



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **1 065 169**

⑫ Número de solicitud: U 200700049

⑬ Int. Cl.:
F23G 7/00 (2006.01)

⑭

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

⑮ Fecha de presentación: **10.01.2007**

⑯ Prioridad: **09.10.2000 EP 20000203500**
11.04.2001 CH 20010067701

⑰ Fecha de publicación de la solicitud: **01.07.2007**

⑱ Solicitante/s: **Ornella Fumero di Sabatino**
Via el Cunvènt 16
6513 Monte Carasso, CH
David Brenière y
Daniele Martignoni Bordonzotti

⑲ Inventor/es: **Fumero Di Sabatino, Ornella;**
Brenière, David y
Martignoni Bordonzotti, Daniele

⑳ Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

㉑ Título: **Planta para generar energía.**

ES 1 065 169 U

DESCRIPCIÓN

Planta para generar energía.

La presente invención se refiere a una planta para generar energía y, en general, al campo de la generación de potencia eléctrica y/o térmica, incluyendo la forma de cogeneración, obtenida a partir de la combustión de gases producidos en un procedimiento pirólítico realizado en reactores de pirólisis en los que se procesan biomasa, combustible derivado de residuos, residuos sólidos tales como residuos de producción, residuos sólidos, etc.

Como es sabido por los expertos en la materia, ello se consigue calentando los residuos sólidos mencionados a temperaturas elevadas en ausencia de oxígeno, con lo que se convierten en gases, carbón vegetal y/o ceniza.

Aunque esto último puede utilizarse como combustible y/o como elemento inerte, el gas producido puede suministrarse a motores de combustión interna, por ejemplo turboalternadores con el fin de generar energía eléctrica.

La energía térmica de los gases de escape que salen de los turboalternadores a una temperatura todavía elevada se ha recuperado hasta la actualidad parcialmente para fines de cogeneración de energía. Dada su elevada temperatura mencionada anteriormente, la presente invención contempla que éstos podrían usarse asimismo con fines de calentar los reactores de pirólisis que los generaron, dando lugar a una eficiencia de energía total apreciable en una planta de pirólisis.

Los gases de combustión todavía calientes que abandonan los reactores de pirólisis se utilizan como potencia térmica para una caldera de recuperación de energía que puede usarse en forma térmica o convertirse en forma eléctrica y/o puede transportarse a un intercambiador de gas de combustión/aire que calienta previamente el aire oxidante cuando éste deja la etapa de compresión de la turbina y antes de que entre en la cámara de combustión de una o más de las turbinas de gas denominadas de ciclo "recuperado".

Para poder valorar la importancia de esta idea, sería útil proporcionar una descripción general de los problemas asociados con los procedimientos de generación y/o cogeneración de energía.

La cogeneración de electricidad, calor y/o vapor a través de turbinas de gas, calderas de recuperación y, en algunos casos, turbinas de vapor es actualmente uno de los sistemas más eficientes, fiables y económicos para producir energía eléctrica y calor de proceso. Los sistemas de cogeneración y los denominados "ciclos combinados" más comúnmente utilizados comprenden plantas que comprenden turbinas endotérmicas (algunas veces motores de pistón), sistemas de recuperación de calor (tales como calderas de vapor, sistemas de secado, recuperadores de petróleo diatérmicos) y, en algunos casos, turbomáquinas accionadas por vapor que pueden usarse para convertir en energía eléctrica parte de la energía térmica contenida en el vapor de la caldera.

En la configuración más común de este tipo de planta, el combustible utilizado se deriva del petróleo y, en general, es gas metano, LPG, gasóleo o nafta.

En el contexto de la producción de gas de pirólisis para su utilización con fines de combustión, el procedimiento de pirólisis, que está diseñado para producir carbón vegetal y gases, es un procedimiento que se ha puesto en práctica, aunque en una pluralidad de va-

riantes y con prestaciones variables, desde principios de 1800, y ha proporcionado el combustible básico durante el periodo de la "revolución industrial" antes de ser sustituido por el carbón.

Asimismo, deberá señalarse que la naturaleza ha estado realizando el procedimiento de pirólisis durante un tiempo muy largo; únicamente se han de considerar los procesos en la formación de petróleo, gas, coque que constituyen la base de las reservas de combustible fósil de nuestro planeta.

La pirólisis es una técnica que consiste en aplicar altas temperaturas a un material orgánico sólido (biomasa, residuos, etc.) en ausencia de aire. El proceso de descomposición de los enlaces moleculares en diversos componentes del material hace que sea posible producir efluentes gaseosos del combustible principal, carbón vegetal y líquidos orgánicos condensables.

Por ejemplo, una tonelada de biomasa tratada por un procedimiento de pirólisis produce de media aproximadamente 27% de carbón vegetal, 14% de aceites y residuos líquidos y 59% de gas con un valor calorífico de aproximadamente 15.000 kJ/m³. Asimismo, deberá señalarse que la biomasa proporciona 1/7 de la demanda de energía anual del mundo. La gran diversidad de especies vegetales características del territorio de nuestro planeta y la biomasa abundante que deriva de éstas constituyen una fuente principal de energía renovable limpia.

Algunos sistemas desarrollados durante los últimos años, particularmente para plantas grandes, que representan un punto de partida para esta invención, son los denominados "IGCC" (Integrated Gasification Combined Cycles).

Una limitación de estos procedimientos es siempre que las unidades de producción de electricidad y de calor de proceso se mantienen independientes de la unidad de producción de gas de síntesis.

En otras palabras, el calor directo procedente del escape de la turbina de gas no se utiliza como fuente de energía calorífica para el ciclo de producción de gas.

El objeto específico de la presente patente reside en el uso combinado y directo de la pirólisis y la cogeneración de electricidad y calor a través de un ciclo recuperado para la generación de electricidad y calor junto con la utilización térmica de residuos sólidos o biomasa.

El objetivo de desarrollar tal ciclo térmico es un resultado de los desarrollos actuales en el sector energético que está cambiando cada vez más, voluntariamente o por obligación, hacia el uso de fuentes de energía renovables y hacia una elevada eficiencia de energía. Este desarrollo está regido fundamentalmente por dos consideraciones principales:

Las fuentes de energía fósiles y nucleares no son inagotables y, en algunos sectores, se habrán agotado completamente dentro de pocas décadas.

La existencia del conocido efecto invernadero, con todos sus efectos bien conocidos sobre el cambio climático global, es en la actualidad algo que se reconoce en todas las esferas académicas y políticas. Este efecto es una consecuencia directa del uso extensivo de combustibles fósiles (en particular petróleo en todas sus formas) como fuente energética primaria.

A nivel político, existe una conciencia emergente de este estado de cosas: los incentivos para el uso de energía renovable y los desincentivos en forma de ta-

sas (por ejemplo, “tasa de carbono”, impuestos sobre combustibles, etc.) son una clara muestra de esto.

Para evitar la crisis futura de la energía y con el fin de salvaguardar nuestro clima, una posible solución comprende retomar energías que deriven de la energía solar recibida por nuestro planeta y otras fuentes renovables. En este campo encontramos:

1. Energía hidroeléctrica,
2. Energía solar directa (paneles fotovoltaicos y solares),
3. Energía eólica,
4. La energía que puede generarse a partir de la biomasa.

Las limitaciones en los tres primeros tipos de energía, que derivan de la energía solar, son sobre todo de naturaleza geográfica (la necesidad de encontrar lugares montañosos con la hidrología apropiada, lugares ventosos o lugares con buena insolación), asociada algunas veces con una eficiencia de conversión de energía muy pobre y dificultades con el almacenamiento de la energía producida.

Si, por otro lado, consideramos la energía producida por medio de biomasa, encontramos que esto evita estas desventajas, ya que, al mismo tiempo, mantiene estable la concentración de CO_2 en la atmósfera o incluso la reduce. Obviamente, la última consideración sólo es válida si se respeta completamente la siguiente norma:

“Por cada unidad de biomasa que se consuma para producir calor es necesario crear uno o más sustitutos”.

Esto significa que si, por ejemplo, quemamos un área de superficie dada de bosque durante un periodo de diez años, debe entonces arbolarse un área de superficie igual durante el mismo periodo de tiempo con el fin de volver a la mismas condiciones iniciales. Como es virtualmente imposible quemar toda la biomasa producida (en el caso de bosques, las hojas, las pequeñas ramas y cualquier otra cosa que permanezca en el bosque para formar humus), es obvio que, al crear y quemar biomasa, siendo la misma el área de superficie cultivada usada, el equilibrio se inclina a favor de una reducción total en el contenido de CO_2 atmosférico.

Considerando lo expuesto anteriormente, el inventor ha tenido la idea a la que se refiere esta invención, que comprende una planta para generar energía como se describe en la cláusula precharacterizante de la reivindicación adjunta 1, caracterizado por las características técnicas previstas en la parte caracterizante de la misma reivindicación.

Se proporcionará a continuación una descripción de la invención según la invención haciendo referencia a la figura adjunta que representa un diagrama funcional de una forma de realización preferida de una planta para la puesta en práctica de la invención.

En la figura se muestra como en una planta 1 para poner en práctica la invención un reactor de pirólisis 3 (mostrado en dos partes para mayor claridad de la descripción, como se verá a continuación) aloja en su interior residuos sólidos 10n que son suministrados al mismo continuamente (flecha D) por medio de sistemas de un tipo conocido, tal como, por ejemplo, una tolva 9. Estos residuos sólidos 10n, cuando se calientan en ausencia de oxígeno, se convierten, como se mencionó, en gas, carbón vegetal y ceniza.

Aunque estos últimos se eliminan por medio de dispositivos adecuados de un tipo conocido 11, el gas

de pirólisis generado que fluye hacia un recipiente 11 del reactor de pirólisis 3 se envía después de la filtración a través de una unidad de filtro 7 y de la compresión en una primera unidad de compresión 6, parcialmente hacia un turboalternador de gas de ciclo recuperado como combustible 2 y parcialmente hacia una unidad de poscombustión 4 a través de la cual la totalidad o parte del gas de escape proveniente del escape 2u del turboalternador 2 fluye hacia el reactor de pirólisis 3. Puede resultar ventajoso recomprimir únicamente la parte del gas de pirólisis que es suministrada al turboalternador 2, como se indica en la figura, a través de una segunda unidad de compresión 8.

La temperatura de los gases de escape procedentes del turboalternador 2 puede incrementarse óptimamente según sea necesario en la unidad de poscombustión mencionada anteriormente 4.

Los aceites pesados y alquitranes que son separados por la unidad de filtro 7 mencionada anteriormente se retiran a continuación (flecha E) y se utilizan posiblemente para aplicaciones industriales, o se “craquean” y se incluyen de nuevo en el gas de combustión. Al alcanzar el reactor de pirólisis 3, el gas de escape del turboalternador 2 y la unidad de poscombustión 4 cede la energía necesaria para realizar el procedimiento de pirólisis de los residuos sólidos 10n contenidos dentro de él por intercambio de calor (que puede tener lugar, por ejemplo, a través de las paredes de una camisa de reactor).

Debido a que los gases de escape quemados que alcanzan el reactor de pirólisis 3 ceden únicamente una porción limitada de su energía térmica al mismo, el inventor ha dispuesto que por lo menos parte de su energía térmica sea recuperada enviándolos a una caldera de recuperación 12 con posible poscombustión 13, que utiliza por lo menos parte de su energía térmica con fines de calentar y/o vaporizar un fluido. En la salida del reactor de pirólisis pueden incluirse uno o más intercambiadores de gas de combustión/aire 5 que se utilizan con el fin de calentar el aire oxidante que deja el compresor de la turbina de gas, antes de que dicho aire entre en la cámara de combustión de dicha turbina. El intercambiador 5 puede ser del tipo director, con el intercambio de calor entre los gases de combustión y el aire o con un o más circuitos intermedios.

Tanto el carbón vegetal extraído del reactor de pirólisis 3, según se ha mencionado, como cualquier gas de pirólisis sobrante pueden quemarse en el sistema de poscombustión 4 y/o 13 con el fin de permitir la recuperación adicional de energía.

Es obvio que, en el ejemplo descrito, se han ilustrado un solo reactor de pirólisis 3, un solo turboalternador 2, una sola caldera 12, un solo sistema de poscombustión 13, un solo intercambiador 5, etc., pero todas las partes componentes de la planta pueden presentarse en un número mayor que uno dependiendo de la potencia que tiene que producirse y de otros datos de diseño.

De hecho, lo que se describe anteriormente comprende un ciclo termodinámico y de masa que es independiente de la potencia y el tamaño contemplados de los componentes. Las reivindicaciones adjuntas hacen referencia asimismo a un ciclo de planta universal, independientemente del tamaño, la potencia, el combustible y las características de los componentes individuales.

Se ilustrarán a continuación a título de ejemplo los

flujos de masa y de energía relacionados con un rendimiento horario hipotético de material sólido, en este caso biomasa, para pirólisis, y la potencia eléctrica resultante proporcionada por la combinación de turbinas de gas de ciclo recuperado.

Con referencia al dibujo adjunto, se proporcionan dos ejemplos explicativos, el primero basado en el uso de una turbina de gas sin intercambiador 5, pero con una turbina de vapor conectada a la caldera de recuperación 12, y el segundo basado en el uso de una turbina de gas con un intercambiador 5 sin un ciclo de vapor de recuperación.

En el primer caso, se supone que el consumo de combustible de biomasa que entra en la tolva 9 es de 5.600 kg/hora. Se obtienen por pirólisis aproximadamente 4.340 nm³/hora de gas no tratado y éstos se suministran al sistema de tratamiento.

A la salida de éste, hemos secado y “desalquitranado” gas que es capaz de comprimirse en el compresor 6 y quemarse en el turboalternador 2 en una cantidad correspondiente a aproximadamente 3.100 nm³/hora.

Esta cantidad corresponde a una potencia de combustible de turbina de 12.500 kW.

La potencia neta de 3.500 kW en los terminales del alternador (eficiencia de la turbina de gas = 28%) se obtiene del turboalternador de gas 2. Se supone que los gases de pirólisis no se utilizarán para poscombustión en la caldera.

La potencia térmica del turboalternador en forma de calor de gas de escape es de aproximadamente 9.000 kW.

Es necesario alimentar aproximadamente 2.400 kW de esta potencia al reactor de pirólisis 3 con el fin de producir los 3.100 nm³/hora de gas mencionados anteriormente.

La potencia térmica restante del escape de la turbina que sale de la camisa exterior del reactor de pirólisis se alimenta a la caldera 12 como aire de combustión para el sistema.

A continuación del procedimiento de pirólisis se recogen aproximadamente 1.260 kg/h de carbón vegetal (5.600 de biomasa menos 4.340 de gas tratado). Este carbón vegetal, que tiene un valor calorífico total de 9.500 kW, se quema en el sistema que alimenta a la caldera de vapor 12.

Se supone en este punto que la entrada de calor de la unidad de poscombustión 4 corriente arriba del reactor de pirólisis es cero.

En conjunto, una capacidad térmica total de 16.100 kW (9.000 - 2.400 + 9.500) fluye hacia la caldera 12.

Considerando un ciclo de caldera con una turbina de gas, se observa que, suponiendo 85% de eficiencia en la caldera 12 y 28% para la turbina de gas, la potencia en los terminales de la turbina de vapor es de aproximadamente 3.850 kW.

Por tanto, suponiendo un equilibrio de energía general se observa que:

La entrada total de energía procedente de biomasa (suponiendo un valor calorífico medio de la biomasa de 13.500 kJ/kg) es de 21.000 kW.

La potencia bruta medida en los terminales de los alternadores de las dos turbinas es de 7.350 kW.

Por tanto, la eficiencia del ciclo, incluyendo el consumo interno, es de 35,0%.

En el segundo caso, se supone que el consumo de combustible de biomasa que entra en la tolva 9 es de

2.970 kg/hora. Se obtienen por pirólisis, aproximadamente 1.870 nm³/hora de gas no tratado y se suministran al sistema de tratamiento.

A la salida de éste, hemos secado y “desalquitranado” gas que es capaz de ser comprimido en el compresor 6 y quemado en el turboalternador 2 en una cantidad correspondiente a aproximadamente 1.680 nm³/hora.

Esta cantidad corresponde a una potencia de combustible de turbina de 10.300 kW.

La potencia neta de 3.915 kW en los terminales del alternador (eficiencia de la turbina de gas con ciclo recuperado = 38%) se obtiene a partir del turboalternador de gas 2.

La potencia térmica del turboalternador en forma de calor de gas de escape es de aproximadamente 6.300 kW.

Es necesario alimentar aproximadamente 911 kW de esta potencia al reactor de pirólisis 3, junto con el suministro de poscombustión 4, con el fin de producir los 1.870 nm³/hora de gas mencionados anteriormente.

La potencia térmica restante del escape de turbina que sale de la camisa exterior del reactor de pirólisis se alimenta al intercambiador 5 que sirve para precalentar el aire oxidante de la turbina de gas.

A continuación del procedimiento de pirólisis se recogen aproximadamente 450 kg/h de carbón vegetal (2.970 de biomasa menos gas, ceniza y residuos). Este carbón natural, que tiene un valor calorífico total de 3125 kW, se quema en el sistema de poscombustión 4 con fines de alcanzar las temperaturas necesarias para conseguir la pirólisis del material sólido en los reactores precedentes.

En conjunto, una capacidad térmica total de 8.514 kW (6.300 - 911 + 3.125) fluye hacia el intercambiador 5.

Considerando un ciclo de caldera con una turbina de gas de tipo recuperado y suponiendo 90% de eficiencia para el intercambiador 5 y 38% para el turboalternador de gas, la potencia en los terminales del alternador es de 3.915 kW con una potencia térmica a la salida del intercambiador de gas de aproximadamente 6.271 kW, que pueden usarse todavía para generar calor, frío, calor de proceso, desalinización, etc.

Por tanto, suponiendo un equilibrio de energía general se observa que:

La entrada total de energía de la biomasa (suponiendo un valor calorífico medio de la biomasa de 14.300 kJ/kg) es de 11.800 kW.

La potencia bruta medida en los terminales de los alternadores de la turbina de gas es de 3.915 kW.

Por tanto, la eficiencia eléctrica del ciclo, incluyendo el consumo interno, es de 33,2%.

Los equilibrios de masa indicados en los ejemplos anteriores pueden variar según los procedimientos, componentes y materiales utilizados y, por tanto, son únicamente indicativos.

Sin embargo, los hallazgos en los dos ejemplos anteriores representan ciertamente un resultado extremadamente positivo cuando se considera que los procedimientos de combustión de biomasa convencionales en un hogar o en un lecho fluidificado únicamente producen eficiencias máximas de aproximadamente 22%.

La presente invención representa una innovación importante en el concepto de la cogeneración de electricidad y calor junto con la eliminación de residuos

de todas clases, desde biomasa a residuos sólidos urbanos y a residuos industriales.

Además, la invención define un ciclo termodinámico de conversión térmica de residuos que consigue eficiencias eléctricas elevadas sin el uso de un ciclo de agua/vapor y una turbina asociada, limitando así el impacto y la complejidad.

Como se menciona anteriormente, corriente abajo del sistema que constituye el objeto de la invención existe aún la posibilidad de utilizar los gases de combustión calientes (a una temperatura de aproximadamente 350°C) para la producción de agua caliente,

vapor de proceso, cogeneración, desalinización, etc.

Lo que el inventor ha intentado optimizar y utilizar con la máxima eficiencia es el calor normalmente disponible de las turbinas de gas, que, como resultado de sus características de temperatura y rendimiento, es muy adecuado para suministrar energía al reactor de pirólisis de manera que sea recuperada a continuación para precalentar el aire para combustión.

Otro aspecto fundamental de la presente invención es sin duda la combinación de la parte que produce combustible, ya sea gas de pirólisis o carbón vegetal resultante, con su utilización inmediata.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Planta (1) para generar energía que comprende uno o más turboalternadores (2) accionados por la expansión de gas quemado, produciéndose este gas en uno o más reactores de pirólisis (3) en los que se someten residuos sólidos (10n) a un procedimiento pirolítico que proporciona energía térmica a los propios reactores de pirólisis (3), **caracterizada** porque la salida (2u) para los gases de escape de dichos turboalternadores (2) está conectada a dichos reactores de pirólisis (3), que están contruidos de manera que utilizan por lo menos parte de la energía térmica en dichos gases de escape con el fin de realizar el procedimiento pirolítico mencionado anteriormente.

2. Planta según la reivindicación 1, **caracterizada** porque la energía térmica que sale de los reactores de pirólisis (3) es recuperada parcial o completamente por uno o más intercambiadores (5) que precalientan el aire oxidante que entra en la cámara de combustión de la turbina, incrementando la eficiencia eléctrica total.

3. Planta según una de las reivindicaciones ante-

teriores, **caracterizada** porque una o más unidades de poscombustión (4) a las que se suministra algo de dicho gas de pirólisis están insertadas entre dichos uno o más reactores de pirólisis (3) y la tubería o tuberías que suministran el gas de escape de los turboalternadores (2), enviándose únicamente la parte restante a los turboalternadores (2) mencionados anteriormente.

4. Planta según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque está provista asimismo de uno o más consumidores térmicos (12) a los que se suministran dichos gases de escape después de que han atravesado los reactores de pirólisis (3) y los intercambiadores (5) de manera que pueda recuperarse al menos parte de su energía térmica residual con el fin de calentar y/o vaporizar un fluido.

5. Planta según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque una o más unidades de compresión (6, 8) y una unidad de filtrado (7), que filtran y comprimen respectivamente el gas de pirólisis suministrado a dichos turboalternadores (2) y dichas unidades de poscombustión (4), están insertas corriente abajo del reactor o reactores de pirólisis (3).

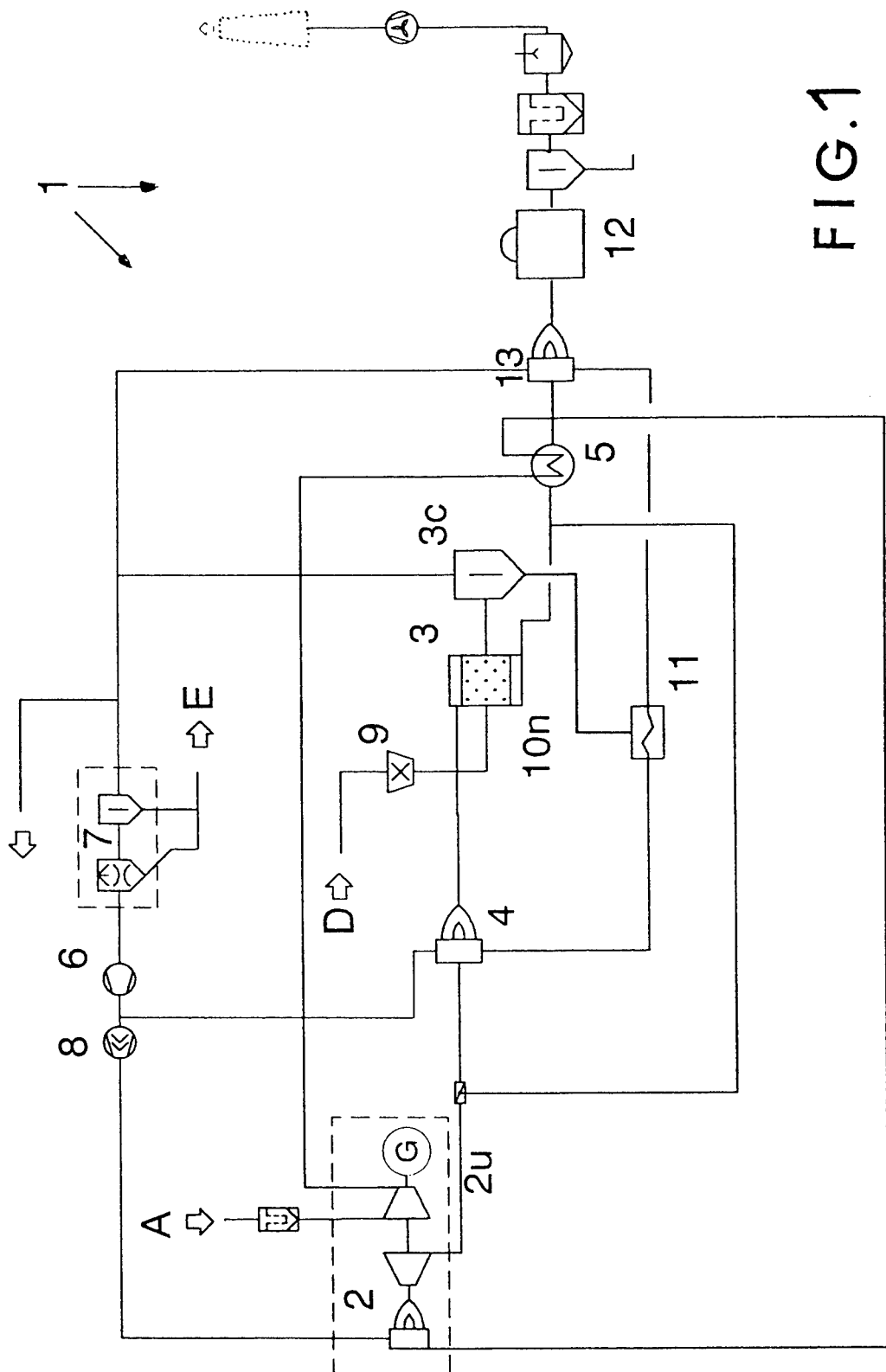


FIG.1