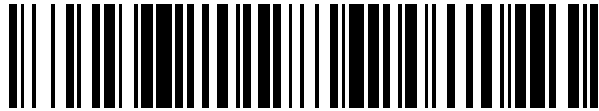


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 527 353**

21 Número de solicitud: 201490088

51 Int. Cl.:

**F01K 23/00** (2006.01)

**F03G 6/00** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

**04.02.2013**

30 Prioridad:

**15.02.2012 IT MI2012A000221**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**22.01.2015**

71 Solicitantes:

**FALCK RENEWABLES SPA (100.0%)**

**Corso Venezia 16**

**I- 20121 MILANO IT**

72 Inventor/es:

**MANZONI, Piero;**

**DI PERSICO, Lorenzo y**

**SCAPOLO, Michele**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

54 Título: **PLANTA Y MÉTODO PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

57 Resumen:

Planta y método para aumentar la eficiencia de producción de energía eléctrica. La planta (10, 110) para la producción de energía eléctrica comprende una caldera de combustible (11) en la que un fluido se calienta para producir vapor de agua, una turbina (15) conectada con un generador eléctrico (16) donde se transporta dicho vapor de agua, y una unidad de condensador (19) que vuelve a condensar el fluido emitido desde la turbina para transportarse de vuelta al generador de vapor de agua. El fluido de retorno pasa a través de una unidad de precalentamiento (22) que recibe calor a partir de las purgas de vapor de agua de turbina (23) y de un campo solar termodinámico (25). Al hacer un uso adecuado del calor que se produce por el campo solar (25) y que está contenido en el fluido portador de calor que pasa a través de éste, se aumenta la eficiencia global de la planta (10, 110).

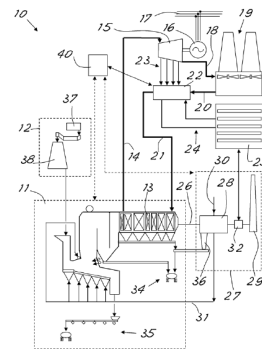


Fig. 1

## DESCRIPCIÓN

### PLANTA Y MÉTODO PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La presente invención se refiere a una planta y a un método para aumentar la eficiencia  
5 de la generación de energía eléctrica por medio de una turbina de vapor de agua.  
En particular, la planta es del tipo con una caldera de generación de vapor de agua a la  
que se suministra un material combustible.  
En la técnica, se conocen plantas para la producción de energía eléctrica en las que un  
fluido (por lo general agua) se sobrecalienta hasta el estado de vapor por medio de una  
10 caldera de combustión adecuada con el fin de ser capaz de accionar con este una turbina  
que está conectada con un alternador eléctrico, o turbo-alternador. El fluido, una vez que  
este ha pasado a través de la turbina, se condensa de nuevo y se transporta de vuelta a  
la caldera con el fin de repetir el ciclo. Esto forma, de este modo, el así denominado ciclo  
de Rankine.  
15 Se han propuesto diversos sistemas con el fin de aumentar la eficiencia del proceso. Por  
ejemplo, se conoce la así denominada "regeneración" por medio del purgado de vapor de  
agua, consistiendo esta en extraer parte de la energía a partir de la turbina, usando parte  
del calor del fluido presente en el interior de la turbina con el fin de calentar el propio  
fluido después de la recondensación, con el fin de aumentar la entalpía del fluido que  
20 entra en la caldera.  
Básicamente, a lo largo de la turbina hay uno o más puntos de purga que extraen parte  
del vapor de agua y transportan este a unos intercambiadores de calor que están  
dispuestos en el circuito aguas abajo con respecto al condensador principal y que  
calientan de este modo el fluido en el circuito de retorno a la caldera. El vapor de agua  
25 que se purga se mezcla a continuación con el fluido emitido a partir del condensador  
principal con el fin de mantener el circuito de fluido cerrado.  
La regeneración aumenta la eficiencia del ciclo, pero extrae parte de la energía a partir de  
la turbina.  
Además, los requisitos de la planta existente son tales que el vapor de agua ha de usarse  
30 para suministrar también otros aparatos de usuario internos y externos. Por lo tanto,  
puede haber un gran número de "puntos de purga" que se corresponde con el número de  
aparatos de usuario en el interior o el exterior de la planta y estos usuarios pueden ser  
otras máquinas o, en la mayor parte los casos, unos intercambiadores de calor que se  
usan para calentar otros fluidos (aire, humos de escape, aceites, etc.) útiles para el  
35 accionamiento de la planta con la totalidad de sus partes accesorias.  
En la técnica, se conocen unas plantas de concentración solar termodinámica en las que

el sobrecalentamiento del fluido para impulsar la turbina se obtiene por medio de una concentración adecuada de los rayos solares. Tal como es bien sabido, estas plantas tienen la limitación obvia de la no programabilidad de la fuente de energía primaria, a saber, el sol. Con el fin de reducir el impacto negativo de la disponibilidad del sol, también se ha propuesto la combinación, con las plantas solares termodinámicas, de una caldera auxiliar que usa un combustible fósil convencional (gas metano, aceite) o una fuente alternativa renovable (biomasa y / o desechos) y sistemas para almacenar el calor producido, con el fin de garantizar una producción continua de la planta.

En estas plantas conocidas, la fuente principal es, por lo tanto, la fuente solar que se obtiene por medio de una planta de concentración solar termodinámica en combinación con un ORC (*Organic Rankine Cycle*, ciclo de Rankine orgánico) para la producción de energía eléctrica, y el uso de otros combustibles en la caldera auxiliar tiene el único fin de compensar la ausencia de energía solar y de garantizar la producción mínima de energía eléctrica y / o calor también en unas condiciones en las que hay una radiación solar limitada.

Por lo tanto, por lo general estos tipos de plantas combinadas se realizan simplemente como una combinación de una planta solar normal y una planta de combustible normal, funcionando una en lugar de la otra dependiendo de las condiciones de radiación solar.

No obstante, la gestión de tales plantas es complicada, en particular a causa de la necesidad de gestionar el almacenamiento de unas cantidades suficientes de calor. Además, la eficiencia de la planta nunca es satisfactoria.

El documento WO2011/057881 describe una planta combinada que usa una caldera de generación de vapor de agua y un campo solar para calentar el fluido que vuelve a la caldera. No obstante, la eficiencia de una planta combinada de este tipo es aún no satisfactoria. Por ejemplo, una pérdida de irradiación sobre el panel solar da como resultado un deterioro en la eficiencia de la planta y un posible malfuncionamiento debido a la caída en la temperatura del fluido del campo solar.

También se describen unas plantas combinadas similares con unos problemas similares en el documento US2009/125152 y en el documento "VERBESSERUNG FOSSILGEFEUERTER DAMPFKRAFTWERKE DURCH SOLARE WAERMEZUFUHR", de Marko A, BWK Brennstoff Warme Kraft, Springer VDI Verlag, Dusseldorf, DE - Vol. 47, Nº 7 / 08 - 1 de julio de 1995.

El objeto general de la presente invención es la provisión de un método y una planta para la producción de energía eléctrica basada principalmente en una turbina de vapor de agua con el calentamiento del fluido por medio de una caldera de combustión, pero con la eficiencia del ciclo mejorado debido al uso de una instalación solar adecuada. En

particular, la caldera puede quemar, de forma ventajosa, biomasa o desechos con el fin de reducir el impacto ambiental en términos de recursos energético.

A la vista del presente objeto, la idea que se ha tenido de acuerdo con la invención es la provisión de una planta para la producción de energía eléctrica que comprende una caldera de combustible, en la que un fluido se calienta para producir vapor de agua, una turbina que está conectada con un generador eléctrico y a la que se transporta dicho vapor de agua, una unidad de condensador que vuelve a condensar el fluido emitido a partir de la turbina de tal modo que este puede transportarse de vuelta a la caldera, formando de este modo un circuito cerrado, recibiendo calor el fluido de retorno a lo largo de la trayectoria de la unidad de condensador a la caldera a partir de una unidad de precalentamiento diseñada para recibir calor tanto a partir de unas purgas de vapor de agua de turbina como a partir de un fluido portador de calor de un campo solar termodinámico. De forma ventajosa, la planta comprende un circuito en el que el fluido portador de calor del campo solar puede recibir calor residual a partir de los humos que se emiten a partir de la caldera.

Aún de acuerdo con la invención, la idea es la provisión de un método para la producción de energía eléctrica por medio de una turbina de vapor de agua en una planta que comprende una caldera de combustible en la que un fluido se calienta para producir vapor de agua, una turbina que está conectada con un generador eléctrico y a la que se transporta dicho vapor de agua, un condensador que vuelve a condensar el fluido emitido a partir de la turbina de tal modo que este puede transportarse de vuelta a la caldera, formando de este modo un circuito cerrado, en el que el fluido de retorno entre la turbina y la caldera se calienta por medio de una combinación controlada de intercambios de calor usando vapor de agua que se purga a partir de la turbina y el fluido calentado por un campo solar, con el fin de emplear, por lo menos en parte en lugar de las purgas, el calor que se produce por el campo solar cuando este se ha irradiado lo suficiente. De forma ventajosa, el fluido portador de calor del campo solar se calienta a su vez, por lo menos cuando el campo solar se irradia con un valor de irradiación menor que una cantidad previamente determinada y / o cuando la temperatura del fluido portador de calor cae por debajo de un valor previamente definido, por medio del calor residual en los humos de combustión emitidos a partir de la caldera, con el fin de mantener por lo menos un mínimo valor de temperatura dado de este fluido portador de calor del campo solar. De este modo puede conseguirse una mayor eficiencia en la producción de energía eléctrica. Con el fin de ilustrar con más claridad los innovadores principios de la presente invención y sus ventajas en comparación con la técnica anterior, en lo sucesivo se describirán unos ejemplos de realización que aplican estos principios, con la ayuda de los dibujos

adjuntos. En los dibujos:

- la figura 1 muestra una vista esquemática de una primera planta para generar energía eléctrica diseñada de acuerdo con la invención;

5 - la figura 2 muestra una vista esquemática de una segunda realización de una planta de acuerdo con la invención.

Con referencia a las figuras, la figura 1 muestra una planta para la producción de energía eléctrica - que se denota en general por 10 - diseñada de acuerdo con la invención.

Esta planta 10 comprende una unidad de combustión o caldera 11 para la producción de vapor de agua por medio de la combustión de un combustible adecuado suministrado por  
10 una fuente 12. La combustión calienta un fluido adecuado hasta el estado de vapor por medio de un intercambiador 13 adecuado. De forma ventajosa, el fluido portador es agua. De forma ventajosa, el combustible puede ser biomasa.

En el caso de una caldera que quema productos sólidos, tales como biomasa convencional a partir de desechos vegetales, la caldera puede comprender unos  
15 sistemas 34, 35 conocidos (por ejemplo, sistemas de descarga con cintas transportadoras para realizar el transporte a las zonas de almacenamiento y de extracción) para la evacuación de las cenizas. Estos sistemas también pueden recibir las cenizas y los contaminantes sólidos que se recuperan a partir de la unidad 28 y que se descargan en 36.

20 En especial en el caso de la biomasa, la fuente de combustible 12 puede comprender, de forma ventajosa, un silo 38 para almacenar el combustible y, si se requiere, también un silo con patas 37 para abastecer a este.

En particular, la biomasa extruida alcanza en general la planta ya en forma de piezas de pequeño tamaño o intacta, y se almacena durante un corto periodo de tiempo en el  
25 interior del silo 37. Si es necesario, el tamaño del combustible se reduce adicionalmente a continuación usando unos medios conocidos. A continuación, la biomasa se mueve y se transporta, por ejemplo usando cintas transportadoras y / o husillos alimentadores y / o elevadores de cangilones, hasta el silo 38 que actúa como un depósito para cargar el horno.

30 Usando sistemas mecánicos o neumáticos, tal como pistones o husillos alimentadores (que no se muestran debido a que forman parte de la técnica conocida que puede imaginarse con facilidad por el experto en la materia), la biomasa se carga en el horno en el que esta se quema con el suministro del aire comburente caliente que se introduce en una o más secciones de la cámara de combustión.

35 El horno puede ser del tipo conocido provisto con una rejilla autoalimentada o un lecho de fluido que garantizan, en la mayor parte de las aplicaciones, un mezclado óptimo entre el

combustible y el agente de combustión y también facilitan la descarga de la ceniza residual que resulta de la combustión, transportando esta hacia las tolvas de descarga apropiadas.

5 En el caso de un combustible formado por desechos urbanos, en general puede ser más ventajoso almacenar el mismo, en lugar de en un silo, en una zanja muy grande de la cual los desechos pueden retirarse y cargarse en el horno para su combustión.

La unidad de combustión comprende un horno de combustión que produce humos calientes (por ejemplo, a una temperatura de aproximadamente 800 a 1000 °C) que pasan a través del intercambiador 13 (generador de vapor de agua).

10 La salida de vapor de agua a partir del intercambiador 13 se transporta, por medio de una línea 14, a una turbina 15 que acciona un generador eléctrico 16 con el fin de alimentar una línea eléctrica 17. A partir de la salida de turbina 18, el fluido se transporta al interior de una unidad de condensador 19 adecuada, en la salida 20 de la cual se transporta el fluido de condensador de vuelta al intercambiador 13 por medio de una línea de retorno  
15 21, con el fin de cerrar el ciclo.

La unidad de condensador 19 puede ser, por ejemplo, del tipo de agua conocido, en particular con torres de evaporación, o del tipo de aire.

Se proporciona una unidad de precalentamiento 22 entre la salida 20 del condensador 19 y la línea de retorno 21 que está conectada con el intercambiador de caldera y calienta el  
20 fluido de retorno por medio de una serie adecuada de purgas 23 (por ejemplo, cuatro purgas).

La unidad de precalentamiento 22 también tiene, conectado con la misma, un circuito de fluido 24 que se calienta por medio de un campo solar 25 (a saber, una agrupación de dispositivos conocidos para la producción de fluido calentado por radiación solar), de  
25 forma ventajosa del tipo de concentración con unas dimensiones adecuadas para producir una cantidad adecuada de calor, tal como se aclarará en lo sucesivo.

El campo solar no se describe ni se muestra adicionalmente con detalle debido a que este puede imaginarse con facilidad por el experto en la materia a la luz de la explicación que se proporciona en el presente caso. En general, dicho campo solar puede  
30 comprender unos espejos planos o conformados de forma adecuada, la dirección de los cuales puede ajustarse si es necesario con el fin de conseguir una mayor eficiencia de la tecnología usada y por medio de los cuales la luz del sol se refleja y se concentra sobre uno o más tubos en el interior de los cuales fluye un fluido portador de calor (por ejemplo, agua, aceite diatérmico, sales de sodio y de potasio, etc). La canalización concentra la  
35 energía que se transmite al fluido portador de calor que se calienta y transporta el calor al aparato de usuario (de manera opcional, por medio de un intercambiador adecuado para

la transferencia del calor a otro fluido portador).

Los humos calientes que se emiten a partir de la caldera en la que se realiza la combustión se tratan de forma ventajosa (por ejemplo, con urea y cal) con el fin de reducir la concentración de contaminantes y se les elimina el polvo (por medio de filtros eléctricos y/o filtros de bolsa) antes y/o después de la sección que contiene el intercambiador 13 en el interior del cual se concentra el intercambio de calor de humos / agua.

En particular, los humos de combustión se emiten en 26 a partir de la caldera y pasan a través de una unidad de tratamiento de humos 27 que comprende una unidad conocida 28 para eliminar los contaminantes antes de que los humos se descarguen por medio de una chimenea 29. La unidad 28 también puede comprender, de forma ventajosa, un sistema 30 que precalienta el aire que se arrastra al interior desde el exterior y que se transporta a la caldera, por medio de las líneas 31, con el fin de tomar parte en el proceso de combustión.

De nuevo de forma ventajosa, los humos, antes de alcanzar la chimenea 29, también pueden pasar a través de un intercambiador adicional 32 para ayudar a calentar el fluido del campo solar 25, por las razones que se aclararán en lo sucesivo.

La planta 10 también prevé un sistema de control 40 que gestiona los diversos parámetros operativos. Este sistema de control se diseña de forma ventajosa con un sistema electrónico de lógica cableada o microprocesador programado de forma adecuada y recibe información a partir de unos sensores adecuados (por ejemplo, sensores de temperatura, sensores de presión, etc.) con el fin de controlar por medio de unos accionadores adecuados (por ejemplo, válvulas eléctricas, motores eléctricos, etc.) las diversas partes de la planta. Un sistema de control de este tipo se conoce *per se* en la técnica anterior y puede imaginarse con facilidad por el experto en la materia a la luz de la descripción de la planta y su funcionamiento provisto en el presente caso. Por lo tanto, este sistema de control no se describirá ni se ilustrará con detalle.

En particular, de acuerdo con uno de los aspectos de la invención, el sistema de control también gestiona el funcionamiento de la unidad de precalentamiento 22, controlando (tal como se volverá evidente en lo sucesivo) el calentamiento, por medio de las purgas 23 y el campo solar 25, del fluido que vuelve a la caldera, con el fin de usar, siempre que sea posible, el campo solar en su totalidad o en parte en lugar de las purgas. Se ha descubierto que esto aumenta de manera significativa la eficiencia promedio de la planta en comparación con una planta convencional, debido a que cuando el campo solar se irradia esto da como resultado un aumento significativo en la entalpía del fluido que se dirige a la caldera, a la vez que se limita, o incluso se elimina por completo, la extracción

de energía a partir de la turbina por medio de las purgas.

No obstante, el sistema de control modifica la cantidad que se purga a partir de las purgas de la turbina dependiendo de la producción de fluido caliente mediante el campo solar, con el fin de mantener los parámetros operativos de la unidad de precalentamiento dentro de unos parámetros de eficiencia previamente determinados del ciclo, usando las purgas tan poco como es posible.

Por ejemplo, el sistema de control puede funcionar con el fin de mantener en la unidad de precalentamiento unos gradientes de temperatura previamente definidos a causa del calor suministrado por las purgas y / o el fluido portador suministrado por el campo solar, con una preferencia por el uso del calor que se produce por el campo solar.

Por medio de un diseño adecuado del campo solar (tal como puede imaginarse con facilidad ahora por el experto en la materia), en unas condiciones en las que hay una radiación solar máxima, el calentamiento que se consigue mediante el campo solar puede ser suficiente para optimizar el ciclo de Rankine sin necesidad alguna de usar el calor a partir de las purgas, que pueden cerrarse por completo de este modo.

Además, tal como será más evidente en lo sucesivo, las purgas que se usan para la producción del calor que requieren los sistemas auxiliares de la planta también pueden sustituirse o complementarse por el circuito de calentamiento solar.

Por lo tanto, el campo solar actúa como un importante respaldo para la planta que produce energía eléctrica por medio de la caldera de combustión, pero no se usa directamente para producir energía eléctrica, sino solo para producir calor auxiliar para el ciclo principal.

No obstante, a causa de los principios de la invención, existe una transmisión sinérgica de calor entre los dos sistemas que, de forma ventajosa, puede ser también bidireccional, pero con una relación de dependencia que no es vinculante en lo que concierne a la producción continua de energía eléctrica.

Por un lado, el calor que se produce por el campo solar se usa para aumentar la eficiencia de regeneración en el ciclo de Rankine del sistema principal empleando una caldera de combustible; por otro lado, el calor residual en los humos de combustión (que se perdería en una planta de combustión normal con la evacuación de los humos debido a la baja calidad) puede recuperarse de forma ventajosa por medio del intercambiador y puede contribuir hacia el calentamiento el fluido portador del campo solar (en especial en unas condiciones en las que hay poca o nada de irradiación, por ejemplo durante la noche, cuando la temperatura del fluido portador cae hasta un nivel por debajo del de los humos).

Mediante el uso de una cantidad de calor residual de los humos que se perdería de lo

contrario, el calor recuperado se convierte en energía eléctrica con unos beneficios sustanciales en términos de la eficiencia global de la planta de combustión. Esta contribución puede aumentar en especial durante las horas de transición entre el día y la noche.

5 La recuperación de calor también prolonga el tiempo operativo diario de la planta solar. De hecho, cuando de nuevo se encuentra presente una irradiación, la temperatura inicial más grande del fluido portador del campo solar acorta los tiempos de activación de la totalidad del sistema, a saber, el tiempo que se requiere para alcanzar una temperatura del fluido calentado por el campo solar que permite una regulación por estrangulación  
 10 satisfactoria de las purgas con el fin de hacer uso del campo solar para un calentamiento eficiente del fluido de retorno desde la turbina hasta la caldera. De forma similar, cuando hay una disminución en la irradiación, la recuperación de calor a partir de los humos retarda el descenso de la temperatura del fluido portador del campo solar hasta por debajo del valor mínimo necesario para suministrar regeneración de forma adecuada y  
 15 los otros aparatos de usuario asociados con la planta.

A causa de los principios de la invención, el aumento en el intervalo de tiempo durante el cual el sistema solar puede usarse para la regeneración puede ser equivalente a aproximadamente 1,5 horas (con referencia a 8 horas al día). Por lo tanto, esto da como resultado un aumento de aproximadamente un 20 % en la disponibilidad anual del calor  
 20 que se produce por la planta solar termodinámica, sin la necesidad de los sistemas de almacenamiento que se requieren en general en las plantas solares convencionales.

La caldera de combustión actúa como un acumulador para la planta solar termodinámica, lo que es más, sin consumo adicional de recursos o limitaciones para la planta solar. De hecho, la planta de combustión puede recibir la totalidad del calor generado por la planta  
 25 solar con el fin de garantizar la energía almacenada que va a usarse para prolongar el funcionamiento de la misma, sin la necesidad de limitar esta, tal como tiene lugar en su lugar en las plantas convencionales existentes.

El circuito primario del campo solar también se vuelve un sistema para usar el calor residual del ciclo principal para generar potencia por medio de la caldera de combustión.

30 Por lo tanto, puede verse cómo la sinergia entre los dos sistemas es efectivamente bidireccional. Esta sinergia garantiza un aumento sustancial en la eficiencia global de la planta de combustión. Esta ventaja, junto con otras ventajas, se volverá incluso más evidente en lo sucesivo.

La unidad de precalentamiento que usa las purgas y el fluido caliente del campo solar  
 35 obviamente puede diseñarse de diversas formas, con varios intercambiadores dispuestos en serie o en paralelo.

La figura 2 muestra una realización de una planta 110 de acuerdo con la invención con una estructura de la unidad de intercambio que se ha descubierto que es particularmente ventajosa.

5 Con fines de simplicidad, las partes de la planta que se muestra en la figura 2 que son similares a las de la planta que se muestra en la figura 1 se indicarán mediante la misma numeración que se usa en la figura 1.

Por lo tanto, la planta 110 comprende la unidad de calentamiento de combustión 11, tal como ya se ha descrito en lo que antecede, que produce el vapor de agua (por ejemplo, a una temperatura y una presión que varía entre 400 °C y 40 bares (4 MPa) y 500 °C y 65  
10 bares (6,5 MPa)) por medio de la combustión de un combustible adecuado (de forma ventajosa, biomasa) suministrado por la fuente 12.

El circuito de salida 14 transporta el vapor de agua que se produce por la unidad de combustión hasta la turbina 15 que acciona el generador eléctrico 16 para abastecer a la línea eléctrica 17. En la salida 18 de la turbina, el fluido se enfría a causa de la unidad de  
15 condensador 19 y el fluido condensado se transporta desde la salida 20 de vuelta al intercambiador 13 por medio de la línea de retorno 21, con el fin de cerrar el ciclo después de pasar a través de la unidad de precalentamiento 22 a la que se suministra el fluido portador calentado por el campo solar 25 y las purgas 23.

De forma ventajosa, en la realización que se muestra en la figura 2, la unidad de  
20 condensador 19 comprende un condensador 50 y unas torres de enfriamiento 51. El condensador 50 intercambia calor entre el fluido principal emitido a partir de la turbina y un fluido secundario que se enfría en las torres 51.

El fluido principal emitido a partir del condensador se transporta (preferiblemente, por medio de la bomba 52) a través de un conjunto adecuado de intercambiadores que  
25 forman la unidad de precalentamiento 22.

En la realización ventajosa que se muestra en la figura 2 hay cuatro purgas de vapor de agua 23 que están conectados con unos primeros intercambiadores 53, 54, 55 respectivos que se ven atravesados por el fluido de retorno que se dirige a la caldera.

De forma ventajosa, el fluido de retorno pasa a través de un primer intercambiador de  
30 baja presión 53, un segundo intercambiador de baja presión 54 y un tercer intercambiador de alta presión 55, intercambiando calor con el vapor de agua suministrado por una purga 23 que está situada respectivamente cada vez más cerca de la entrada de la turbina. Otra purga (de forma ventajosa, en un punto a medio camino entre las purgas del último y el penúltimo intercambiador) abastece directamente a un desgasificador 56 con el fin de  
35 mantener este de forma ventajosa a una presión constante y de garantizar una temperatura del fluido en la salida del desgasificador igual a, por ejemplo,

aproximadamente 120 °C.

Los valores de temperatura dependerán de las dimensiones de los intercambiadores y las purgas que se usan. Por ejemplo, en el caso del uso de agua como el fluido de caldera, se ha descubierto ventajoso si el vapor de agua que se purga a partir de la turbina  
 5 permite el precalentamiento del agua de retorno con valores de referencia para el  $\Delta T$  de los intercambiadores 52, 53, 55 que varían de 40 °C a 60 °C en el primer intercambiador, de 60 °C a 90 °C en el segundo intercambiador y (después de elevar a 120 °C por medio del desgasificador) de 120 °C a 190 °C en el tercer intercambiador. Preferiblemente, se encuentra presente una bomba 57 adicional para garantizar una circulación correcta del  
 10 fluido entre el desgasificador 57 y el intercambiador 55.

De forma ventajosa, el vapor de agua que se purga, después de pasar a través de los intercambiadores y de liberar el calor al fluido de retorno, se introduce en el condensador 50, si se ha emitido a partir de los intercambiadores 53 y 54, y en el desgasificador 56, si se ha emitido a partir del intercambiador 55.

15 Unos puntos de ramificación 58, 59, 60 respectivos que desvían el flujo de fluido también hacia unos segundos intercambiadores o intercambiadores auxiliares 61, 62, 63 respectivos que intercambian calor con el fluido primario que fluye en el campo solar se insertan en serie con los primeros intercambiadores 53, 54, 55. Por ejemplo, las dimensiones del campo solar pueden diseñarse con facilidad de tal modo que, cuando se  
 20 alcanza la máxima irradiación, el fluido primario se calienta hasta una temperatura de aproximadamente 300 °C.

Tal como puede verse de nuevo en la figura 2, el fluido que vuelve a la caldera también puede pasar al final a través de un economizador de baja temperatura 68 que hace uso de la temperatura aún relativamente alta de los humos que se emiten a partir de la  
 25 caldera.

De forma ventajosa, el fluido para la caldera es agua y el fluido primario del campo solar es aceite diatérmico. Por lo tanto, en lo sucesivo se hará referencia a estos fluidos, incluso a pesar de que se entiende que pueden usarse otros fluidos adecuados, dependiendo de los requisitos específicos de la planta.

30 Debido a que una temperatura de no más de 400 °C es suficiente para realizar el calentamiento del agua de proceso, en la planta solar es posible usar aceite diatérmico, lo que es sin duda preferible a las sales que se usan en las plantas solares de alta temperatura convencionales y que, por lo general, dan lugar a diversos problemas operativos (el suministro, el almacenamiento y la gestión de las mismas).

35 Obviamente, tal como se ha mencionado en lo que antecede, también es posible usar otros fluidos portadores, dependiendo de las preferencias y las dimensiones de la planta

específica. Por lo tanto, en cualquier caso no se excluyen las sales o el agua, incluso a pesar de que el aceite diatérmico es un fluido de una naturaleza adecuada para esta aplicación y se prefiere a las sales y el agua.

5 Por ejemplo, en comparación con el agua, el aceite garantiza una mayor estabilidad operativa a las a pesar de todo relativamente altas temperaturas (temperatura de referencia 300 °C) y bajas presiones (presión de referencia 10 bares (1 MPa)) que se usan de forma ventajosa en una planta de acuerdo con la invención. Por lo tanto, con aceite, se eliminan los problemas operativos asociados con las condiciones de cambio de fase de los fluidos, y los requisitos de control de planta consiguientes.

10 Además, los intercambiadores de agua desmineralizada / aceite diatérmico no son componentes críticos.

En las condiciones de máxima irradiación del campo solar 25, los intercambiadores 61, 62, 63 garantizarán, para el fluido que vuelve a la caldera, los mismos gradientes de temperatura que se producen por las purgas, permitiendo de este modo que el sistema de control cierre las purgas de vapor de agua de turbina por medio de unas válvulas controladas 41 adecuadas, con un aumento consiguiente en la cantidad de energía eléctrica que se produce para el mismo estado del vapor de agua que entra en la turbina. Los segundos intercambiadores 61, 62, 63 se diseñan en el presente caso de forma ventajosa para disponerse en serie con los primeros intercambiadores 53, 54, 55  
15 respectivos pero también podrían disponerse en paralelo, tal como puede imaginarse con facilidad por el experto en la materia, pero esto daría como resultado la necesidad del control del caudal del agua que pasa a través de los mismos, dependiendo de la temperatura establecida aguas abajo con respecto a la unidad de precalentamiento.

Con la disposición en serie, en su lugar, el ajuste de la temperatura del fluido de retorno a la caldera puede concentrarse también en el intercambio de calor en los primeros intercambiadores, por medio de la abertura regulada por estrangulación de las purgas dependiendo de la temperatura en la salida de los segundos intercambiadores de agua / aceite correspondientes con respecto a la temperatura establecida deseada.

De forma ventajosa, el sistema de control 40 puede programarse para dar precedencia a la regulación por estrangulación de las purgas con un valor de energía más alto o, en el caso que se considera en el presente caso, comenzando a partir de la purga situada en el intercambiador 55.

El caudal del fluido principal del campo solar (de forma ventajosa, aceite diatérmico) puede ser la única variable dependiendo de la irradiación.

35 De forma ventajosa, el fluido principal del campo solar (que se mueve mediante unas bombas 64, 65 adecuadas) también pasa a través del intercambiador 32 (preferiblemente

a causa de un ventilador de recirculación 66) de tal modo que tiene lugar un intercambio de calor entre este fluido y los humos.

Al hacer uso del calor residual de los humos que se descargan a partir de la chimenea (que, de lo contrario, se perderían de forma innecesaria), este intercambiador 32 permite

5 que el fluido principal del campo solar, incluso en unas condiciones de irradiación baja o nula, se caliente hasta una temperatura relativamente alta (por ejemplo, aproximadamente 90 °C, considerando que, como promedio, los humos emitidos a partir de la chimenea en general tienen una temperatura de aproximadamente 130 °C). De esta forma, será posible calentar el fluido que vuelve a la caldera en los intercambiadores 61 y  
10 62, también durante la noche, cuando no se encuentra disponible energía solar.

De forma ventajosa, el intercambiador 32 se coloca preferiblemente para intercambiar calor con los humos aguas abajo con respecto a la totalidad de los sistemas de tratamiento de humos y de eliminación de polvo con el fin de reducir a un mínimo el riesgo de condensados de ácido (corrosión de tubos) o de bloqueo de los haces de tubos  
15 (empeoramiento del  $\Delta p$ ). En cualquier caso, es aconsejable la provisión de un intercambiador fabricado de acero inoxidable o un material adecuado equivalente.

Además, puede proporcionarse una línea de recirculación 67 de forma ventajosa, estando gestionada también dicha línea por el sistema de control 40 que, durante la noche, sorte el campo solar y transporta el fluido primario a partir del campo solar desde la salida del  
20 intercambiador 32 hasta la entrada de los intercambiadores 61, 62, evitando la dispersión de calor en el propio campo solar. De forma ventajosa, el flujo a lo largo de la línea de recirculación se controlará de forma adecuada mediante el sistema de control 40 cuando la temperatura del fluido cae por debajo de la temperatura para el calentamiento con los humos a causa de la menor irradiación.

25 De forma ventajosa, también puede proporcionarse una estación (que se conoce *per se* y, por lo tanto, no se muestra con detalle) para volver a transportar el aceite antes y / o después del intercambiador 32, con un tanque de almacenamiento asociado para regular las variaciones de carga de la planta, con el fin de evitar unas pérdidas de carga innecesarias en el caso de que el fluido no pasara a través del campo solar.

30 Por medio de unas válvulas controladas adecuadas, de forma ventajosa la totalidad de los cuatro intercambiadores 32, 61, 62, 63 también puede sortearse de forma individual (tanto en el lado de agua y como en el lado de aceite) bajo el control del sistema de control 40 con el fin de permitir una regulación más flexible. Por ejemplo, de forma ventajosa, el intercambiador 63 puede sortearse cuando la temperatura del fluido  
35 principal del campo solar cae por debajo de la temperatura que va a obtenerse como la temperatura final del fluido que vuelve a la caldera.

De hecho, la regulación del conjunto combinado que consiste en el sistema solar y el sistema de combustión ha de garantizar una gestión segura de su superficie de contacto, sin un intercambio de calor inapropiado entre los sistemas. Por ejemplo, en el caso de que la planta de combustión no se encontrara operativa o estuviera sometida a una  
5 parada súbita, el fluido principal de la planta solar no ha de intercambiar calor con el agua que vuelve a la caldera debido a que las condiciones de trabajo de esta última se desviarían con respecto a los valores de diseño (por ejemplo, con el riesgo de un peligroso cambio de fase de agua a vapor de agua). Es preferible no ser capaz de regular inmediatamente las temperaturas existentes (enfriamiento lento de la caldera) para evitar  
10 el intercambio de calor por medio del cierre / apertura de unas válvulas adecuadas que desvían de forma adecuada los fluidos de intercambio.

El calor de los humos también puede usarse de forma ventajosa para calentar el aire que va a enviarse a la caldera. Para este fin, el aire se arrastra al interior por medio de unos ventiladores 69 y se envía a los intercambiadores 70, 71 con el fin de calentarse por el  
15 flujo de humos que se dirige de la caldera a la chimenea.

El sistema de tratamiento de humos también puede comprender un filtro eléctrico 36, un reactor de cal 72 y un filtro de bolsa 73 que están dispuestos de forma adecuada en serie a lo largo de la trayectoria de los humos, usando unas disposiciones que son sustancialmente conocidas *per se* para eliminar los contaminantes en los humos de  
20 combustión.

En este punto, es evidente cómo se han conseguido los objetos previamente definidos, mediante la proposición de una planta innovadora y un método innovador para aumentar la eficiencia de la producción de energía por medio del conjunto combinado que consiste en una planta solar termodinámica y una planta con una caldera de combustible.

A causa de la sinergia entre los dos sistemas usados, es posible compensar las desventajas de los sistemas individuales y mejorar la eficiencia del sistema en conjunto. Con esta solución es posible usar plantas solares de tecnología de CSP (*concentrating solar power*, energía solar de concentración) con un bajo potencial térmico (por ejemplo, 1 - 10 MWt) en las plantas de combustión de tamaño promedio (por ejemplo, 50 MWt)  
25 que tienen unos niveles de eficiencia de generación o de cogeneración que son decididamente más altos en comparación con los ciclos ORC acoplados directamente con el campo solar. Por consiguiente, es posible hacer un uso más eficiente del calor generado usando unos espejos de concentración.

Además, la caldera de combustión actúa como unidad de almacenamiento de calor para  
35 la planta solar termodinámica, suministrando calor a esta con el fin de aumentar su capacidad de producción. Mediante la eliminación del ciclo ORC y también de los

sistemas de almacenamiento que normalmente se encuentran presentes en la configuración convencional de las plantas de concentración solar, es posible obtener una simplificación de la planta solar y una reducción en las dimensiones de la planta en conjunto.

- 5 A modo de ejemplo de la mayor eficiencia que puede obtenerse con una planta de acuerdo con la invención, se puede considerar una planta que quema biomasa de madera de tamaño promedio con un potencial térmico de 50 MWt y un potencial eléctrico de 15 MWe y con una eficiencia eléctrica bruta de un 30 %, incorporando una planta solar termodinámica con un área superficial disponible de 30000 m<sup>2</sup> y un potencial térmico  
10 máximo de la planta solar (irradiación = 1000 Wh / m<sup>2</sup>) de 8 MWt.

En el caso de la máxima irradiación ( $\approx 1000 \text{ Wh / m}^2$ ), para el mismo consumo de biomasa y producción de vapor de agua de la planta de biomasa, el suministro de energía de la planta solar de concentración garantiza una producción extra de 1 MWe, debido al cierre simultáneo de tres purgas de turbina, y un aumento en el rendimiento de la planta  
15 de biomasa equivalente a dos puntos porcentuales.

De hecho, la mayor producción de energía eléctrica que puede obtenerse usando el calor suministrado por la planta solar termodinámica es equivalente a 1 MWe y esto quiere decir que, si se toma la máxima contribución de calor disponible en el aceite diatérmico como que es de 8 MWe, la eficiencia de conversión es equivalente a un 12,5 %.

- 20 Una planta solar termodinámica de ciclo ORC convencional con una turbina de 1,5 MWe y un aero-condensador en su lugar tiene una eficiencia neta nominal de aproximadamente un 11 %.

Comparando las dos soluciones, puede verse cómo hay una ventaja notable (de aproximadamente un 10 % en términos de la eficiencia eléctrica en el caso considerado)  
25 a causa del uso del ciclo de Rankine de la planta de combustión con el fin de convertir en energía eléctrica el calor que se produce por la planta solar termodinámica, para el mismo potencial térmico de esta última.

Además, si una planta del tipo que se ha descrito en lo que antecede se construye en un área geográfica con una irradiación anular, por ejemplo igual a 1700 kWh / m<sup>2</sup> y esto se  
30 compara con una planta solar termodinámica convencional (con ORC y sistemas de almacenamiento) de un tamaño y un potencial térmico idénticos, la capacidad de producción anual para energía eléctrica de la planta solar termodinámica combinada con la planta de combustión, de acuerdo con la invención, es igual a 3,5 Gwh / año, mientras que la capacidad de producción anual de una planta solar termodinámica convencional  
35 sería igual a 2,5 Gwh / año.

Mediante la eliminación del ciclo ORC y de los sistemas de almacenamiento y de la

sustitución de los mismos con una serie de intercambiadores, que tienen un coste decididamente inferior, es posible obtener una importante reducción tanto en los costes de inversión (por ejemplo, de aproximadamente un 20 % de los costes totales) como en el tiempo de construcción en comparación con un sistema de producción solar termodinámico convencional. Además, los costes de gestión y de mantenimiento son obviamente más bajos, a la vista de la ausencia de maquinaria grande (turbinas, condensadores, etc.) que, de lo contrario, sería necesaria.

Básicamente, con la planta que se ha descrito en lo que antecede de acuerdo con la invención, hay una diferencia de 1000 MWh / año que da como resultado un aumento de por lo menos un 40 % en la eficiencia global y una reducción de un 20 % en los costes de inversión.

El control remoto de la planta también da como resultado una reducción en el número de operarios *in situ*: de hecho, los mismos operarios de la planta de combustión pueden gestionar la planta solar como si esta fuera un componente adicional de la propia planta de combustión.

Además, a causa del uso de la planta solar para calentar el fluido de retorno de la planta de combustión para la generación de potencia eléctrica, y no para la generación directa del vapor de agua que va a transportarse a la turbina, es posible trabajar a unas temperaturas más bajas que las que se requieren en las plantas de concentración solar convencionales para la producción de energía eléctrica.

Obviamente, la descripción anterior de realizaciones que aplican los innovadores principios de la presente invención se proporciona a modo de ejemplo de estos innovadores principios y, por lo tanto, no ha de considerarse como limitante del alcance de los derechos que se reivindican en el presente documento.

Por ejemplo, la exacta forma, tamaño, número de trayectorias de flujo de fluido o los materiales de construcción pueden elegirse en la fase de diseño dependiendo de las temperaturas y, en particular, de las presiones implicadas, tal como puede imaginarse con facilidad por el experto en la materia.

Además, en la descripción de la planta de acuerdo con la invención que se ha proporcionado en lo que antecede, se ha preferido usar el calor residual de los humos para calentar el fluido principal del campo solar en unas condiciones de irradiación baja o nula. Una solución alternativa también puede ser la de proveer al horno con un sistema para enfriar los componentes de manejo de combustible (por ejemplo, las rejillas) en el que el fluido portador de calor es el fluido principal del campo solar.

De forma más general, cada sección de enfriamiento en el interior de la planta podría usarse para el fin de calentar el fluido principal del campo solar, también en una

disposición operativa con un fluido portador de calor doble usando, por ejemplo, aceite diatérmico y en paralelo, por ejemplo, aire. Este concepto también puede extenderse adicionalmente, hasta el punto de considerar la condensación del vapor de agua de descarga de turbina en un condensador de aceite o de agua y aceite. En cualquier caso, 5 la totalidad de estas variantes puede imaginarse con facilidad ahora por el experto en la materia a causa de la descripción de la invención que se proporciona en el presente caso y puede incluirse dentro del alcance de la invención, incluso a pesar de que se prefiere el uso de los humos a causa de las ventajas de simplicidad y de eficiencia implicadas.

Se entiende que la condición mínima para la elección del punto óptimo para realizar el 10 intercambio está determinada, por lo general, por el  $\Delta T$  entre las fuentes (caliente y fría) que, a modo de ejemplo, es preferiblemente más alto que 50 °C.

En el caso de parada de la planta de combustión, también puede usarse el calor generado por la planta solar termodinámica, con unas disposiciones adecuadas que pueden imaginarse con facilidad por el experto en la materia, con el fin de contribuir hacia 15 el enfriamiento / calentamiento de las instalaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Planta (10, 110) para la producción de energía eléctrica que comprende una caldera de combustible (11) en la que un fluido se calienta con el fin de producir vapor de agua, una turbina (15) que está conectada con un generador eléctrico (16) y a la que se transporta dicho vapor de agua, una unidad de condensador (19) que vuelve a condensar el fluido emitido a partir de la turbina de tal modo que este puede transportarse de vuelta a la caldera, formando de este modo un circuito cerrado, recibiendo calor el fluido de retorno a lo largo de la trayectoria de la unidad de condensador (19) a la caldera a partir de una unidad de precalentamiento (22) diseñada para recibir calor tanto a partir de unas purgas de vapor de agua de turbina (23) como a partir de un fluido portador de calor de un campo solar termodinámico (25), caracterizada por que esta comprende un circuito en el que el fluido portador de calor del campo solar (25) puede recibir calor residual a partir de los humos que se emiten por la caldera (11).
2. Planta de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por que la unidad de precalentamiento (22) para recibir calor comprende unos primeros intercambiadores (53, 54, 55) para el intercambio de calor entre el fluido de retorno y las purgas de vapor de agua (23) y unos segundos intercambiadores (61, 62, 63) para el intercambio de calor entre el fluido de retorno y el campo solar.
3. Planta de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizada por que los primeros y los segundos intercambiadores están dispuestos en serie uno con otro.
4. Planta de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por que esta comprende unas válvulas (41) para controlar las purgas y un sistema (40) para controlar la planta que está conectado con dichas válvulas (41) con el fin de controlar la reducción en la cantidad que se purga a partir de las purgas de vapor de agua de turbina (23) cuando hay un aumento en el calentamiento del fluido por medio de un intercambio de calor con el campo solar.
5. Planta de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizada por que el campo solar (25) tiene un circuito de fluido portador de calor primario que pasa a través de dichos segundos intercambiadores (61, 62, 63), proporcionándose a lo largo del circuito un intercambiador adicional (32) para calentar este fluido portador de calor primario por medio de un

intercambio de calor con los humos de combustión que se emiten por la caldera (11).

6. Planta de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizada por que se proporciona una línea (67) para una recirculación controlada de dicho fluido portador de calor primario con el fin de excluir, tras el funcionamiento, el flujo de dicho fluido a través del campo solar (25).
7. Planta de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizada por que los primeros intercambiadores comprenden un primer intercambiador de baja presión (53), un segundo intercambiador de baja presión (54) y un tercer intercambiador de alta presión (55), realizando cada intercambiador el intercambio de calor con una purga (23) situada cada vez más cerca de la entrada de turbina.
8. Planta de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizada por que el vapor de agua que se purga a partir de la turbina y que pasa al interior del primer y el segundo intercambiadores se introduce en un condensador (50) de la unidad de condensador (19).
9. Planta de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizada por que un punto de purga adicional (23) abastece a un desgasificador (56) que está dispuesto entre el segundo y el tercer intercambiadores.
10. Planta de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizada por que el vapor de agua que se purga a partir de la turbina y que pasa al interior del tercer intercambiador (55) se introduce en el desgasificador (56).
11. Planta de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por que la caldera comprende un horno para la combustión de biomasa con el fin de calentar, por medio de los humos producidos, el fluido que va a transportarse a la turbina.
12. Método para la producción de energía eléctrica por medio de una turbina de vapor de agua en una planta que comprende una caldera de combustible en la que un fluido se calienta para producir vapor de agua, una turbina que está conectada con un generador eléctrico y a la que se transporta dicho vapor de agua, un condensador que vuelve a condensar el fluido emitido a partir de la turbina de tal modo que este puede transportarse de vuelta a la caldera, formando de este modo un circuito cerrado, en el que el fluido de

retorno entre la turbina y la caldera se calienta por medio de una combinación controlada de intercambios de calor usando vapor de agua que se purga a partir de la turbina y el fluido portador de calor calentado por un campo solar, de tal modo que el calor que se produce por el campo solar, cuando el campo solar se ha irradiado lo suficiente, puede

5 sustituir por lo menos en parte el calor que se produce por el vapor de agua que se purga y de tal modo que el fluido portador de calor del campo solar se calienta a su vez, por lo menos cuando el campo solar se irradia mediante un valor de irradiación menor que una cantidad previamente determinada y / o cuando la temperatura del fluido portador de calor cae por debajo de un valor previamente definido, por medio del calor residual en los humos

10 de combustión emitidos a partir de la caldera, con el fin de mantener por lo menos un mínimo valor de temperatura dado de dicho fluido portador de calor del campo solar.

1/2

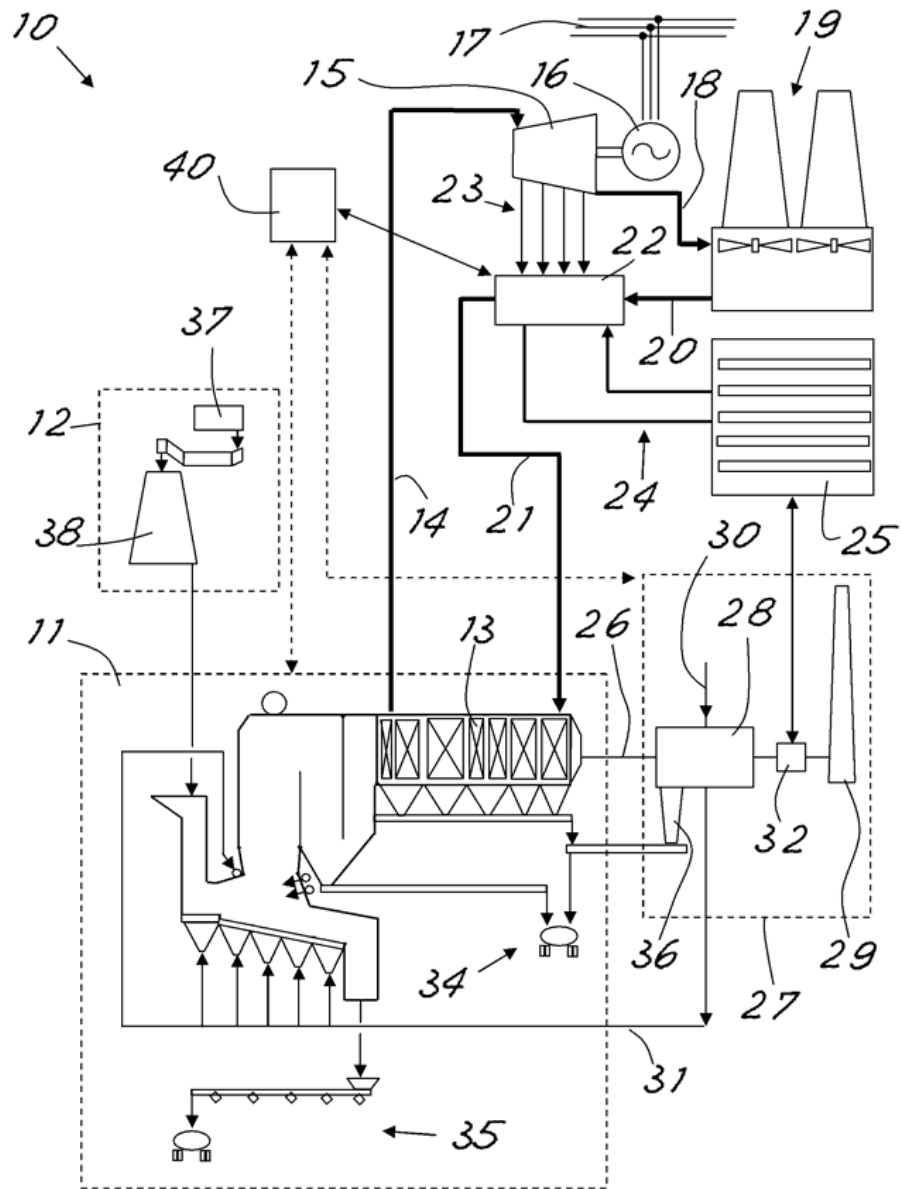


Fig.1

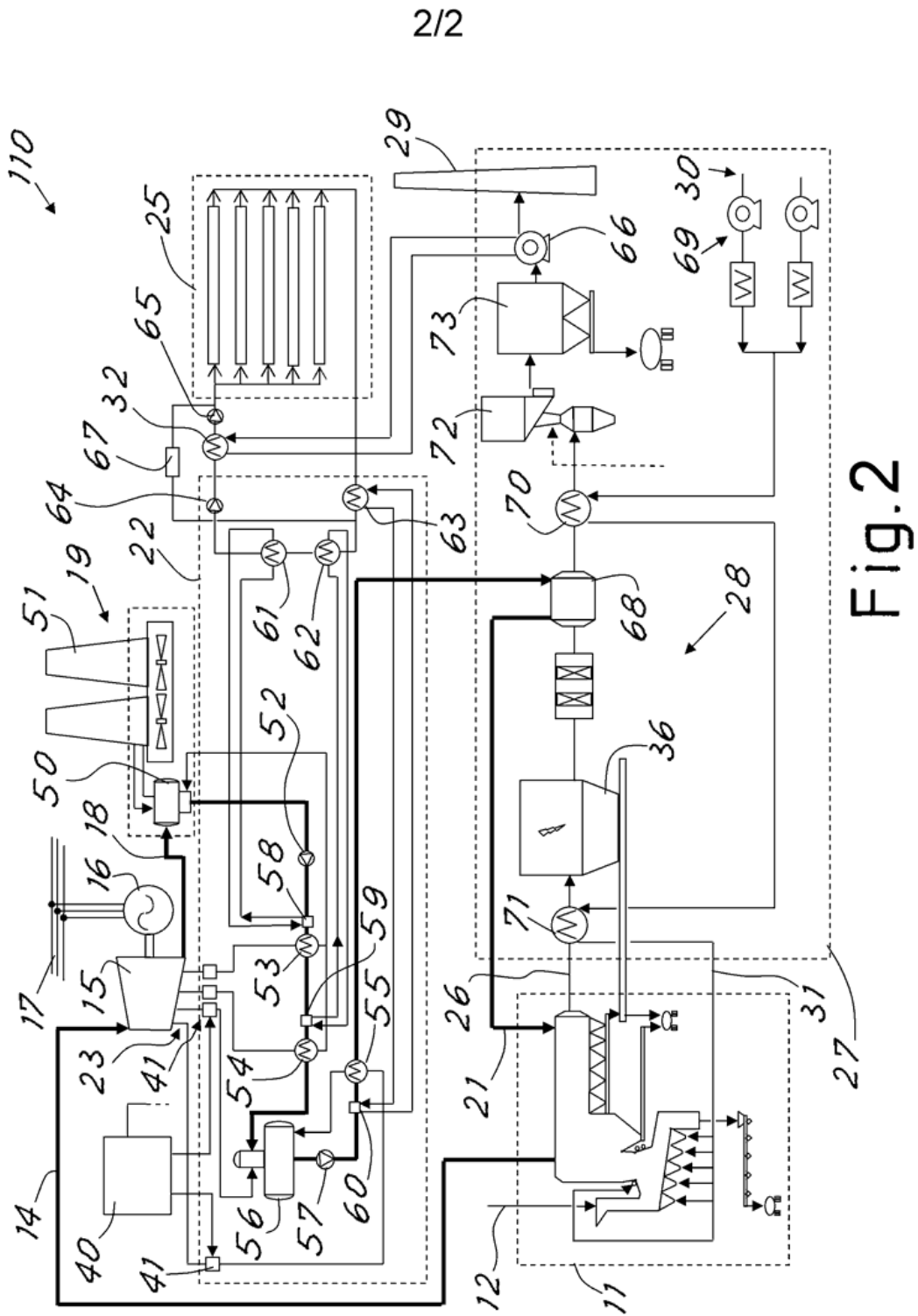


Fig.2