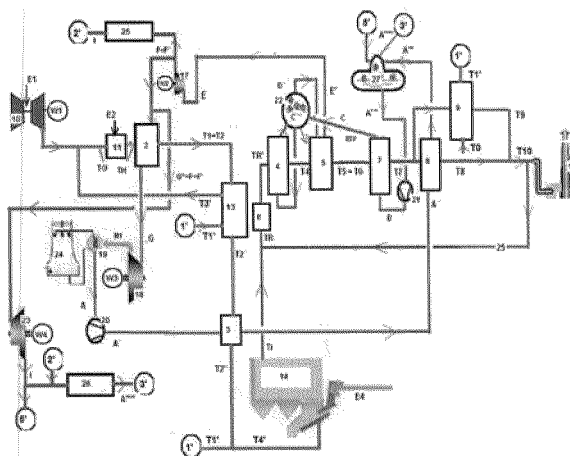


(22) Data de Depósito: 19/11/2008
(43) Data da Publicação: 27/07/2010
(RPI 2064)



(51) Int.Cl.:
F01D 15/10
F01D 1/00
F03G 7/00

(57) Resumo: 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 última 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.





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.

DESCRIPÇÃO 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

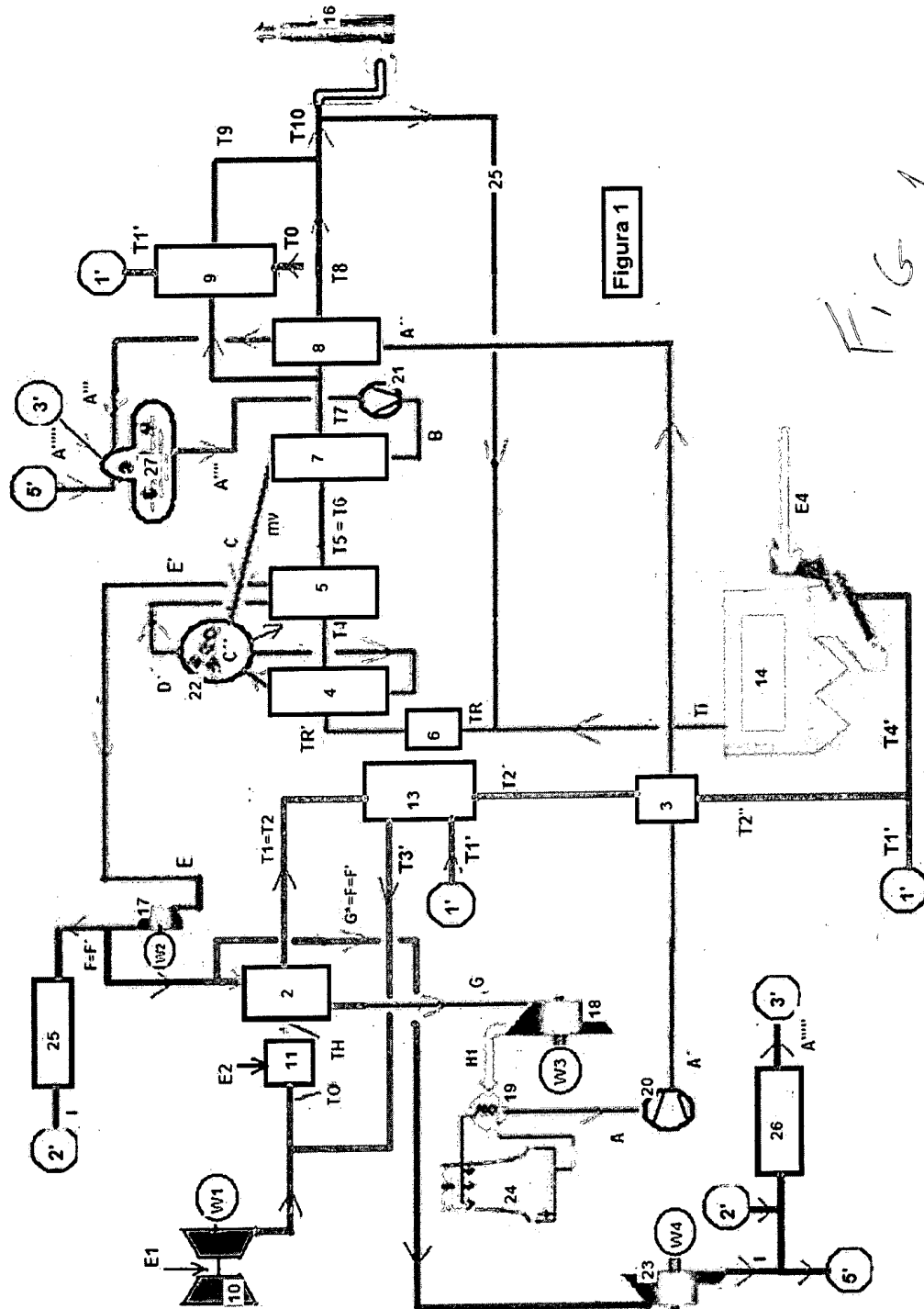
A usina pode funcionar tanto em ciclo combinado como foi descrito acima ou como ilustrado na Figura 2, sem a turbina/motor a biogás. Neste caso basta aumentarmos a vazão de ar puro pré-aquecido a T_3' e ajustarmos as quantidades de biogás no queimador (11) de modo a superaquecer o vapor de
5 acordo com 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
10 380°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
15 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.

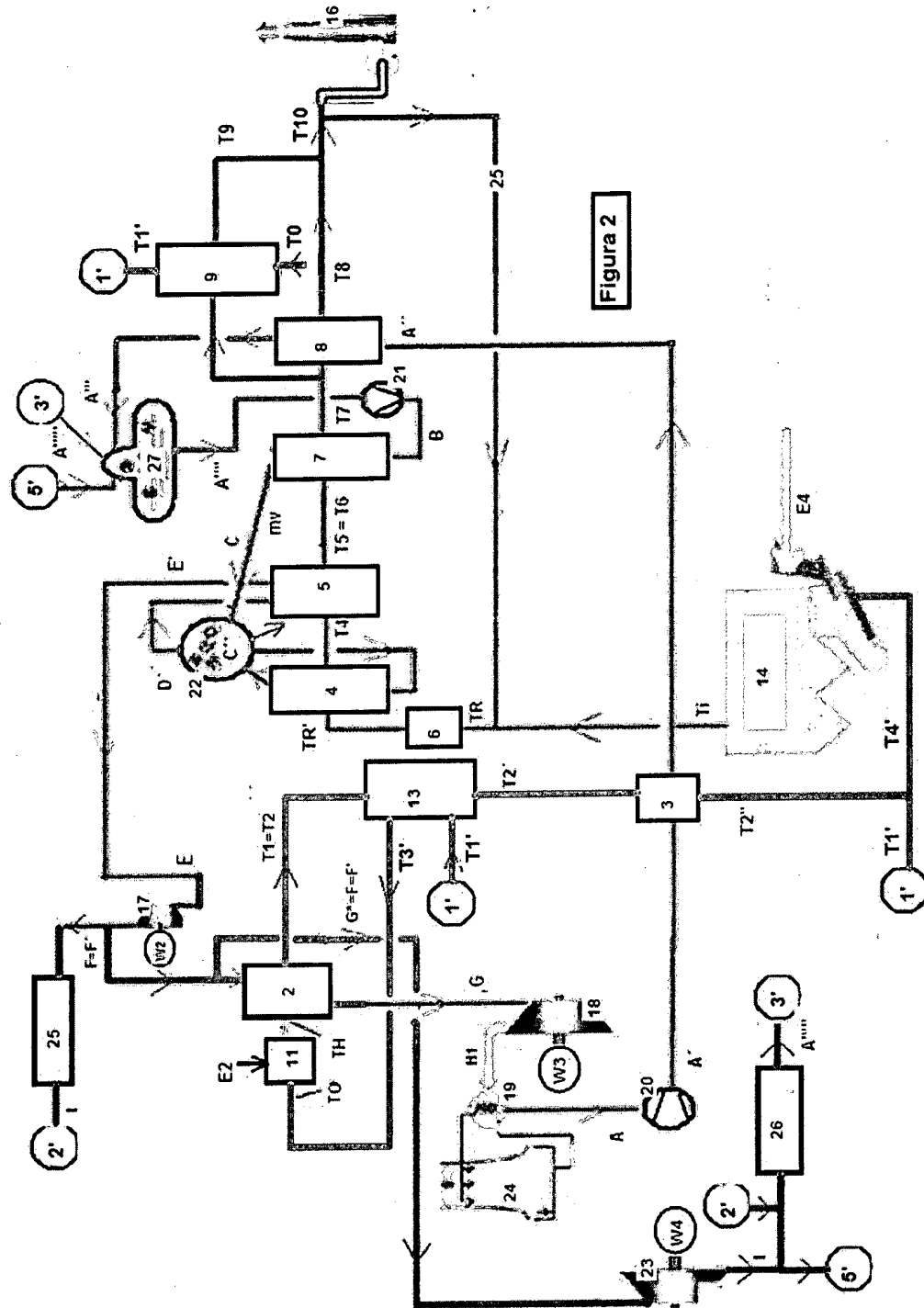
VANTAGENS E ORIGINALIDADE DO SISTEMA

A patente solicitada resolve os dois principais problemas das usinas a bagaço de cana: poluição ambiental causada pela vinhaça e baixa eficiência
20 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
25 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:

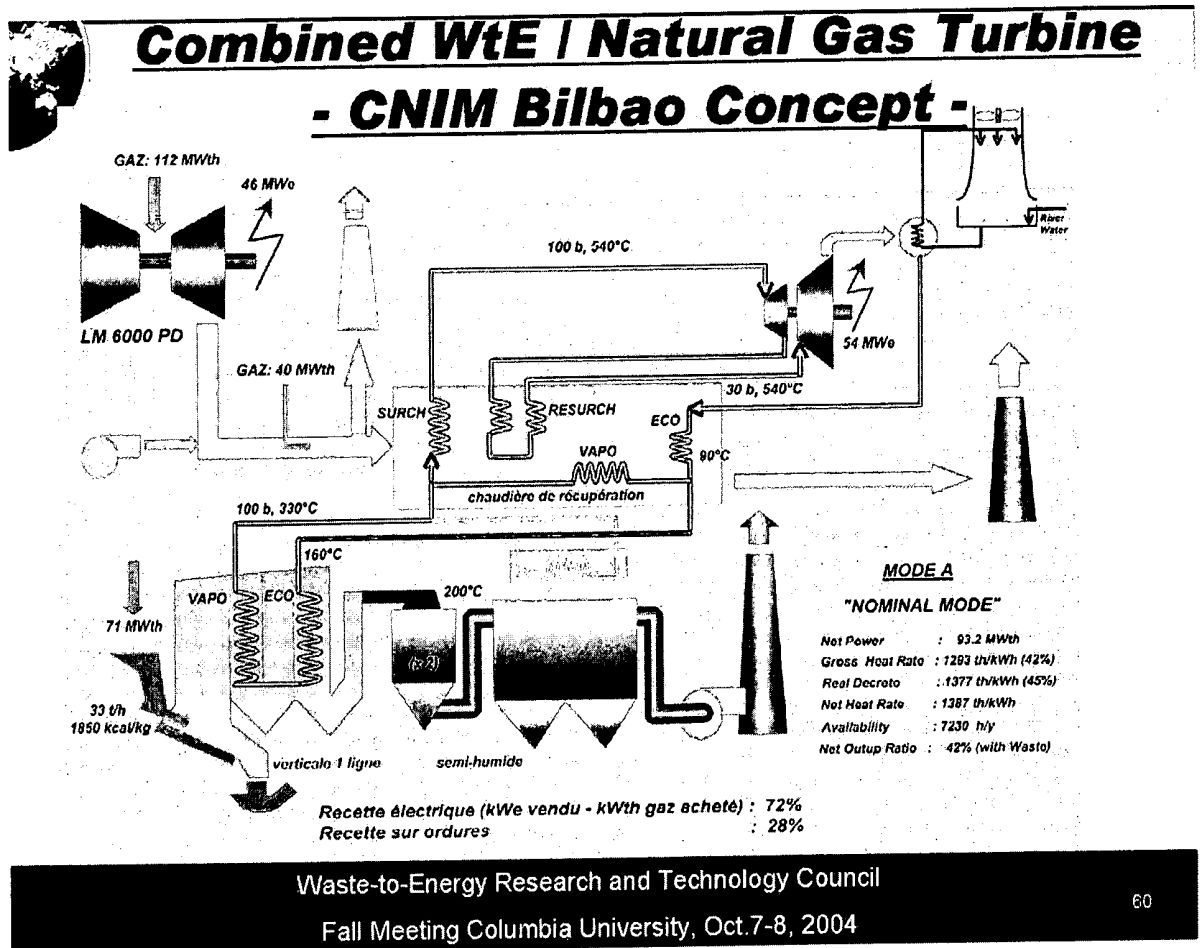
1. Uma usina termelétrica movida a bagaço de cana de açúcar (biomassa, ou similares) e biogás (ou outro(s) combustível(eis) líquido(s) ou gasoso(s)) caracterizada por compreender:
 - 5 a) Uma caldeira de bagaço de cana com ou sem paredes d'água composta de, evaporador(es), superaquecedores e economizador(es).
 - b) Uma ou mais turbina(s) ou motor(es) e gerador(es) elétrico(s) a biogás ou outros combustíveis líquidos ou gasosos
 - 10 c) Um ou mais superaquecedor(es), externos ao incinerador, para reaquecimento do vapor extraído da turbina de alta pressão usando os gases de exaustão do motor (turbina) a biogás (ou similar) misturados ao ar ambiente pré-aquecido com ou sem queima de biogás suplementar.
 - d) Uma ou mais turbinas a vapor de contra-pressão e de condensação e gerador(es) elétrico(s).
 - 15 e) Um sistema opcional de lavagem de gases antes da chaminé.
 - f) Um sistema de tratamento das cinzas.
 - g) Um desaerador para remoção do oxigênio da água e controle da pressão do sistema.
2. Os superaquecedores externos da reivindicação 1 são caracterizados pelo
 - 20 fato do(s) tubos do(s) superaquecedor(es) poderem ser aletados uma vez que os gases por serem limpos são livres da fuligem presente nos gases provenientes do incinerador de bagaço.
3. Os superaquecedores externos da reivindicação 1 são caracterizados pelo
 - 25 fato de logo após os superaquecedores existir um pré-aquecedor de ar puro para recuperar a energia térmica ainda presente nos gases deixando o(s) superaquecedor(es) reduzindo o consumo de biogás suplementar para superaquecer o vapor antes da turbina a vapor de condensação.
4. A caldeira de bagaço da reivindicação 1 é caracterizada pelo fato de após a
 - 30 mesma existir um economizador e um pré-aquecedor do ar ambiente para combustão do bagaço e/ou do biogás suplementar do tipo CHX ("condenser heat exchanger" - trocador de calor de condensação, com tubos de teflon ou vidro) ou de outro material resistente à corrosão revestidos ou não com teflon. No caso do CHX pode-se abaixar a temperatura dos gases a valores bastante reduzidos, evitando a corrosão dos tubos devido a condensação dos gases
 - 35 ácidos, aumentando-se a eficiência da usina.
5. Uma usina termelétrica movida a bagaço de cana de açúcar (biomassa, ou similares) e biogás (ou outro(s) combustível(eis) líquido(s) ou gasoso(s)) em
 - 40 tudo semelhante aquela descrita nas reivindicações 1 a 4, acima, caracterizada pelo fato da não existência da máquina térmica (turbina ou motor a biogás ou similar). O reaquecimento no(s) superaquecedor(es) externo(s) da reivindicação 1 é obtido aumentando-se a vazão de ar ambiente pré-aquecido no trocador de calor após o(s) superaquecedor(es) usando-se biogás suplementar para se atingir a temperatura desejada para o vapor da turbina de condensação.





ANEXO 1

Esquema da Usina de Zabalgardi em Bilbao, Espanha.



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.