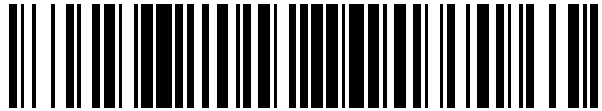


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 555 531**

21 Número de solicitud: 201430792

51 Int. Cl.:

**F03G 6/00** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**27.05.2014**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**04.01.2016**

Fecha de la concesión:

**04.10.2016**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**11.10.2016**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2015/070398**

73 Titular/es:

**ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES, S.A.  
(100.0%)**

**Campus Palmas Altas, c/ Energía Solar 1  
41014 Sevilla (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

**NAVÍO GILABERTE , Raul ;  
MONTERO OLÍAS , Cristina ;  
ROMERO DELGADO , María Del Carmen y  
GARCÍA GONZÁLEZ , Pedro**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

54 Título: **Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado**

57 Resumen:

Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado, que comprende:

- un receptor (3) de concentración solar térmica,
- un circuito por el que circula un primer fluido caloportador FC1, que pasa por el receptor (3) de concentración solar térmica
- un circuito por el que circula un segundo fluido caloportador FC2, de modo que la temperatura de FC2 es menor que la temperatura de FC1,
- un intercambiador de calor (4) entre ambos circuitos
- un tren (7) de generación de vapor supercrítico, con entradas para FC1, FC2 y un fluido de trabajo FT, y que comprende varios intercambiadores de calor, y
- un circuito correspondiente al fluido de trabajo FT, con al menos una turbina (8) que trabaja con el vapor supercrítico generado en el tren (7) de generación de vapor supercrítico, y un condensador (9), siendo los rangos óptimos de temperaturas de trabajo de FC1 y FC2 distintos, y existiendo un solapamiento entre ellos.

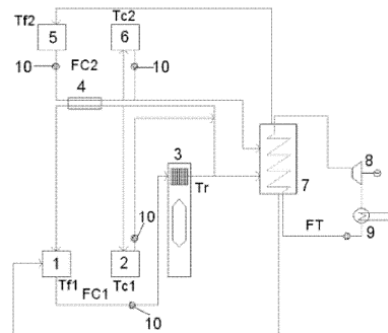


FIG. 1

ES 2 555 531 B1

## DESCRIPCIÓN

Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado

### CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a una planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado, y más en particular está relacionada con la tecnología de plantas de concentración solar que emplean sales fundidas como fluido caloportador.

### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Dentro de la tecnología de concentración solar se pueden distinguir dos grandes bloques: concentración solar térmica y concentración solar fotovoltaica.

10 El principio de funcionamiento de ambas se basan en el mismo concepto: usar un sistema óptico que concentre la luz. Dicha luz concentrada puede dirigirse para calentar un fluido que entre en un ciclo de turbina, en caso de térmica, o generar directamente electricidad vía efecto fotoeléctrico en un semiconductor, para el caso de fotovoltaica.

15 En el área de sistemas de concentración solar térmica las dos tecnologías que actualmente dominan el mercado son la de cilindro parabólico y la de torre.

La tecnología de cilindro parabólico consiste en un espejo parabólico que focaliza la luz en un tubo absorbedor por el que circula un fluido caloportador. Dicho fluido se calienta y se usa posteriormente para calentar vapor que se utiliza en un ciclo de turbina tradicional.

20 La tecnología de torre basa su funcionamiento en un campo de heliostatos (o grandes espejos móviles) que reflejan la luz en lo alto de una torre, en donde está localizado un receptor absorbedor por el que circula el fluido caloportador. En este receptor puede por ejemplo calentarse vapor de agua que se usa en ciclos de turbina tradicionales.

25 Existen en la actualidad diferentes diseños que logran alcanzar el mismo objetivo descrito anteriormente para las plantas termosolares usando también como fuente de aporte de energía al propio sol. Estas opciones difieren entre sí en el proceso intermedio de recolección y conversión de energía y dan lugar a tecnologías de receptor central diferentes, distinguiéndose, por ejemplo, entre receptores externos, de cavidad o volumétricos con aire, agua o sales fundidas como fluido caloportador. Cada una de estas tecnologías tiene, por sus características particulares, una serie de ventajas que la hace más recomendable en una

determinada situación. Sin embargo, todas ellas comparten un objetivo común: alcanzar elevados rendimientos y permitir el almacenamiento energético (gestionabilidad).

Dentro de las configuraciones habituales, se encuentran plantas con diferentes fluidos caloportadores en el receptor y en el almacenamiento. Sin embargo, el estado de la técnica de los fluidos caloportadores para tecnología termosolar muestra la dificultad de encontrar fluidos que se adapten de manera adecuada al rango de temperatura deseado. Así, aquellos fluidos que permiten elevar la temperatura no presentan un buen comportamiento a bajas temperaturas y viceversa, aquellos que liberan al sistema de los problemas asociados a temperaturas de fusión elevadas no son capaces de alcanzar las altas temperaturas que optimizan los ciclos termodinámicos requeridos.

El documento US4265223 del estado de la técnica, centrado en la mejora del aprovechamiento de la energía solar disponible, adapta el sistema de concentración solar para que sea capaz de almacenar la energía sobrante en ciertos momentos y emplearla cuando el recurso solar sea escaso. La filosofía descrita supone emplear diferentes fluidos de transferencia de calor para el proceso de absorción de energía y para el de conversión en energía eléctrica en el grupo turbina-generator. Se busca así que el fluido de trabajo en la turbina sea lo más ajeno posible a la disponibilidad de radiación solar, incluyendo para ello almacenamiento térmico en el fluido dedicado a la absorción de energía. En resumen, esta invención presenta la opción de usar un primer fluido para absorber la energía solar disponible en el receptor y almacenar en las temperaturas necesarias, y un segundo fluido, el de trabajo, para intercambiar calor con el primero según interese, pero mantiene las limitaciones actuales en términos del máximo salto de temperatura posible para el fluido caloportador y la necesidad de disponer de un receptor solar con todo ese rango de temperaturas.

Precisamente esta última condición se aborda en el documento US20050126170. En esta invención, se muestra cómo podría evitarse el tener que alcanzar todo el salto de temperatura en un receptor solar de torre. En vez de eso, propone la utilización de un sistema de colectores cilindroparábolicos en los que se caliente el fluido caloportador hasta una primera temperatura para, a continuación, circular ese fluido hasta lo alto de una torre donde se encontraría un receptor solar que permitiría alcanzar un segundo nivel de temperatura, gracias a la energía concentrada proveniente de un campo de helióstatos. Comparte con la anterior invención el uso de almacenamiento térmico para permitir gestionar el aporte de calor al fluido de trabajo, que sería nuevamente el encargado de hacer girar la turbina generando energía eléctrica.

El uso de diferentes fluidos de transferencia de calor con el objetivo de evitar las limitaciones que imponen los fluidos comúnmente utilizados en plantas de este tipo se aborda también en el documento WO 2008108870 A1. Esta invención se centra en la utilización de un gas comprimido como fluido de absorción de energía en el sistema receptor, de manera que la máxima temperatura alcanzable es muy elevada al no presentar problemas relacionados con la estabilidad a alta temperatura, a la vez que permite la utilización de este mismo fluido a baja temperatura, al no solidificar como los fluidos en estado líquido típicos de estas plantas. De alguna manera se amplía el rango de temperaturas de trabajo en el receptor. Posteriormente, para acomodar el sistema de almacenamiento térmico, esta invención dispone de un sistema de almacenamiento con bolas o partículas de reducido tamaño en estado sólido, permitiendo la carga y descarga del sistema de manera independiente, haciendo circular por esta 'cama de partículas' de almacenamiento el mismo o distinto gas, comprimido según sea necesario. Y posteriormente se emplearía este gas caliente como fluido de trabajo en turbinas de gas independientes o ciclos combinados, o también para generar vapor sobrecalentado para alimentar una turbina de vapor. El enfoque de esta invención es eliminar fluidos en estado líquido como fluidos de absorción de energía, utilizando gases a altas presiones.

Los documentos WO 2012093354 A2 y WO 2012107811A2 se encuentran directamente relacionados con el almacenamiento térmico. WO 2012093354 A2 describe una configuración de planta en la que el fluido caloportador en el receptor solar sería agua/vapor, de manera que el vapor sobrecalentado obtenido serviría para mover la turbina de vapor directamente, y en un segundo camino, parte de dicho vapor se emplearía para calentar sales fundidas o algún metal fundido que sirviera como medio de almacenamiento térmico. El vapor a la salida de este intercambio con el fluido de almacenamiento térmico, estaría en estado de mezcla bifásica con parte líquida y parte vapor, y podría ser utilizado para precalentar otros sistemas, o el agua de alimentación o también almacenado en acumuladores de vapor a presiones inferiores. En el documento WO 2012107811A2 se describe un sistema similar pero con la incorporación de un tanque de almacenamiento a una temperatura intermedia entre la de los dos tanques de la primera de las patentes, que contaba con un tanque de almacenamiento del fluido caloportador a alta temperatura y otro para almacenarlo a baja temperatura.

Por tanto, en ambos documentos se encuentran soluciones para almacenar el calor sobrante recogido por el vapor en el receptor solar, pero no se aborda la problemática relacionada con los rangos de temperatura en el receptor ni la generación de vapor supercrítico posterior.

Como una solución a algunos de los problemas anteriores, se encuentra el documento US 2013/0292084 A1. En esta invención se describe una configuración de planta termosolar en la que se tiene un primer fluido de absorción de energía que circula por un receptor solar, un segundo fluido, el de trabajo, que sería agua/vapor, que es calentado en otro receptor solar hasta condiciones supercríticas, y un tercer fluido (igual o distinto del primero) que circula de un tanque frío a uno caliente y viceversa, a través de 2 intercambiadores de calor, intercambiando energía con los dos fluidos ya mencionados, cediendo o recibiendo calor según se trate del proceso de descarga o del de carga respectivamente. Es una combinación que permite separar el fluido de absorción de energía del de almacenamiento, y ambos del fluido de trabajo (agua/vapor). Aunque el aporte energético procedente del sol se aplica, cuando esté disponible, tanto al primer fluido caloportador como al segundo, es un sistema que podría funcionar, en caso de necesidad, directamente turbinando el vapor calentado en el segundo receptor solar. Desde este punto de vista, flexibiliza el almacenamiento térmico al separar en dos los fluidos caloportadores y permite aportar energía desde almacenamiento en caso de radiación solar escasa para mantener la operación de la turbina. Sin embargo, presenta una complejidad alta al disponer de dos receptores solares, de los cuales uno ha de contemplar la necesidad de soportar las altas presiones que involucran al vapor en condiciones supercríticas.

De esta manera, se encuentra que la forma habitual de proceder en las plantas termosolares es absorber la energía procedente del sol en un sólido o fluido, para a continuación ceder toda o parte de esta energía en un sistema generador de vapor, para, finalmente, mover una turbina gracias a este vapor, añadiendo además tanques para el almacenamiento térmico utilizando materiales caloportadores en estado sólido o como fluidos.

### **SUMARIO DE LA INVENCION**

Por tanto, el objeto de la invención es proporcionar una planta termosolar que permita un aumento de la eficiencia del ciclo termodinámico de manera sencilla.

La planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado de la invención comprende:

- un receptor de concentración solar térmica,
- un circuito por el que circula un primer fluido caloportador FC1, que pasa por el receptor de concentración solar térmica para el calentamiento del primer fluido caloportador FC1,

- un circuito por el que circula un segundo fluido caloportador FC2, de modo que la temperatura de FC2 es menor que la temperatura de FC1,

- un intercambiador de calor (4) entre ambos circuitos para el calentamiento de FC2 a partir de FC1,

5 - un tren de generación de vapor supercrítico, con entradas para FC1, FC2 y un fluido de trabajo FT, y que comprende varios intercambiadores de calor en los que FC1 y FC2 realizan el aporte de energía hacia el fluido de trabajo FT, y

- un circuito correspondiente al fluido de trabajo FT, con al menos una turbina que trabaja con el vapor supercrítico generado en el tren de generación de vapor supercrítico y un condensador, siendo los rangos óptimos de temperaturas de trabajo de FC1 y FC2 distintos, y existiendo un solapamiento entre ambos rangos de temperaturas.

La invención también se refiere a un procedimiento para la generación de energía eléctrica en una planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado, que comprende los siguientes pasos:

15 - FC1 es bombeado desde el tanque frío de almacenamiento de FC1, donde se encuentra a una temperatura  $T_{f1}$ , hacia el receptor de concentración solar térmica, donde recoge la radiación solar concentrada y eleva su temperatura hasta  $T_r$

- Circulación de FC1 por 3 caminos diferentes:

20 a) Hacia el intercambiador de calor, donde se enfría hasta una temperatura  $T_{f1}$  y continúa hasta el tanque frío de almacenamiento de FC1.

b) Hacia el tanque caliente de almacenamiento de FC1 donde es almacenado a  $T_{c1}$

25 c) Hacia el tren de generación de vapor supercrítico, donde comunica energía al fluido de trabajo FT en el sobrecalentador de alta temperatura y en el recalentador de alta temperatura enfriándose hasta  $T_{f1}$ , continuando hasta el tanque frío de almacenamiento de FC1.

- FC2 es bombeado desde el tanque frío de almacenamiento de FC2, donde se encuentra a una temperatura  $T_{f2}$ , hacia el intercambiador de calor, donde recoge la energía cedida por FC1 y eleva su temperatura hasta  $T_{c2}$ .

- Circulación de FC2 por 2 caminos diferentes:

a) Hacia el tanque caliente de almacenamiento de FC2 donde es almacenado a Tc2

b) Hacia el tren de generación de vapor supercrítico, donde comunica energía al fluido de trabajo FT en el sobrecalentador de baja temperatura y en el recalentador de baja temperatura en paralelo, para juntarse a la salida de ambos y circular a través del evaporador y, a continuación, del economizador, reduciendo su temperatura hasta Tf2 a la salida del economizador, continuando hasta el tanque frío de almacenamiento de FC2.

5

- El agua procedente del condensador es bombeada y enviada al tren de generación de vapor supercrítico

10

- El agua es precalentada mediante una serie de precalentadores, de modo que alcanza una temperatura Tp.

- El agua circula sucesivamente por el economizador, el evaporador, el sobrecalentador de baja temperatura y el sobrecalentador de alta temperatura, para llegar a condiciones supercríticas de presión y temperatura a la salida del sobrecalentador de alta temperatura .

15

- El agua es enviada a la turbina de alta presión, donde realiza trabajo haciendo girar la turbina en torno a su eje.

- El agua sale de la turbina de alta presión y es enviada de nuevo al tren de generación de vapor supercrítico, donde circula sucesivamente a través del recalentador de baja temperatura y del recalentador de alta temperatura, obteniéndose vapor sobrecalentado.

20

- El vapor sobrecalentado es turbinado en una segunda turbina, expandiéndose y realizando trabajo de nuevo, hasta llegar finalmente al condensador.

El hecho de que cada uno de los fluidos caloportadores ceda su energía en un rango distinto de temperaturas permite alcanzar mayores temperaturas y presiones finales en el vapor, lo que se traduce en un aumento de la eficiencia del ciclo termodinámico.

25

La utilización de los dos fluidos caloportadores dota al sistema de una mayor libertad para el diseño, debido al hecho de que ambos fluidos caloportadores pueden operar en diferentes rangos de temperaturas y son coincidentes en una parte de dichos rangos. Ello permite cierta flexibilidad para poder optimizar el sistema de almacenamiento térmico en función de los costes de cada uno de los fluidos caloportadores.

30

- El hecho de trabajar con un ciclo supercrítico permite obtener un rendimiento del ciclo varios puntos por encima del rendimiento de los ciclos subcríticos, (se incrementa del 42% a más del 48%); ello implica un incremento en la producción cercano al 15%. El hecho de incrementar el rendimiento en el ciclo permite ir a menores tamaños en los equipos empleados en la planta, es decir, que para conseguir una misma potencia térmica de planta que con un ciclo subcrítico, con el ciclo supercrítico podemos emplear menores tamaños del receptor, así como menor tamaño de campo solar y menor número de heliostatos para una potencia eléctrica dada. Esto supone un ahorro importante no solo en coste, sino también en espacio, por lo que se puede construir plantas solares en fincas más pequeñas.
- 5
- 10 Asimismo, el hecho de tener dos circuitos con fluidos caloportadores que generan vapor otorga cierta redundancia al sistema, permitiendo el funcionamiento de la planta a carga parcial en el caso de que uno de los circuitos anteriores falle.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la siguiente descripción detallada de una realización ilustrativa y no limitativa de su objeto en relación con las figuras que se acompañan.

15

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Fig. 1: muestra un esquema de una planta termosolar según una realización de la invención.

Fig. 2: muestra un esquema detallado del tren de generación de vapor supercrítico combinado de la planta termosolar de la invención.

20

Fig. 3: muestra la evolución de las temperaturas de uno de los fluidos caloportadores de la invención, de un fluido del estado de la técnica y del fluido de trabajo FT en el ciclo de trabajo.

Las referencias de las figuras 1 y 2 corresponden a los siguientes elementos:

- 25
1. Tanque frío de almacenamiento en sales (primer fluido caloportador FC1)
  2. Tanque caliente de almacenamiento en sales (primer fluido caloportador FC1)
  3. Receptor solar de sales fundidas (primer fluido caloportador FC1)
  4. Intercambiador de calor sales-sales (primer fluido caloportador FC1 – segundo fluido caloportador FC2)



5. Tanque frío de almacenamiento en sales (segundo fluido caloportador FC2)
  6. Tanque caliente de almacenamiento en sales (segundo fluido caloportador FC2)
  7. Tren de generación de vapor supercrítico combinado
  8. Turbina de alta
  - 5 9. Condensador
  10. Bombas
  70. Economizador (segundo fluido caloportador FC2 – vapor)
  71. Evaporador (segundo fluido caloportador FC2 – vapor)
  72. Sobrecalentador de baja temperatura (segundo fluido caloportador FC2 – vapor)
  - 10 73. Sobrecalentador de alta temperatura (primer fluido caloportador FC1 – vapor)
  74. Recalentador de baja temperatura (segundo fluido caloportador FC2 – vapor)
  75. Recalentador de alta temperatura (primer fluido caloportador FC1 – vapor)
- FC1: Primer fluido caloportador
- FC2: Segundo fluido caloportador
- 15 FT: Fluido de trabajo
- Tf1: temperatura fría del primer fluido caloportador FC1
- Tc1: temperatura caliente del primer fluido caloportador FC1
- Tf2: temperatura fría del segundo fluido caloportador FC2
- Tc2: temperatura caliente del segundo fluido caloportador FC2
- 20 Tr: temperatura del receptor

### **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

La invención consiste en una planta solar termoeléctrica con tecnología preferentemente de receptor central de torre que comprende dos fluidos caloportadores. El primer fluido caloportador (FC1) es calentado a elevadas temperaturas en el receptor 3 donde se concentra la radiación solar directa reflejada en multitud de helióstatos. El segundo fluido caloportador

25

(FC2) es calentado a partir del primero en un intercambiador de calor 4. Ambos fluidos cederán su energía térmica al fluido de trabajo (FT) del sistema, que preferentemente es agua, y lo harán en un generador de vapor. Sin embargo, cada uno de los fluidos caloportadores cederá su energía en un rango distinto de temperatura, permitiendo de este modo alcanzar  
5 mayores temperaturas y presiones finales en el vapor, lo que se traduce en un aumento de la eficiencia del ciclo termodinámico. A continuación, se producirá la transformación de la energía térmica comunicada al vapor en energía mecánica, y posteriormente en energía eléctrica gracias al movimiento del eje de una turbina 8, solidario al del correspondiente generador. Estas elevadas temperaturas y presiones (supercríticas) en el vapor permiten al-  
10 canzar unos rendimientos del ciclo termodinámico Rankine mayores que los obtenidos actualmente.

El primer fluido caloportador FC1 que circula por el receptor 3 se calienta en un determinado rango de temperaturas siendo este intervalo entre 450°C y 700°C, inferior al de los receptores convencionales de sales fundidas que trabajan de 290°C a 565°C. Este menor gradiente  
15 o diferencia de temperaturas en la dirección longitudinal de los tubos del receptor 3 hace que se alcance una mayor homogeneización de las temperaturas en cada uno de los paneles de receptor 3 y por tanto que las tensiones térmicas del material sean inferiores.

Además, este primer fluido caloportador FC1 permite almacenar la energía térmica a muy alta temperatura (650 °C - 700 °C) debido a que presenta un elevado poder calorífico igual o  
20 superior a los 1,54 kJ/kgC a 565°C de los fluidos del estado del arte, e igual o superior al del segundo fluido caloportador FC2 en un 20%.

Por otro lado, el segundo fluido caloportador FC2 trabaja en un rango de temperaturas diferente al del primer fluido caloportador FC1, permitiendo el almacenamiento energético a (450 °C - 565 °C) y, por consiguiente, la optimización del almacenamiento energético.

25 La utilización de ambos fluidos caloportadores dota al sistema descrito de una mayor libertad para el diseño, debido a que ambos fluidos, pudiendo operar en diferentes rangos de temperatura, son además coincidentes en una parte de dicho rango. En el caso del primer fluido caloportador FC1 de la invención, éste opera en un rango óptimo de 450°C-700°C, mientras que el segundo fluido caloportador FC2 de nuestra invención opera de manera  
30 óptima en un rango de temperatura de 290°C-565°C, coincidiendo por lo tanto en un rango de temperaturas en el que se puede operar con ambos fluidos caloportadores (450°C-565°C). Este solapamiento nos confiere cierta flexibilidad para poder optimizar en el momento de diseño de la planta, el sistema de almacenamiento térmico en función del coste de

cada uno de los reactivos (\$/kWht), puesto que dependiendo del coste de los fluidos empleados, se puede utilizar mayor o menor cantidad de uno u otro fluido en el sistema. Teniendo en cuenta esto, y que la temperatura de almacenamiento del tanque frío de almacenamiento 1 del primer fluido caloportador FC1 y la temperatura de almacenamiento del tanque caliente de almacenamiento 6 del segundo fluido caloportador FC2 son coincidentes, podemos variar el valor de éstas dependiendo de cuál sea el fluido de mayor coste.

Para el caso, por ejemplo, en el que el primer fluido caloportador FC1 sea de un coste más elevado que el segundo fluido caloportador FC2, la diferencia de temperatura entre el tanque frío 1 y el tanque caliente 2 del fluido FC1 sería menor que la diferencia de temperatura entre el tanque frío 5 y el tanque caliente 6 del fluido FC2 (por ejemplo 565°C para el tanque frío 1 y 700 °C para el tanque caliente 2 del fluido FC1, frente a 250° del tanque frío 5 y 565°C del tanque caliente 6 del fluido FC2, de manera que se utilice menos cantidad de fluido FC1 que de fluido FC2 en el sistema por ser éste más caro. Por el contrario, en el caso de que el fluido FC1 tenga un coste inferior al fluido FC2 la diferencia de temperatura entre el tanque frío 1 y el tanque caliente 2 del fluido FC1 sería mayor que la diferencia de temperatura entre el tanque frío 5 y el tanque caliente 6 del fluido FC2, usando así menos cantidad del fluido FC2 que del fluido FC1 (tanque frío 1 a 450°C y tanque caliente 2 a 700°C para el fluido FC1, y tanque frío 5 a 290°C y tanque caliente 6 a 450°C para el fluido FC2).

La combinación de estos fluidos en el tren 7 de generación de vapor supercrítico permite finalmente trabajar con un ciclo de vapor supercrítico de muy alta eficiencia, superior al 48%. En particular, un ciclo de estas características exige unas presiones y temperaturas de trabajo superiores a lo habitual (por encima de los 240 bares, preferentemente en un rango de presión de 260 - 350 bares y en un rango de temperaturas de 620 °C - 680 °C), que, con la configuración típica de tren de generación de vapor con los fluidos convencionales, no resultaría óptimo desde un punto de vista de la diferencia de temperaturas a la entrada y a la salida del SGS (sistema de generación de vapor).

Concretamente, según podemos observar en la figura 3, la diferencia de temperatura (T1-T3) entre un fluido caloportador del estado del arte y el fluido de trabajo FT (preferentemente, agua) a la salida del economizador 70, y la diferencia de temperatura (T2-T3) entre un fluido de la invención y el agua a la salida del economizador 70, es mucho mayor para el caso del fluido del estado del arte, lo que implica que en ese caso, no se está optimizando el uso de dicho intercambiador 4, teniendo que emplear una mayor cantidad de fluido del esta-

do del arte para alcanzar la misma temperatura de fluido de trabajo FT que en el caso de nuestra invención con uno o varios de los fluidos mencionados FC1, FC2.

Para que todas las ventajas anteriormente explicadas se puedan combinar, se incorporan algunos equipos clave en el funcionamiento de la planta:

- 5           - Un intercambiador de calor 4 entre ambos fluidos caloportadores FC1 y FC2.
- Cuatro tipos de tanques de almacenamiento energético, dos tanques fríos 1, 5 y dos tanques calientes 2, 6. El almacenamiento se realiza con dos fluidos caloportadores FC1 y FC2 diferentes, presentando ambos una buena capacidad calorífica (preferentemente igual o superior a 1,54 kJ/kgC a 565°C).
- 10          - Un tren 7 de generación de vapor supercrítico compartido (con dos fluidos caloportadores FC1 y FC2 y un fluido de trabajo FT).

El funcionamiento normal de la planta sería entonces de la siguiente manera:

El primer fluido caloportador FC1 es bombeado desde su tanque de almacenamiento frío 1 donde puede encontrarse a una temperatura Tf1 (temperatura fría del fluido FC1) de entre 15 450 °C y 565 °C hasta lo alto de la torre, donde recoge la radiación concentrada y eleva su temperatura hasta Tr (temperatura del receptor) de entre 650 °C - 700 °C. Posteriormente, se circula este fluido FC1 por tres caminos diferentes: uno hacia el generador de vapor supercrítico, otro hacia el intercambiador de calor 4 con el segundo fluido caloportador FC2 y finalmente, otro hacia el tanque de almacenamiento caliente 2 a muy alta temperatura Tc1 20 (temperatura caliente del fluido FC1) de entre 650 °C y 700 °C.

Por otro lado, el segundo fluido caloportador FC2 alojado en su correspondiente tanque frío 5 a una Tf2 (temperatura fría del fluido FC2) de 290 °C será bombeado para hacerlo circular por el intercambiador de calor 4 donde recogerá la energía que le ceda el primer fluido caloportador FC1, elevando su temperatura hasta el valor deseado Tc2 (temperatura caliente del 25 fluido FC2) de entre 450 °C - 565 °C. A continuación, seguirá dos caminos: uno hacia el generador de vapor supercrítico y otro hacia su tanque de almacenamiento caliente 6.

De esta manera, se estará almacenando la energía necesaria para permitir continuar con la producción de electricidad después de que se haya puesto el sol.

La configuración de planta propuesta cuenta con los siguientes elementos:

- 30   - Tanque frío de almacenamiento 5 en sales (segundo fluido caloportador FC2)

- Tanque caliente de almacenamiento 6 en sales (segundo fluido caloportador FC2)
  - Tanque frío de almacenamiento 1 en sales (primer fluido caloportador FC1)
  - Tanque caliente de almacenamiento 2 en sales (primer fluido caloportador FC1)
  - Receptor solar 3 de sales fundidas (primer fluido caloportador FC1)
- 5
- Intercambiador de calor 4 sales-sales (primer fluido caloportador FC1 – segundo fluido caloportador FC2)
  - Tren 7 de generación de vapor supercrítico combinado, sales-vapor (primer fluido caloportador FC1 – vapor; segundo fluido caloportador FC2 – vapor)

En una realización preferente, la configuración sería la mostrada en la figura 1.

- 10
- En dicha figura 1 se observa que a la salida de cada uno de los tanques fríos de almacenamiento 1, 5 y a la salida de cada uno de los tanques calientes de almacenamiento 2, 6 hay una bomba 10, permitiendo estas bombas 10 el bombeo del primer fluido caloportador FC1 y del segundo fluido caloportador FC2 en sus respectivos circuitos.

La figura 2 muestra el detalle de cómo sería el tren 7 de generación de vapor supercrítico combinado. Se describe a continuación cómo sería el funcionamiento del sistema en conjunto.

15

En primer lugar, las sales fundidas (fluido FC1) almacenadas a una temperatura  $T_{f1}$  de 550 °C en un tanque 1, son bombeadas a lo alto de la torre donde se encuentra un receptor solar 3. Dicho receptor solar 3 está constituido preferentemente por paneles formados a su vez por tubos verticales. La radiación solar es concentrada en la superficie exterior de estos tubos, comunicando la potencia necesaria para acometer el salto de temperatura deseado en el fluido FC1, alcanzando los 650 °C ( $T_r$ ) a la salida del receptor 3. Tras esto, el fluido FC1 ya caliente es circulado hacia tres equipos diferentes. Por un lado, se envía al intercambiador de calor 4, donde se enfriará hasta aproximadamente 550 °C ( $T_{f1}$ ), para ser reconducido después al tanque de almacenamiento frío 1. Por otro lado, se envía al tren 7 de generación de vapor supercrítico entrando en nuestra realización preferente a 650 °C, donde comunica energía en dos de los equipos: el sobrecalentador de alta temperatura 73 y el recalentador de alta temperatura 75, enfriándose también hasta 550 °C ( $T_{f1}$ ) para ser reconducido igualmente al tanque de almacenamiento frío 1. Por último, el tercero de los caminos tras el receptor solar 3 es enviar parte de este fluido FC1 directamente al tanque de almacenamiento caliente 2, donde será almacenado a 650 °C para disponer de él cuando no haya aporte

20

25

30

solar al sistema, permitiendo mantener la operación de la planta. El tamaño del tanque de almacenamiento caliente 2 será tal que permita la operación al nivel de carga deseado durante las horas deseadas, según sean las especificaciones de diseño.

5 En segundo lugar, las sales fundidas que componen el fluido FC2 de diferente composición al fluido FC1, tienen el siguiente recorrido. Son bombeadas inicialmente desde su tanque de almacenamiento frío 5 donde se encuentran preferentemente a 290°C (Tf2), hacia el intercambiador de calor sales-sales 4, donde recogerán la energía cedida por las sales del fluido FC1, calentándose hasta 550 °C (Tc2). A continuación, la proporción necesaria de estas sales serán enviadas al tren 7 de generación de vapor supercrítico y circuladas a través va-  
10 rios de los equipos que lo componen. En primer lugar, se dividirán entre el sobrecalentador de baja temperatura 72 y el recalentador de baja temperatura 74 entrando en ellos preferentemente a 550°C. Posteriormente se juntarán de nuevo, homogeneizando su temperatura, para ser circuladas a través del evaporador 71 dónde entran a 500°C, y salen a 430°C, y después a través del economizador 70, reduciendo finalmente su temperatura hasta los 290  
15 °C (Tf2) a la salida del economizador 70, y siendo ya entonces enviadas al tanque de almacenamiento frío 5 de nuevo. Por otro lado, las sales que no son enviadas al sistema 7 son directamente enviadas al tanque de almacenamiento caliente 6 donde son almacenadas a 550°C (Tc2). De esta manera, y junto con las sales del fluido FC1 almacenadas en el tanque 2, dotan a la planta del almacenamiento energético requerido para operar la planta de mane-  
20 ra continuada en un rango de temperaturas de 290 °C – 650 °C en el caso de esta realización preferente, pudiendo alcanzar hasta 700°C en configuraciones alternativas.

Por último, el tercero de los circuitos que componen la planta es el formado por el fluido de trabajo FT. En este caso se trata de agua/vapor a presión supercrítica. De manera que el agua procedente del condensador 9, es bombeada y circulada hacia el tren 7 de generación  
25 de vapor supercrítico. En el camino hacia dicho equipo, es precalentada de manera convencional mediante una serie de precalentadores alimentados con extracciones de las turbinas (no representadas). También dispondría en dicho camino intermedio de un desaireador (no representado), encargado de eliminar el aire que pueda arrastrar el agua en su camino. Una vez que el agua es precalentada hasta 240 °C, se introduce en el economizador 70 (fluido  
30 FC2-vapor) de donde sale a 390°C. Ahí continúa su calentamiento gracias a la energía aportada por las sales del fluido FC2, que circulan también por el equipo. A continuación, el agua sigue su camino a través de los equipos 71, 72 y 73. La temperatura del agua a la salida del equipo 71 y entrada al equipo 72 es de 450°C. La temperatura de salida del equipo 72 y entrada al equipo 73 es de 490°C. Las condiciones del fluido de trabajo FT a la salida del so-

5 brecalentador 73 son de 260 bares y 620 °C, encontrándose por tanto en condiciones supercríticas. A continuación es enviada hacia la turbina 8 de alta presión, donde realiza trabajo haciendo girar la turbina 8 en torno a su eje. Tras esta primera turbina 8 de alta presión, el agua es enviada de nuevo hacia el sistema 7, para ser recalentada de nuevo hasta los 620 °C al circular a través de los recalentadores 74 y 75, ya a menor presión (40 bar – 60 bar). De este modo, se logra tener vapor sobrecalentado que es turbinado en una segunda turbina de baja presión (no representada), expandiéndose y realizando trabajo de nuevo, hasta que finalmente llega al condensador 9.

10 Un ciclo termodinámico como el descrito aquí, tiene un rendimiento superior al 48 %, siendo esta la gran ventaja frente a los ciclos convencionales.

15 El sistema de almacenamiento térmico está compuesto de cuatro tanques diferentes. El tanque 2 almacena sales fundidas del primer tipo de fluido FC1, a una temperatura de 650 °C (Tc1). El tanque 6, almacena sales fundidas del segundo tipo de fluido FC2 a una temperatura Tc2 de 550 °C. La descarga de ambos tanques 2, 6 permite operar la planta de manera independiente al receptor solar 3, de forma que puede continuarse aún sin disponibilidad del recurso solar, ya sea por la presencia de nubes que bloqueen la radiación solar o por encontrarse en las horas nocturnas. Los otros dos tanques 1 y 5 corresponden a los de baja temperatura de cada uno de los fluidos, (tanque 1 fluido FC1 a Tf1 de 550 °C, y tanque 5 fluido FC2 a Tf2 de 290 °C).

20 Preferentemente el receptor 3 de concentración solar térmica es un receptor absorbedor situado en lo alto de una torre. Según otra realización, el receptor 3 de concentración solar térmica es un tubo receptor de un sistema de tecnología cilindro parabólica.

25 Aunque la presente invención se ha descrito enteramente en conexión con realizaciones preferidas, es evidente que se pueden introducir aquellas modificaciones dentro de su alcance, no considerando éste como limitado por las anteriores realizaciones, sino por el contenido de las reivindicaciones siguientes.

## REIVINDICACIONES

1.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado, que comprende:

- un receptor (3) de concentración solar térmica,

5 - un circuito por el que circula un primer fluido caloportador FC1, que pasa por el receptor (3) de concentración solar térmica para el calentamiento del primer fluido caloportador FC1,

- un circuito por el que circula un segundo fluido caloportador FC2, de modo que la temperatura de FC2 es menor que la temperatura de FC1,

10 - un intercambiador de calor (4) entre ambos circuitos para el calentamiento de FC2 a partir de FC1,

- un tren (7) de generación de vapor supercrítico, con entradas para FC1, FC2 y un fluido de trabajo FT, y que comprende varios intercambiadores de calor en los que FC1 y FC2 realizan el aporte de energía hacia el fluido de trabajo FT, y

15 - un circuito correspondiente al fluido de trabajo FT, con al menos una turbina (8) que trabaja con el vapor supercrítico generado en el tren (7) de generación de vapor supercrítico, y un condensador (9),

siendo los rangos óptimos de temperaturas de trabajo de FC1 y FC2 distintos, y existiendo un solapamiento entre ambos rangos de temperaturas.

20 2.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según la reivindicación 1, que además comprende:

- un tanque frío de almacenamiento (1) y un tanque caliente de almacenamiento (2) en el circuito por el que circula el primer fluido caloportador FC1, y

- un tanque frío de almacenamiento (5) y un tanque caliente de almacenamiento (6) en el circuito por el que circula el segundo fluido caloportador FC2,

25 de modo que la temperatura de almacenamiento del tanque frío de almacenamiento (1) en el circuito por el que circula el primer fluido caloportador FC1 es igual a la temperatura de almacenamiento del tanque caliente de almacenamiento (6) en el circuito por el que circula el segundo fluido caloportador FC2.

3.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según la reivindicación



2, en la que:

- el rango óptimo de temperaturas de FC1 es entre 450°C y 700°C, y
- el rango óptimo de temperaturas de FC2 es entre 290°C y 565°C, de modo que:
- el primer fluido caloportador FC1 se encuentra en el tanque frío de almacenamiento

5 (1) a una temperatura entre 450°C y 565°C,

- el primer fluido caloportador FC1 se encuentra en el tanque caliente de almacenamiento (2) a una temperatura entre 650°C y 700°C,

- el segundo fluido caloportador FC2 se encuentra en el tanque frío de almacenamiento (5) a una temperatura de 290°C, y

10 - el segundo fluido caloportador FC2 se encuentra en el tanque caliente de almacenamiento (6) a una temperatura entre 450°C y 565°C.

4.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según la reivindicación 2 ó 3, que además comprende una bomba (10) a la salida de cada uno de los tanques fríos de almacenamiento (1, 5) y a la salida de cada uno de los tanques calientes de almacenamiento (2, 6).

5.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según cualquiera de la reivindicaciones anteriores, en la que los intercambiadores de calor del tren (7) de generación de vapor supercrítico en los que FC1 y FC2 realizan el aporte de energía hacia el fluido de trabajo FT están dispuestos en serie y en paralelo.

20 6.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según la reivindicación 5, en la que los intercambiadores de calor del tren (7) de generación de vapor supercrítico son un sobrecalentador de baja temperatura (72), un sobrecalentador de alta temperatura (73), un recalentador de baja temperatura (74), un recalentador de alta temperatura (75), un evaporador (71) y un economizador (70), de modo que el economizador (70), el evaporador  
25 (71), el sobrecalentador de baja temperatura (72) y el sobrecalentador de alta temperatura (73) se encuentran dispuestos en serie, el recalentador de alta temperatura (75) está dispuesto en paralelo con el sobrecalentador de alta temperatura (73) y el recalentador de baja temperatura (74) está dispuesto en paralelo con el sobrecalentador de baja temperatura (72).

30 7.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según cualquiera de la

reivindicaciones anteriores, en la que FC1 y FC2 son sales fundidas.

8.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según cualquiera de la reivindicaciones anteriores, en la que el fluido de trabajo FT es agua.

5 9.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según cualquiera de la reivindicaciones anteriores, en la que el receptor (3) de concentración solar térmica es un receptor absorbedor situado en lo alto de una torre.

10 10.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según cualquiera de la reivindicaciones 1 a 7, en la que el receptor (3) de concentración solar térmica es un tubo receptor de un sistema de tecnología cilindro parabólica.

11.- Planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado según cualquiera de la reivindicaciones anteriores, que comprende una turbina de alta presión y una segunda turbina.

15 12.- Procedimiento para la generación de energía eléctrica en una planta termosolar con generador de vapor supercrítico combinado de las reivindicaciones 8-11, que comprende los siguientes pasos:

- FC1 es bombeado desde el tanque frío de almacenamiento (1) de FC1, donde se encuentra a una temperatura  $T_{f1}$ , hacia el receptor (3) de concentración solar térmica, donde recoge la radiación solar concentrada y eleva su temperatura hasta  $T_r$

20 - Circulación de FC1 por 3 caminos diferentes:

a) Hacia el intercambiador de calor (4), donde se enfría hasta una temperatura  $T_{f1}$  y continúa hasta el tanque frío de almacenamiento (1) de FC1.

b) Hacia el tanque caliente de almacenamiento (2) de FC1 donde es almacenado a  $T_{c1}$

25 c) Hacia el tren (7) de generación de vapor supercrítico, donde comunica energía al fluido de trabajo FT en el sobrecalentador de alta temperatura (73) y en el recalentador de alta temperatura (75) enfriándose hasta  $T_{f1}$ , continuando hasta el tanque frío de almacenamiento (1) de FC1.

- FC2 es bombeado desde el tanque frío de almacenamiento (5) de FC2, donde se

encuentra a una temperatura  $Tf_2$ , hacia el intercambiador de calor (4), donde recoge la energía cedida por FC1 y eleva su temperatura hasta  $Tc_2$ .

- Circulación de FC2 por 2 caminos diferentes:

5 a) Hacia el tanque caliente de almacenamiento (6) de FC2 donde es almacenado a  $Tc_2$

10 b) Hacia el tren (7) de generación de vapor supercrítico, donde comunica energía al fluido de trabajo FT en el sobrecalentador de baja temperatura (72) y en el recalentador de baja temperatura (74) en paralelo, para juntarse a la salida de ambos y circular a través del evaporador (71) y, a continuación, del economizador (70), reduciendo su temperatura hasta  $Tf_2$  a la salida del economizador (70), continuando hasta el tanque frío de almacenamiento (5) de FC2.

- El agua procedente del condensador (9) es bombeada y enviada al tren (7) de generación de vapor supercrítico

15 - El agua es precalentada mediante una serie de precalentadores, de modo que alcanza una temperatura  $T_p$ .

- El agua circula sucesivamente por el economizador (70), el evaporador (71), el sobrecalentador de baja temperatura (72) y el sobrecalentador de alta temperatura (73), para llegar a condiciones supercríticas de presión y temperatura a la salida del sobrecalentador de alta temperatura (73).

20 - El agua es enviada a la turbina (8) de alta, donde realiza trabajo haciendo girar la turbina (8) en torno a su eje.

25 - El agua sale de la turbina (8) de alta y es enviada de nuevo al tren (7) de generación de vapor supercrítico, donde circula sucesivamente a través del recalentador de baja temperatura (74) y del recalentador de alta temperatura (75), obteniéndose vapor sobrecalentado.

- El vapor sobrecalentado es turbinado en una segunda turbina, expandiéndose y realizando trabajo de nuevo, hasta llegar finalmente al condensador (9).

30 13.- Procedimiento para la generación de energía eléctrica según la reivindicación 12, en el que  $Tf_1$  está entre  $450^\circ\text{C}$  y  $565^\circ\text{C}$ ,  $Tr$  está entre  $650^\circ\text{C}$  y  $700^\circ\text{C}$ ,  $Tc_1$  está entre  $650^\circ\text{C}$  y  $700^\circ\text{C}$ ,  $Tf_2$  es  $290^\circ\text{C}$ ,  $Tc_2$  está entre  $450^\circ\text{C}$  y  $565^\circ\text{C}$ ,  $T_p$  es de  $240^\circ\text{C}$ , y las condiciones

supercríticas de presión y temperatura a la salida del sobrecalentador de alta temperatura (73) son 260 bar y 620°C, respectivamente.

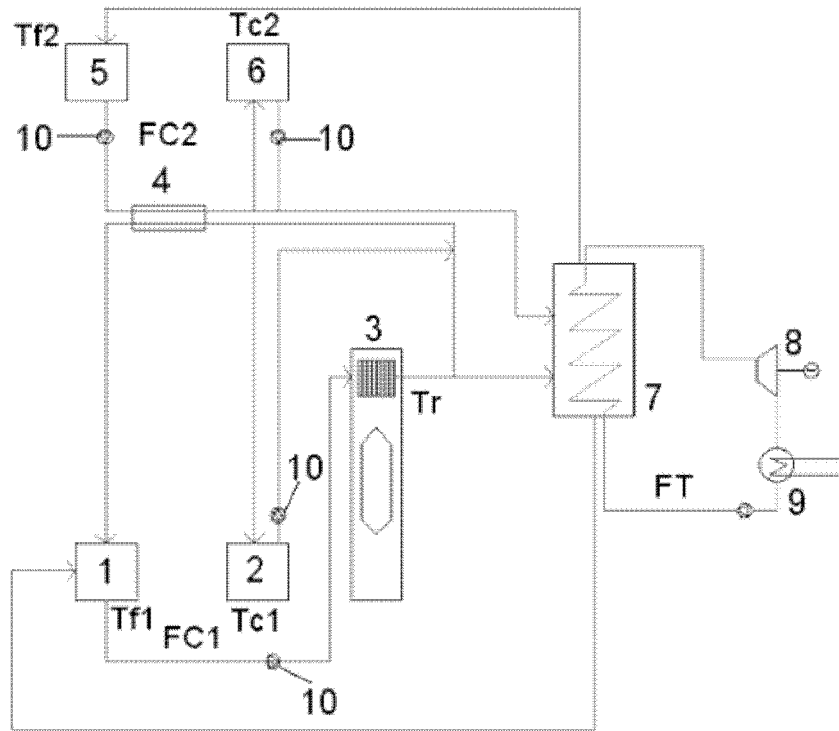


FIG. 1

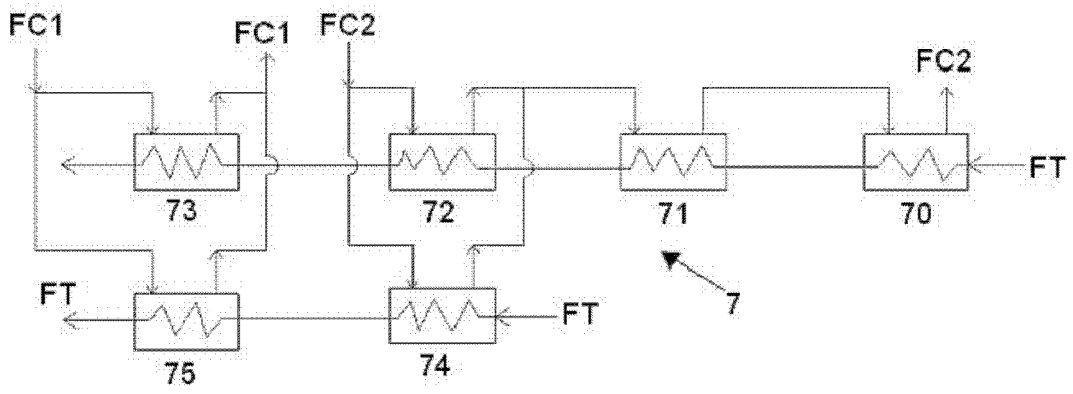


FIG. 2

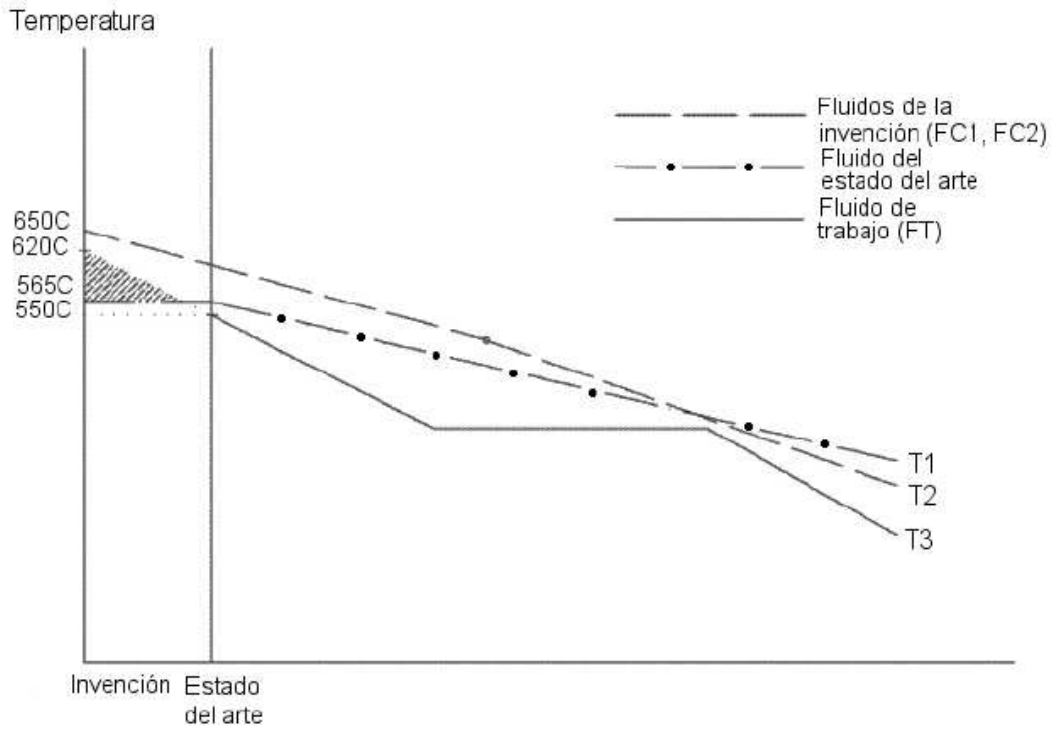


FIG. 3