

MEMORIA DESCRIPTIVA

Campo técnico

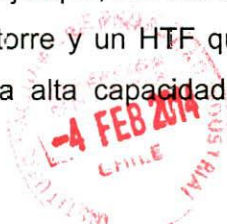
Las realizaciones descritas en la presente memoria se refieren de manera general a una tecnología de concentración de potencia solar ("CSP") y más particularmente a tecnologías CSP que utilizan un material de transferencia de calor ("HTM") que experimenta un cambio de fase de sólido a líquido y de líquido a sólido durante un ciclo de transferencia de calor.

Antecedentes

Los sistemas de Concentración de Potencia Solar (CSP) utilizan energía solar para accionar un ciclo de potencia térmica para la generación de electricidad. Las tecnologías CSP incluyen sistemas de colector cilindro-parabólico, lineal de Fresnel, de receptor central o "torre de potencia", y de plato/motor. Se ha dirigido un considerable interés en CSP por los estándares de portfolio de energías renovables aplicables a proveedores de energía en el suroeste de los Estados Unidos y las tarifas de inyección de energías renovables en España. Los sistemas CSP se despliegan típicamente como plantas de potencia grandes, centralizadas para aprovechar las economías de escala. Una ventaja clave de ciertos sistemas CSP, en particular los colectores cilindro-parabólicos y las torres de potencia, es la capacidad de incorporar almacenamiento de energía térmica. El almacenamiento de energía térmica (TES) es a menudo menos caro y más eficiente que el almacenamiento de energía eléctrica tal como baterías por ejemplo. Además, el TES permite a las plantas CSP tener un factor de capacidad y potencia de expedición aumentados según se necesita, para cubrir picos de demanda vespertinos u otros por ejemplo.

Las plantas CSP a menudo utilizan aceite, sal fundida o vapor para transferir energía solar desde un campo de recogida de energía solar, una torre receptora solar u otro aparato a un bloque de generación de potencia. Estos materiales típicamente fluyen en un sistema de tuberías o conductos como un gas o líquido y de esta manera se conocen de manera general como "fluidos de transferencia de calor" (HTF). Los HTF típicos se hacen fluir a través de aparatos de intercambio de calor para calentar agua a vapor o calentar un "fluido de trabajo" alternativo a una temperatura de operación que se usa entonces en un ciclo de generación de potencia para accionar una turbina y generar potencia eléctrica. Los HTF utilizados comúnmente tienen propiedades que en ciertos casos limitan el rendimiento total de la planta CSP. Por ejemplo, un HTF de aceite sintético usado comúnmente tiene un límite de temperatura superior de 390°C, la sal fundida tiene un límite de temperatura superior de alrededor de 565°C mientras que la generación directa de vapor requiere controles complejos y permite una capacidad de almacenamiento térmico limitada.

Las plantas CSP que emplean un HTF que experimenta una transición de fase líquido-gas son conocidas en la técnica. Por ejemplo, la Patente de US 8.181.641 y la US 4.117.682 cada una propone una disposición de torre y un HTF que presenta un cambio de fase líquido-gas. Tal tecnología se beneficia de la alta capacidad térmica de un material que experimenta una



transición de fase líquido-gas y los grandes coeficientes de transferencia de calor asociados con un flujo de dos fases en el receptor. En un sistema de transición de fase líquido-gas, el HTF caliente está necesariamente en una fase de gas; por lo tanto, puede ser difícil el almacenamiento de energía térmica eficiente. Adicionalmente, la eficiencia del ciclo de potencia está algo limitada por la temperatura para ciclos algo menos eficientes tales como un ciclo de potencia de Rankine sobrecalentado.

Alternativamente, un diseño de sistema y receptor puede caracterizar un material de transferencia de calor (HTM) sólido. Un sistema conocido caracteriza partículas sólidas que caen que son iluminadas y calentadas mediante flujo solar concentrado, como se describe por Evans et al. en 1985 "Numerical Modeling of a Solid Particle Solar Central Receiver" Informe Sandia SAND85-8249. Un diseño de CSP de partículas sólidas puede producir temperaturas máximas teóricas más altas, y por lo tanto puede aprovecharse de eficiencias del ciclo de potencia teóricas más altas. Desafortunadamente, las pérdidas por convección para un sistema receptor de partículas sólidas son altas, en gran parte debido a la interacción de las partículas que caen y el aire dentro del receptor. Si se usa una ventana para limitar las interacciones aire-partícula, surgen otros retos de diseño que pueden afectar la eficiencia del sistema total, por ejemplo la absorción de la ventana. Además, el uso de ventanas en un receptor solar aumenta la dificultad de mantener una transparencia de ventana aceptable y evitar roturas.

Las plantas CSP que usan un HTF de sal líquida también son conocidas en la técnica. Por ejemplo, las Patentes de US 6.701.711 y 4.384.550 describen un sistema de receptor de sal fundida basado en torre, y la Patente de US 7.051.529 describe un sistema basado en plato. Estos sistemas dependen del HTF que permanece en un estado líquido según pasa a través de elementos receptores, de almacenamiento, y de intercambiador de calor del sistema. El uso de un HTF líquido permite un almacenamiento de energía térmica simple por medio de un depósito aislado térmicamente, pero crea el problema de mantener el HTF que tiene un punto de congelación inherentemente alto en forma líquida. Adicionalmente, la eficiencia de transferencia de calor solar dentro de un receptor de HTF líquido se reduce por la necesidad de mantener el HTF solamente en la fase líquida.

Un colector solar cilindro-parabólico que tiene un material de cambio de fase ("PCM") sólido-líquido confinado dentro del receptor se describe en la Patente de US 4.469.088. Este diseño de PCM sólido-líquido permite el calentamiento simultáneo de un material de almacenamiento de energía térmica separado, estacionario y el HTF. No obstante, debido a que el intercambio de calor entre el material de almacenamiento de energía térmica y el HTF debe tener lugar en este diseño en el receptor, la eficiencia del sistema total está limitada debido a las pérdidas de calor totales prohibitivas durante la carga, descarga, y espera.

Los sistemas de colector cilíndrico y de torre CSP que emplean materiales que tienen un cambio de fase sólido-líquido también se describen en la Patente de US 4.127.161 y W. Steinmann, y R. Tamme, "Latent heat storage for solar steam systems" Journal of Solar Energy

4 FEB 2014

130(1) Engineering (2008). En estos sistemas no obstante, el sistema de almacenamiento térmico está físicamente remoto del receptor, conduciendo a un rendimiento del sistema inherentemente transitorio y estrategias de operación complicadas, así como una degradación térmica a través del uso de intercambiadores de calor indirectos.

Las realizaciones descritas en la presente memoria se dirigen hacia superar una o más limitaciones técnicas que incluyen pero no se limitan a los problemas tratados anteriormente.

Compendio de las realizaciones

Ciertas realizaciones descritas en la presente memoria comprenden sistemas de concentración de potencia solar (CSP). Los sistemas CSP caracterizan el uso de un material de transferencia de calor (HTM) de cambio de fase sólido-líquido. Los sistemas incluyen un receptor solar configurado para recibir un flujo solar concentrado para calentar una cantidad del HTM sólido y causar a una parte del HTM sólido fundirse a un HTM líquido. Los sistemas también incluyen un intercambiador de calor en comunicación fluida con el receptor solar. El intercambiador de calor está configurado para recibir un HTM líquido y proporcionar intercambio de calor entre el HTM líquido y el fluido de trabajo de un bloque de generación de potencia. El intercambiador de calor además proporciona la solidificación del HTM líquido. Los sistemas también incluyen un sistema de transporte de material que proporciona transporte del HTM solidificado desde el intercambiador de calor al receptor solar.

Además, las realizaciones del sistema incluyen un depósito de almacenamiento caliente en comunicación fluida con el receptor solar y el intercambiador de calor. El depósito de almacenamiento caliente está configurado para recibir una parte del HTM líquido desde el receptor solar para almacenamiento directo como medio de almacenamiento de energía térmica. De esta manera, los sistemas caracterizan el uso de un HTM de cambio de fase que funciona tanto como un medio de transferencia de calor como un medio de almacenamiento de energía térmica. Por lo tanto, se puede evitar un sistema de almacenamiento de energía térmica separado e intercambiadores de calor entre el HTM y el medio de almacenamiento de energía térmica separado.

En algunas realizaciones, el sistema puede incluir además un depósito de almacenamiento frío en comunicación mecánica o fluida con la etapa de solidificación y el receptor solar. El depósito de almacenamiento frío proporciona almacenamiento del HTM sólido corriente abajo del intercambiador de calor.

El elemento intercambiador de calor se puede implementar con caminos separados para el HTM y el fluido de trabajo de manera que no ocurra ningún contacto físico entre las dos corrientes de fluido. Alternativamente, el intercambiador de calor se puede implementar con un aparato de contacto directo que facilita el intercambio de calor mediante contacto físico directo entre el HTM y el fluido de trabajo. El elemento de intercambiador de calor se puede implementar con una o múltiples etapas de intercambio de calor. En ciertas realizaciones un



intercambiador de calor de contacto directo puede comprender un granulador. En otras realizaciones un intercambiador de calor de múltiples etapas puede incluir al menos una etapa primaria y una etapa de solidificación. La etapa de solidificación se podría implementar como un dispositivo de extrusión o fundición de palanquilla.

Las realizaciones del sistema se pueden implementar con cualquier material adecuado como el HTM, a condición de que el HTM presente un cambio de fase sólido-líquido a una temperatura adecuada. Por ejemplo, el sistema se puede implementar con una aleación de aluminio como el HTM. Las realizaciones del sistema también se pueden implementar con cualquier tipo de bloque de potencia usando cualquier tipo de ciclo de potencia y cualquier fluido de trabajo. Por ejemplo, el sistema se puede implementar con agua, CO₂ súper crítico CO₂ (s-CO₂) u otros materiales como el fluido de trabajo.

En ciertas realizaciones, el elemento de receptor solar puede comprender múltiples tubos receptores orientados sustancialmente de manera vertical. El sistema de transporte de material proporciona transporte de HTM sólido o una mezcla de HTM sólido y líquido a una abertura en uno o más de los múltiples tubos receptores. Además, una o más salidas de los tubos receptores proporcionan el flujo de HTM líquido calentado desde el receptor.

Las realizaciones del sistema pueden incluir un receptor solar que tiene uno o más tubos receptores que contienen un HTM en una fase que es diferente de la fase del HTM en otros tubos receptores. Por ejemplo el sistema puede incluir uno o más tubos receptores que tienen un flujo de HTM de fase sustancialmente sólida, uno o más tubos receptores que contienen un flujo de HTM sólido y líquido mezclados y uno o más tubos receptores que contienen un flujo de HTM de fase sustancialmente líquida. El sistema también puede incluir una torre que soporta el receptor solar. Un sistema basado en torre puede incluir tolvas receptoras de sólidos y líquidos situadas dentro de la torre y configuradas para proporcionar la carga de HTM en el receptor.

Realizaciones alternativas incluyen receptores solares configurados como se describió anteriormente.

Otras realizaciones alternativas son los métodos de generación de potencia. Las realizaciones del método incluyen los pasos de proporcionar un HTM de cambio de fase sólido-líquido, colocando el HTM sólido en un receptor solar configurado para recibir un flujo solar concentrado y calentar el HTM sólido en el receptor para hacer al HTM sólido fundirse a una fase líquida. Los métodos además incluyen almacenar al menos una parte de HTM líquido en un depósito de almacenamiento de energía térmica caliente.

Los métodos también incluyen intercambiar calor entre el HTM líquido y el fluido de trabajo de un bloque de generación de potencia. El intercambio de calor hace que el fluido de trabajo sea calentado a una temperatura de operación y también causa la solidificación del HTM líquido. El HTM líquido usado para el intercambio de calor se puede suministrar directamente desde el receptor solar o desde el depósito de almacenamiento de energía térmica caliente o ambos. Los



métodos además incluyen accionar un ciclo de generación de potencia con la energía del fluido de trabajo calentado. El HTM sólido se transfiere desde el intercambiador de calor al receptor solar para recalentar.

Los métodos además pueden incluir almacenar un HTM sólido después del intercambio de calor en un depósito de almacenamiento frío. Como se señaló anteriormente, los pasos de intercambio de calor y solidificación se pueden consumir en intercambiadores de calor de etapa única o múltiple. El elemento de intercambiador de calor se puede implementar con un intercambiador de calor de contacto directo o un intercambiador de calor donde el HTM y el fluido de trabajo se mantienen en flujos separados.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de Concentración de Potencia Solar (CSP).

La Fig. 2 es un diagrama esquemático de un sistema CSP alternativo.

La Fig. 3 es un diagrama esquemático de un sistema CSP alternativo que caracteriza un material de transferencia de calor (HTM) de fase sólida granulado.

La Fig. 4 es un diagrama esquemático de un sistema CSP alternativo que caracteriza un material de transferencia de calor (HTM) de fase sólida de palanquilla rectangular.

La Fig. 5 es un diagrama esquemático de un sistema CSP alternativo que caracteriza un material de transferencia de calor (HTM) de fase sólida tipo palanquilla o barra de sección transversal redonda.

La Fig. 6 es un diagrama esquemático de la etapa de solidificación del sistema CSP de la Fig. 4.

La Fig. 7 es una representación gráfica de los perfiles de temperatura modelados de un HTM y fluido de trabajo seleccionados en un intercambiador de calor de contacto directo, etapa única.

La Fig. 8 es una representación gráfica de los perfiles de temperatura modelados de un HTM y fluido de trabajo seleccionados en un intercambiador de calor de dos etapas que tiene una etapa de solidificación.

La Fig. 9 es un diagrama esquemático de una configuración de receptor solar que muestra un patrón de flujo para un HTM sólido, sólido y líquido mezclados y líquido.

La Fig. 10 es un diagrama esquemático de una configuración de receptor solar alternativa que muestra un patrón de flujo para un HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido.

La Fig. 11 es un diagrama esquemático de una configuración de receptor solar alternativa que muestra un patrón de flujo para un HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido.

La Fig. 12 es un diagrama esquemático de una configuración de receptor solar alternativa que



muestra un patrón de flujo para un HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido.

La Fig. 13 es un diagrama esquemático de una configuración de receptor solar alternativa que muestra un patrón de flujo para un HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido.

La Fig. 14 es un diagrama esquemático de una configuración de receptor solar alternativa que muestra un patrón de flujo para un HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido.

La Fig. 15 es un diagrama esquemático de vista en planta de un receptor de cavidad solar que caracteriza tubos receptores separados para flujos de HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido en donde los tubos se disponen para mejorar la eficiencia.

La Fig. 16 es un diagrama esquemático de vista en planta de un receptor de cavidad solar que caracteriza tubos receptores separados para flujos de HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido en donde los tubos se disponen para mejorar la eficiencia.

La Fig. 17 es un diagrama esquemático de vista en planta de un receptor de cavidad solar que caracteriza tubos receptores separados para flujos de HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido en donde los tubos se disponen para mejorar la eficiencia.

La Fig. 18 es un diagrama esquemático de vista en planta de un receptor circular que caracteriza tubos receptores separados para flujos de HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido en donde los tubos se disponen para mejorar la eficiencia.

La Fig. 19 es un diagrama esquemático de vista en planta de un receptor circular que caracteriza tubos receptores separados para flujos de HTM sólido, sólido y líquido mezclado y líquido en donde los tubos se disponen para mejorar la eficiencia.

La Fig. 20 es un diagrama isométrico de un receptor solar configurado para recibir palanquillas de HTM sólido.

La Fig. 21 es un diagrama isométrico de un receptor solar circular configurado para recibir palanquillas de HTM sólido.

La Fig. 22 es un diagrama isométrico de un receptor solar circular configurado para recibir HTM sólido molido, desmenuzado o granulado.

La Fig. 23 es una representación gráfica de la eficiencia del sistema proyectado de las realizaciones del sistema descrito operado a temperaturas seleccionadas.

Descripción detallada

A menos que se indique de otro modo, todos los números que expresan cantidades de ingredientes, dimensiones, condiciones de reacción y así sucesivamente usados en la especificación y las reivindicaciones tienen que ser entendidos como que se modifican en todos los casos por el término "aproximadamente".



En esta solicitud y las reivindicaciones, el uso del singular incluye el plural a menos que se exprese específicamente de otro modo. Además, el uso de "o" significa "y/o" a menos que se exprese de otro modo. Además, el uso del término "que incluye", así como otras formas, tales como "incluye" e "incluido", no es limitante. También, términos tales como "elemento" o "componente" abarcan tanto elementos como componentes que comprenden una unidad y elementos y componentes que comprenden más de una unidad a menos que se exprese específicamente de otro modo.

Las realizaciones descritas en la presente invención incluyen sistemas CSP que caracterizan el uso de material de cambio de fase sólido-líquido como un material de transferencia de calor (HTM). El término "material de transferencia de calor" se usa en la presente memoria en lugar del más comúnmente visto "fluido de transferencia de calor" debido a que en ciertas realizaciones el HTM de las realizaciones descritas se mueve, almacena y utiliza como un sólido no fluido.

Como se define en la presente memoria un material de cambio de fase sólido-líquido es un material que existe en una fase sólida y a temperaturas de operación más frías pero se funde a una fase líquida a temperaturas de operación más calientes. Las diversas realizaciones descritas en la presente memoria incluyen sistemas CSP donde el HTM y el material de almacenamiento de energía térmica (TES) son el mismo material. De esta manera, se puede evitar el intercambio de calor entre el HTM y un sistema TES separado que utiliza un material TES separado. Un beneficio de utilizar un material de cambio de fase como el HTM y TES de un sistema CSP es la alta densidad de energía realizada explotando el calor latente así como el calor razonable de un material HTM/TES adecuado. La densidad de almacenamiento de energía de un material HTM adecuado se puede duplicar típicamente explotando el almacenamiento de calor latente de una transición de cambio de fase.

Materiales de cambio de fase adecuados para uso como un HTM incluyen sales, polímeros orgánicos e inorgánicos, y metales. En particular, el HTM podría estar compuesto de una sal de nitrato, carbonato, bromuro, cloruro, fluoruro, hidróxido, o sulfato, cinc, boro, berilio, plomo, magnesio, cobre, aluminio, estaño, antimonio, manganeso, hierro, níquel o silicio, una aleación de cualesquiera metales, un plástico, un material orgánico de cera o una mezcla miscible o inmiscible de cualquiera de los anteriores que es capaz de almacenar calor de una forma razonable y latente. La elección específica de un HTM se determina por los requerimientos de la aplicación específica. Por ejemplo, en sistemas que operan a altas temperaturas, típicamente aproximadamente de alrededor de 600°C, se pueden usar aleaciones de aluminio como el HTM, mientras que en sistemas que operan a temperaturas medias, típicamente alrededor de 400°C, las sales de nitrato pueden ser el HTM más adecuado. Aún a temperaturas más bajas, típicamente por debajo de 200°C, las sales de hidratos y ceras orgánicas pueden ser el HTM más adecuado.

El HTM utilizado en las diversas realizaciones descritas en la presente memoria se puede



procesar, cuando está en una fase sólida, para tener una o más de muchas formas, siluetas, o estructuras alternativas. En las realizaciones descritas el HTM se entrega a un receptor solar u otro aparato de concentración de energía solar en al menos una fase parcialmente sólida. Por ejemplo, el HTM se puede entregar a un receptor solar como un gránulo o material granulado. Como se usa en la presente memoria un "gránulo" es un material granular y que fluye relativamente libre. En realizaciones alternativas el HTM se puede procesar y entregar al receptor como una palanquilla sólida extruida o fundida, una barra o palanquilla sólida cilíndrica, un sólido desmenuzado, un sólido de partículas o granular u otra forma adecuada. En ciertas realizaciones el HTM sólido se puede mezclar con un HTM líquido y entregar al receptor solar como una suspensión.

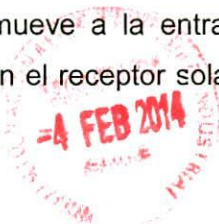
Varios diseños de receptor específicos se describen más adelante. En cada realización, el receptor solar está configurado para calentar el HTM y hacer a al menos algún HTM sólido fundirse. Los sistemas descritos también incluyen uno o más intercambiadores de calor en comunicación fluida y térmica con el receptor solar y que reciben un HTM líquido directa o indirectamente desde el receptor. El(los) intercambiador(es) de calor puede(n) ser de cualquier tipo o cualquier nivel de sofisticación necesario para proporcionar un intercambio de calor entre el HTM líquido y un fluido de trabajo de ciclo de generación de potencia. El(los) intercambiador(es) de calor también proporcionan el enfriamiento y solidificación de un HTM líquido en conjunto con el calentamiento del fluido de trabajo.

Los elementos intercambiadores de calor y otros subsistemas están, por conveniencia técnica descritos y mostrados en las figuras como elementos esquemáticos simples. Todos los elementos de un sistema comercial se implementarían con un aparato más complejo.

Los sistemas de descritos también incluyen un sistema de transporte de material que proporciona el transporte de HTM sólido desde la salida del intercambiador de calor al receptor solar para recalentamiento. De esta manera, algo o todo del HTM experimenta un ciclo térmico que incluye un cambio de fase de sólido a líquido según se aplica energía solar al HTM y un cambio de fase de líquido a sólido según se intercambia energía con un fluido de trabajo.

Un sistema CSP 10 se ilustra esquemáticamente en las Fig. 1-2. El sistema 10 caracteriza el uso de un HTM de cambio de fase sólido-líquido 12 almacenado en la parte más fría de un ciclo térmico en forma de gránulo en un recipiente o depósito de almacenamiento frío 14. Aunque se designa un depósito de almacenamiento "frío" 14, es importante señalar que el término "frío" es relativo. Típicamente el depósito de almacenamiento frío alojará un HTM de fase sólida a una temperatura ambiente solamente algo por debajo del punto de fusión del HTM. De esta manera, el depósito de almacenamiento frío 14 debe estar aislado y fabricado de materiales que sean adecuadamente duraderos a las temperaturas deseadas.

El HTM granulado 12 se mueve a la entrada de un receptor solar 16 con un sistema de transporte de material 18. En el receptor solar 16, la luz solar concentrada, por ejemplo, la luz



solar reflejada desde un campo de heliostatos 20, calienta el HTM 12 causando un cambio de fase de sólido a líquido en al menos algo del HTM y posiblemente causando un calentamiento adicional del HTM líquido. Varias realizaciones de receptor específicas se describen en detalle más adelante. Aunque las realizaciones descritas en la presente memoria y mostradas en las figuras se refieren en primer lugar a un receptor montado en torre 16 iluminado por un campo de heliostatos 20, los sistemas y métodos descritos en la presente memoria se podrían implementar en configuraciones de planta CSP alternativas. Por ejemplo, los sistemas y métodos descritos en la presente memoria se podrían implementar en sistemas de CSP de colectores cilindro-parabólicos, lineal de Fresnel, o de plato/motor también.

Corriente abajo del receptor solar 16, el HTM líquido 12 se puede almacenar temporalmente en un depósito de almacenamiento caliente 22. El depósito almacenamiento caliente 22 es el TES primario del sistema 10 de esta manera sirve para equilibrar la respuesta transitoria del sistema y extender las operaciones en períodos tales como la tarde o noche donde el flujo solar está limitado o indisponible. El depósito de almacenamiento caliente se debe fabricar de un material tal como acero revestido con ladrillos de alúmina que proporciona aislamiento y que es estable a las más altas temperaturas de operación esperadas del HTM líquido a la salida del receptor. Los depósitos de almacenamiento diseñados para operaciones de fundición de aluminio se pueden reutilizar como depósitos de almacenamiento caliente 22 si se usa una aleación de aluminio como el HTM. Aunque no se muestra en las figuras se debería apreciar que se incluirán conductos, tuberías y válvulas en una implementación comercial para permitir a un operador de planta dirigir el HTM caliente a y desde el depósito de almacenamiento caliente 22 para consumir la carga del TES durante períodos de elevado flujo solar o descargando del TES según se desee. Debido a que la transferencia de calor y el almacenamiento de energía térmica se logran con el mismo PCM/HTM, no hay degradación térmica que surja de colocar un intercambiador de calor entre fluidos de almacenamiento de energía térmica y transferencia de calor separados.

El HTM líquido caliente 12 se toma de la salida del receptor solar 16 o de la salida del depósito de almacenamiento caliente 22, o ambos, y se hace fluir a través de un aparato intercambiador de calor 24. En el intercambiador de calor 24 el cual puede incluir varios sub elementos o etapas, el intercambio de calor ocurre entre el HTM y el fluido de trabajo de un bloque de generación de potencia 26. Las realizaciones descritas en la presente memoria no están limitadas a ningún tipo específico de intercambiador de calor 24, bloque de generación de potencia 26 o cualquier fluido de trabajo específico. Las altas temperaturas de operación logradas con ciertos tipos de HTM facilitan el uso con ciclos de producción de potencia termodinámica de temperatura más alta por ejemplo un ciclo Brayton de CO₂ súper crítico (s-CO₂). Todos los tipos de bloque de potencia 26 incluirán una o más turbinas 28 que se operan por el fluido de trabajo caliente para generar electricidad. El bloque de potencia 26 incluirá típicamente algunos o todos los elementos del bloque de potencia siguientes: turbinas 28, compresores, condensadores, etapas de expansión, recuperadores, intercambiador de calor y

las tuberías, conductos, válvulas y controles asociados.

El intercambiador de calor 24 puede incluir conductos de HTM y fluido de trabajo separados de manera que el calor se intercambie entre el HTM y el fluido de trabajo sin mezcla física de las corrientes de HTM y fluido de trabajo. Alternativamente, se puede utilizar un intercambiador de calor de contacto directo donde el HTM líquido interactúa directamente en el fluido de trabajo del ciclo de potencia. En un intercambiador de calor de contacto directo, el contacto físico directo entre el HTM y el fluido de trabajo calienta el fluido de trabajo según se solidifica el HTM líquido. Una vez formado, el HTM sólido se puede separar del fluido de trabajo usando un proceso de formación de escoria continuo. El HTM sólido entonces se puede mover al recipiente de almacenamiento frío 14 y/o al receptor 16 con el sistema de transporte de sólidos 18.

El intercambiador de calor 24 proporciona de esta manera dos funciones importantes con respecto al sistema general 10. Primero, el intercambiador de calor 24 proporciona energía de calor a ser transferida desde el HTM al fluido de trabajo para permitir generación de potencia. Al mismo tiempo, el intercambiador de calor proporciona el fluido de trabajo para enfriar el HTM suficientemente para causar la solidificación del HTM. La transición de fase de líquido a sólido que ocurre durante la transferencia de calor explota el calor latente del HTM para transferir más energía al fluido de trabajo que sería posible en un sistema donde el cambio de fase no ocurra durante el proceso de intercambio de calor del fluido de trabajo.

Como se señaló anteriormente, el elemento de intercambiador de calor puede incluir múltiples etapas. Por ejemplo, como se muestra las Fig. 3-6, el intercambiador de calor puede incluir una etapa de alta temperatura 29 donde se intercambia calor razonable entre el HTM y el fluido de trabajo mientras que el HTM permanece líquido. El intercambiador de calor 24 puede incluir además una etapa de solidificación 30 donde el intercambio de calor con el fluido de trabajo hace al HTM solidificarse mientras que se precalienta el fluido de trabajo. De esta manera, la etapa de solidificación 30 es corriente abajo de la etapa de temperatura alta 29 con respecto al HTM y corriente arriba de la etapa de temperatura alta 29 con respecto al fluido de trabajo.

La naturaleza del intercambiador de calor 24, que incluye cualquier etapa de temperatura alta 29 o etapa de solidificación 30 se puede seleccionar e implementar para controlar tanto la eficiencia del sistema como la forma deseada para el HTM en una fase sólida. Por ejemplo, en una realización de una planta CSP que procesa un HTM sólido como gránulo (Fig. 1-2) el intercambiador de calor 24 se pueden implementar como un granulador de etapa única. En una realización de etapa única, el HTM líquido, aluminio fundido por ejemplo, se mezcla directamente con un fluido de trabajo, s-CO₂ por ejemplo. Según interactúan los dos fluidos, el HTM se enfría, y el fluido de trabajo gana calor. Inicialmente (con respecto a una cantidad dada de HTM), se transfiere un calor razonable desde el HTM líquido al fluido de trabajo enfriador. Esto se ilustra en el gráfico de la Fig. 7 como el segmento de perfil de temperatura 702. La Fig. 7 muestra los perfiles de temperatura respectivos de un material de cambio de fase HTM y un



fluido de trabajo según se transfiere energía desde el HTM al fluido de trabajo. Cuando el HTM se enfría a la temperatura de congelación, el HTM pasa a través de un proceso de congelación isotérmico, mostrado como el segmento de perfil de temperatura plano 704. El HTM entonces se enfría además como un sólido (segmento de perfil de temperatura 706). Dado que el fluido de trabajo no cambia de fase en este ejemplo, no hay ninguna sección isotérmica en el perfil de temperatura del fluido de trabajo 708.

La diferencia grande entre la temperatura de HTM inicial y las temperaturas del fluido trabajo finales ilustradas en el lado izquierdo del modelo de la Fig. 7 es indeseable debido a que el sistema operaría a más alta eficiencia si la temperatura del fluido de trabajo fuera más próxima a la inicial, la temperatura más caliente del HTM. El elemento intercambiador de calor 24 se puede configurar para aumentar la eficiencia del sistema total minimizando esta diferencia de temperatura.

Por ejemplo, el gráfico de la Fig. 8 ilustra perfiles de temperatura para los mismos materiales modelados en la Fig. 7, pero con una configuración de intercambiador de calor de dos etapas. En el lado izquierdo del gráfico de la Fig. 8, los segmentos de perfil de temperatura 802 y 804 ilustran las temperaturas del HTM y el fluido de trabajo esperadas en un intercambiador de calor de des sobrecalentamiento de no contacto, por ejemplo la etapa de temperatura alta 29 de las Fig. 3-6. En esta etapa, la tasa de flujo de fluido de trabajo se puede fijar para hacer los perfiles de temperatura de los materiales respectivos paralelos. El lado derecho del gráfico de la Fig. 8 ilustra el perfil de temperatura del HTM como un segmento plano 806 en todo el proceso de solidificación con una reducción adicional en temperatura (segmento de perfil de temperatura 808) según se enfría el sólido es una etapa de solidificación 30. De esta manera, una configuración de intercambiador de calor de dos o múltiples etapas permite la optimización de la eficiencia del ciclo de potencia.

Como se señaló anteriormente, el diseño del intercambiador de calor se puede seleccionar para proporcionar un HTM sólido que tenga una forma o tamaño específico. Por ejemplo, como se muestra las Fig. 4-6, el HTM se puede fabricar, almacenar en un almacenamiento frío 14 y entregar al receptor 16 como una palanquilla extrusionada o fundida 32. Una palanquilla, barra, lingote u otra forma sólida más grande es particularmente bien adecuada para implementaciones donde el HTM es un metal o una aleación de metal. Por ejemplo, se puede formular una aleación de aluminio o una aleación de PCM eutéctico de aluminio/silicio para tener un punto de fusión adecuado para usar como el HTM en una instalación CSP de temperatura alta y se puede formar convenientemente en palanquillas para transporte automatizado en la fase sólida. Las palanquillas 32 también pueden tener una sección transversal sustancialmente rectangular, circular u otra deseada y puede ser de cualquier tamaño o longitud requerido para una manipulación conveniente.

En los sistemas 10 donde el HTM se forma en una palanquilla 32 o forma similar, el intercambiador de calor 24 incluye una etapa de solidificación 30 que se puede implementar con

cualquier tipo de mecanismo de extrusión o fundición de palanquilla o barra. La etapa de solidificación 30 se enfría por el fluido de trabajo, causando solidificación y además precalentando el fluido de trabajo. Una etapa de solidificación de fusión de palanquilla representativa 30 se muestra en la Fig. 6 con las temperaturas indicadas que son representativas de las temperaturas de operación asociadas con un fluido de trabajo s-CO₂ y PCM/HTM eutéctico de aluminio/silicio.

En todas las realizaciones el HTM solidificado producido por el intercambiador de calor de una, dos o múltiples etapas 24 se puede devolver por el sistema de transporte de sólidos 18 al receptor 16 o al recipiente de almacenamiento frío 14, estableciendo por ello un ciclo continuo. Como se muestra en las Fig. 3-5, el sistema de transporte de sólidos 18 se puede implementar con un transportador mecánico u otro sistema de elevación mecánica. Alternativamente, el transporte de sólidos 18 se puede implementar con un elevador de barrena o tornillo, elevador de aire u otro sistema o mecanismo conocido adecuado para transportar sustancias sólidas.

Los sistemas CSP 10 de las Fig. 3-5 se ilustran como que tienen el HTM cargado en el receptor 16 sustancialmente en su totalidad en una fase sólida. Alternativamente, el HTM sólido se puede precalentar con energía solar o mezclar con un HTM líquido anterior a cargar en un receptor 16. En particular, el uso de un HTM en forma de gránulos, granular, desmenuzada o de partículas proporciona la oportunidad de cargar el HTM en el receptor 16 ya sea como un sólido o una suspensión. En cualquier realización, el HTM en todas sus formas que se proporcionan inicialmente puede experimentar un cambio de fase gradual donde las partes sólidas del HTM fluyen con las partes líquidas durante algún periodo de tiempo durante el calentamiento.

En las realizaciones seleccionadas optimizadas para uso con un HTM sólido formado de gránulos, granular, desmenuzado u otro más pequeño, el sistema 10 puede incluir una bomba 34, una tolva receptora de sólidos 36, una tolva receptora de líquidos 38, un mezclador o punto de mezcla 40, dispositivos de inyección de sólidos y otros componentes situados en o muy cerca de la torre 42 y de esta manera en estrecha proximidad al receptor 16, como se trata en más detalle más adelante. La tolva receptora de sólidos 36 podría ser el mismo contenedor o recipiente o uno separado que el recipiente de almacenamiento frío 14. El punto de mezcla 40 podría ser un aparato de mezcla dedicado o una simple unión entre dos flujos de material y donde puede darse la mezcla.

En las realizaciones de las Fig. 9-19, se pasa un HTM formado de gránulos sólidos u otras relativamente pequeñas a través de uno o más puntos de mezcla y tubos receptores mientras que los tubos receptores se iluminan mediante flujo solar concentrado. Dependiendo de la disposición de los tubos receptores, ciertos tubos pueden contener HTM en forma sólida, líquida o suspensión. Diversas disposiciones de tubos receptores rellenos de sólido/suspensión/líquido se ilustran en las Fig. 9-19 y se describen más adelante. La realización particular empleada en cualquier implementación del sistema dependerá del recurso solar disponible y el tamaño del bloque de potencia asociado.



En las Fig. 9-19, los tubos que tienen flujo de fase líquida se marcan como los tubos receptores 44. Los tubos que contienen flujos de suspensión sólida-líquida de varias proporciones volumétricas se indican como los tubos receptores 46. Los tubos que contienen flujos de HTM de fase sustancialmente sólida movidos por gravedad, transporte mecánico, o por atrapamiento de gas forzado se marcan como los tubos receptores 48.

La Fig. 9 muestra una configuración de flujo receptor donde el HTM sólido de la etapa de solidificación 30 o el depósito de almacenamiento frío 14 se alimenta desde una tolva de sólidos 36 en una tolva receptora de líquidos 38. El HTM sólido se funde en la tolva de líquidos antes de ser bombeado a través de los tubos receptores de líquidos 44. Tras salir del receptor 16, el flujo de HTM líquido se divide en una línea de derivación 50 que conduce a la tolva receptora de líquidos 38 y una línea principal 52 que conduce al depósito de almacenamiento caliente 22 o el intercambiador de calor 24 (no mostrado en la Fig. 9).

La Fig. 10 ilustra una configuración de flujo de receptor en la que un HTM sólido de la tolva receptora de sólidos 36 se mezcla con un flujo de HTM líquido de la tolva receptora de líquidos 38 en un punto de mezcla 40 para formar una suspensión, que se introduce en el receptor 16. La suspensión fluye a través de los tubos receptores 46 donde se funde por el flujo solar y posteriormente fluye a través de los tubos receptores de líquidos 44. El líquido HTM entonces sale del receptor 16 donde el flujo se divide en una línea de derivación 50 que conduce a la tolva receptora de líquidos 38 y una línea principal 52 que conduce al depósito de almacenamiento caliente 22 o al intercambiador de calor 24 (no mostrado en la Fig. 10). Los flujos de suspensión tienden a aumentar la transferencia de calor dentro del receptor, permitiendo un tamaño de receptor y temperatura de superficie reducidos, y una reducción en las pérdidas de radiación.

La Fig. 11 ilustra otra realización que tiene una configuración de flujo de receptor en la que un HTM sólido fluye o se mueve desde la tolva receptora de sólidos 36 directamente en los tubos receptores de sólidos 48. Una vez que el HTM sólido se ha precalentado por flujo solar, el HTM líquido se inyecta mediante la bomba 34 y se forma la suspensión en un punto de mezcla 40. Esta suspensión fluye a través de los tubos receptores de suspensión 46 y posteriormente a través de los tubos receptores de líquidos 44 después de un calentamiento solar adicional. El HTM líquido entonces sale del receptor 16 donde el flujo se divide en una línea de derivación 50 y la línea de vuelta principal 52 como se describió anteriormente.

La Fig. 12 muestra otra realización que tiene una configuración de flujo de receptor en la que el sólido fluye desde la tolva receptora de sólidos 36 directamente en los tubos receptores de sólidos 48 hasta que se forma una suspensión, en cuyo punto el HTM fluye a través de los tubos receptores de suspensión 46 y posteriormente los tubos receptores de líquidos 44 según se calienta el HTM. Después de salir del receptor 16, el HTM se mueve directamente a la línea principal 52 para almacenamiento o transferencia de calor corriente abajo.



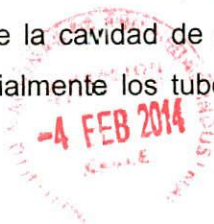
La Fig. 13 muestra una configuración de flujo de receptor alternativa en la que el HTM sólido fluye o se mueve desde la tolva receptora de sólidos 36 y se permite caer delante de los tubos receptores en un deflector de caída semitransparente 54. El HTM sólido es de esta manera precalentado según cae en una segunda tolva receptora de sólidos 56, y se hace entonces que se mueva en secuencia a través de los tubos receptores de sólidos 48, los tubos receptores de suspensión 46 y los tubos receptores de líquidos 44 sustancialmente como se describió anteriormente. Tras salir del receptor 16, el HTM líquido completamente calentado fluye directamente a la línea principal 52 para almacenamiento o transferencia de calor corriente abajo.

La Fig. 14 muestra una configuración de flujo de receptor en el que el HTM sólido en la tolva receptora de sólidos 36 interactúa térmicamente con un fluido secundario inmiscible 57. Este fluido secundario fluye a través de los tubos receptores de fluido secundario 58 y se calienta a una temperatura por debajo del punto de fusión del HTM. El fluido secundario calentado fluye de vuelta a la tolva de almacenamiento de sólidos 36 donde interactúa con el gránulo sólido a través de contacto directo. El gránulo sólido precalentado se mezcla entonces con un HTM líquido caliente en un punto de mezcla 40 y fluye como una suspensión a través de los tubos receptores de suspensión 46 y posteriormente los tubos receptores de líquidos 44. El HTM completamente calentado sale del receptor 13 y fluye como se describió anteriormente.

Como se señaló anteriormente, el rendimiento del sistema puede estar afectado y en parte controlado por el flujo gestionado de HTM en varias fases a través de los tubos receptores. Además, como se muestra en las Fig. 15-22 el rendimiento y eficiencia del sistema se pueden mejorar optimizando la configuración física de un receptor solar. La configuración de receptor óptima dependerá del tamaño final y recurso solar de cualquier planta de potencia dada.

Como se muestra en la Fig. 15, un receptor de cavidad 16 se puede implementar con tubos receptores 48 que transportan el HTM de fase sólida situado frente al interior de la pared de la cavidad exterior de manera que los tubos 48 no están iluminados por un flujo concentrado, sino que se calientan mediante energía vuelta a radiar 60 desde los otros tubos. Los tubos receptores rellenos de suspensión 46 se colocan en el área de la más alta concentración de flujo solar y los tubos rellenos de líquido 44 se colocan en las regiones de concentración de flujo más baja. De esta manera, la energía solar se usa en primer lugar para consumir un cambio de fase en el HTM de suspensión que está a la temperatura de fusión o congelación, lo cual mejora la eficiencia el sistema total.

La Fig. 16 muestra un receptor de cavidad 16 donde los tubos receptores de flujo sólido 48 están dispuestos a lo largo de la pared de la cavidad exterior de manera que no están iluminados por un flujo solar concentrado sino que solamente están iluminados por energía vuelta a radiar 60 desde otros tubos receptores. Los tubos rellenos de suspensión 46 se colocan dentro del volumen de la cavidad de manera que están sujetos a un flujo altamente concentrado y sombrean parcialmente los tubos receptores rellenos de líquido 44 que están



dispuestos a lo largo de la pared posterior de la cavidad.

La Fig. 17 muestra un receptor de cavidad 16 donde los tubos receptores de flujo sólido 48 están dispuestos a lo largo de la pared de la cavidad exterior de manera que no están iluminados por un flujo solar concentrado sino que solamente están iluminados por energía vuelta a radiar 60 desde otros tubos receptores. Un deflector semitransparente descendente de partículas sólidas 54 desciende a través de la entrada de la cavidad a una posición de flujo alto. Los tubos rellenos de suspensión 46 se sitúan dentro del volumen de la cavidad de manera que están sujetos a un flujo altamente concentrado y sombrean parcialmente los tubos receptores de flujo líquido 44 que están dispuestos a lo largo de la pared posterior de la cavidad.

La Fig. 18 muestra un receptor externo 16 en el que los tubos receptores rellenos de suspensión 46 están dispuestos en una parte del receptor 16 con concentración de flujo más alta y los tubos rellenos de HTM líquido 44 están dispuestos en una parte del receptor con una concentración de flujo más baja.

La Fig. 19 muestra un receptor externo 16 en el que los tubos receptores rellenos de HTM sólido 48 están dispuestos en una parte del receptor 16 que está compartida por una superficie reflexiva 62. Los tubos receptores 48 están de esta manera iluminados solamente con energía vuelta a radiar y reflejada 60. Los tubos rellenos de suspensión 46 están dispuestos en un área donde el flujo solar tiene la más alta concentración. Los tubos receptores rellenos de líquido 44 están dispuestos en un área donde el flujo solar está menos concentrado.

Como se señaló anteriormente, cada una de las disposiciones de receptor ilustradas en las Fig. 15-19, están configuradas para colocar los tubos receptores o deflectores de HTM para minimizar las pérdidas de calor capturando y utilizando energía vuelta a radiar y reflejada y presentando las superficies en el punto de congelación/fusión del HTM al flujo solar más alto.

En general, la eficiencia con la que un receptor convierte en la radiación solar a calor se determina por su temperatura de operación, diversos coeficientes de transferencia de calor y área bajo iluminación. Utilizando un PCM como el HTM, se pueden introducir fluidos con propiedades térmicas superiores, como metales, y regímenes de flujo beneficiosos en el receptor. Además, materiales con conductividades y densidades térmicas más altas tenderán a aumentar la tolerancia a la fatiga del receptor y hacer el flujo crítico que el receptor puede absorber más alto, contrayendo el tamaño del receptor total. Además, como se señaló anteriormente, los flujos en suspensión tienden a aumentar la transferencia de calor dentro del receptor, permitiendo un tamaño de receptor y temperatura de superficie reducidos, y una reducción en las pérdidas de radiación normalmente asociadas con temperaturas de operación de receptor más altas. Finalmente, debido a que la transferencia de calor y almacenamiento se consuman con el mismo HTM, no hay degradación térmica que surge de colocar un intercambiador de calor entre fluidos de almacenamiento de energía térmica y transferencia de calor separados.



En particular, la Fig. 20 ilustra una formación en paralelo de tubos receptores 64, los cuales, por ejemplo se podrían disponer en la región de flujo solar más alto en un receptor tipo cavidad 16. El receptor 16 está asociado con un sistema de transporte de material 18 configurado para cargar palanquillas 32 verticalmente en cada tubo receptor 64. Las palanquillas 32 se pueden cargar secuencialmente o como se necesite. El flujo solar concentrado en los tubos receptores 64 calienta el HTM de palanquilla sólido, causando una transición de cambio de fase de sólido a líquido. El HTM líquido entonces fluye fuera del receptor 16 a través de un tubo de salida 66 para almacenamiento, transferencia de calor y generación de energía corriente abajo. La disposición vertical de los tubos receptores 64 proporciona una alimentación por gravedad conveniente de las palanquillas en la parte superior del receptor mientras que el HTM líquido fluye fuera desde el fondo.

La Fig. 22 ilustra un receptor alternativo 16 que está configurado específicamente para recibir HTM granular, desmenuzado o de gránulos levantado a través del cuerpo del receptor con un sistema de transporte de material 18 configurado como un elevador de tornillo sin fin y distribuido a los tubos receptores 64. El HTM se funde dentro de los tubos receptores 64 y fluye fuera del receptor 16 a través de una salida 66 para propósitos de almacenamiento de energía térmica, transferencia de calor y generación de potencia corriente abajo.

Las diversas realizaciones descritas anteriormente caracterizan todas el uso de un material de cambio de fase sólido-líquido como una combinación de material TES y HTM. Como se señaló anteriormente, ciertas aleaciones de metal son particularmente bien adecuadas para usar como un HTM con los sistemas descritos. El punto de fusión y congelación de una aleación de metal se puede seleccionar de manera que la temperatura caliente del HTM esté cercana o por encima de 1.000°C. Por ejemplo, como se muestra la Fig. 23, se puede seleccionar un material de cambio de fase HTM de aleación de metal el cual tiene una temperatura caliente de 760°C, 860°C, 960°C, 1.060°C, 1.160°C, 1.260°C o 1.360°C. La selección o fabricación de un HTM que proporciona una temperatura caliente de operación por encima de 760°C permite el uso de

ciclos de generación de potencia más eficientes. Esta manera, como se representa gráficamente en la Fig. 23, se mejora significativamente la eficiencia del ciclo de potencia total proyectado que se logra con un CSP.

Diversas realizaciones de la descripción también podrían incluir permutaciones de los diversos elementos enumerados en las reivindicaciones como si cada reivindicación dependiente fuera una reivindicación dependiente múltiple que incorpora las limitaciones de cada una de las reivindicaciones dependientes precedentes así como las reivindicaciones independientes. Tales permutaciones están expresamente dentro del alcance de esta descripción.

Mientras que la invención ha sido mostrada y descrita particularmente con referencia a un número de realizaciones, se entendería por los expertos en la técnica que se pueden hacer cambios en la forma y detalles a las diversas realizaciones descritas en la presente memoria sin apartarse del espíritu y alcance de la invención y que las diversas realizaciones descritas en la presente memoria no se pretende que actúen como limitaciones en el alcance de la reivindicaciones. Todas las referencias citadas en la presente memoria se incorporan en su totalidad por referencia.



REIVINDICACIONES

1. Un sistema de concentración de potencia solar CARACTERIZADO porque comprende:

un material de transferencia de calor de cambio de fase sólido-líquido;

un receptor solar configurado para recibir un flujo solar concentrado para calentar una cantidad del material de transferencia de calor sólido y hacer a al menos una parte del material de transferencia de calor sólido fundirse a un material de transferencia de calor líquido;

un intercambiador de calor en comunicación fluida con el receptor solar, el intercambiador de calor que recibe el material de transferencia de calor líquido, y que proporciona intercambio de calor entre el material de transferencia de calor líquido y un fluido de trabajo de un ciclo de potencia, el intercambiador de calor que además proporciona la solidificación del material de transferencia de calor líquido;

un sistema de transporte de material que proporciona transporte del material de transferencia de calor sólido desde el intercambiador de calor al receptor solar; y

un depósito de almacenamiento caliente en comunicación fluida con el receptor solar y el intercambiador de calor, el depósito de almacenamiento caliente que proporciona almacenamiento de energía térmica usando el material de transferencia de calor líquido como un medio de almacenamiento de energía térmica.

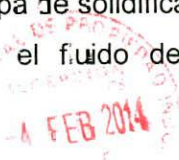
2. El sistema de la reivindicación 1 CARACTERIZADO porque además comprende un depósito de almacenamiento frío en comunicación mecánica o fluida con la etapa de solidificación y el receptor solar, el depósito de almacenamiento frío que proporciona almacenamiento del material de transferencia de calor sólido.

3. El sistema de la reivindicación 1 CARACTERIZADO porque el intercambiador de calor comprende un intercambiador de calor de contacto directo que proporciona contacto físico entre el material de transferencia de calor y el fluido de trabajo.

4. El sistema de la reivindicación 3 CARACTERIZADO porque el intercambiador de calor comprende un granulador.

5. El sistema de la reivindicación 4 CARACTERIZADO porque la entrada de material de transferencia de calor sólido al receptor solar comprende una suspensión del material de transferencia de calor líquido y de gránulos.

6. El sistema de la reivindicación 1 CARACTERIZADO porque el intercambiador de calor comprende un intercambiador de calor de múltiples etapas que comprende al menos una etapa primaria donde ocurre el intercambio de calor entre el material de transferencia de calor líquido y el fluido de trabajo y una etapa de solidificación donde el intercambio de calor entre el material de transferencia de calor y el fluido de trabajo causa la solidificación del material de



transferencia de calor.

7. El sistema de la reivindicación 6 CARACTERIZADO porque la etapa de solidificación comprende un aparato de fabricación de palanquillas.

8. El sistema de la reivindicación 7 CARACTERIZADO porque la entrada de material de transferencia de calor sólido al receptor solar comprende palanquillas sólidas.

9. El sistema de la reivindicación 1 CARACTERIZADO porque el material de transferencia de calor comprende una aleación de aluminio.

10. El sistema de la reivindicación 9 CARACTERIZADO porque el fluido de trabajo comprende s-CO₂.

11. El sistema de la reivindicación 1 CARACTERIZADO porque el sistema de transporte de material comprende un transportador mecánico.

12. El sistema de la reivindicación 1 CARACTERIZADO porque el receptor solar además comprende:

uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sustancialmente sólida;

uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sólida y líquida mezcladas; y

uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sustancialmente líquida.

13. El sistema de la reivindicación 12 CARACTERIZADO porque además comprende:

una torre que soporta el receptor solar;

una tolva receptora de sólidos situada dentro de la torre y configurada para proporcionar la carga de material de transferencia de calor sólido en el receptor; y

una tolva receptora de líquidos situada dentro de la torre y configurada para proporcionar la carga de material de transferencia de calor líquido dentro del receptor.

14. El sistema de la reivindicación 1 CARACTERIZADO porque el receptor solar además comprende:

múltiples tubos receptores orientados sustancialmente de manera vertical, los múltiples tubos receptores que tienen una abertura asociada con el sistema de transporte de material que proporciona que el material de transferencia de calor sólido sea cargado en uno o más de los múltiples tubos receptores; y

una salida desde los tubos receptores que proporciona el flujo de material de transferencia



de calor líquido desde el receptor.

15. El sistema de la reivindicación 14 CARACTERIZADO porque los múltiples tubos receptores están dispuestos en una formación sustancialmente circular.

16. El sistema de la reivindicación 1 CARACTERIZADO porque además comprende un bloque de potencia asociado con el intercambiador de calor, el bloque de potencia que comprende el fluido de trabajo y múltiples componentes de generación de potencia.

17. El sistema de la reivindicación 16 CARACTERIZADO porque el ciclo de potencia comprende un ciclo de producción de potencia termodinámica Brayton de s-CO₂.

18. Un receptor solar CARACTERIZADO porque comprende:

múltiples tubos receptores orientados sustancialmente de manera vertical;

un sistema de transporte de material que proporciona transporte de material de transferencia de calor sólido a una abertura en uno o más de los múltiples tubos receptores; y

una salida de los tubos receptores que proporciona el flujo de material de transferencia de calor líquido desde el receptor.

19. El receptor solar de la reivindicación 18 CARACTERIZADO porque además comprende:

uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sustancialmente sólida;

uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sólida y líquida mezcladas; y

uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sustancialmente líquida.

20. El receptor solar de la reivindicación 19 CARACTERIZADO porque el flujo de material de transferencia de calor de fase sólida y el flujo de material de transferencia de calor de fase líquida se mezclan juntos fuera del uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sólida y líquida mezcladas.

21. El receptor solar de la reivindicación 19 CARACTERIZADO porque además comprende:

una torre que soporta el receptor solar;

una tolva receptora de sólidos situada dentro de la torre y configurada para proporcionar la carga de material de transferencia de calor sólido en el receptor; y

una tolva receptora de líquidos situada dentro de la torre y configurada para proporcionar la carga de material de transferencia de calor líquido en el receptor.

22. El receptor solar de la reivindicación 21 CARACTERIZADO porque el material de



transferencia de calor de fase sólida se precalienta anterior a la introducción en el uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sustancialmente sólida.

23. El receptor solar de la reivindicación 22 CARACTERIZADO porque el material de transferencia de calor de fase sólida se precalienta mediante flujo solar directo.

24. El receptor solar de la reivindicación 22 CARACTERIZADO porque el material de transferencia de calor de fase sólida se precalienta por contacto con un fluido de transferencia de calor secundario.

25. El receptor solar de la reivindicación 19 CARACTERIZADO porque uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sustancialmente sólida se colocan lejos del flujo solar directo y además se colocan para ser calentados por radiación indirecta de otros tubos receptores.

26. El receptor solar de la reivindicación 25 CARACTERIZADO porque uno o más tubos receptores que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sólida y líquida mezcladas se colocan para recibir un nivel más alto de flujo solar que el uno o más tubos que contienen un flujo de material de transferencia de calor de fase sustancialmente líquida.

27. El receptor solar de la reivindicación 18 CARACTERIZADO porque los múltiples tubos receptores se disponen en una formación sustancialmente circular.

28. El receptor solar de la reivindicación 27 CARACTERIZADO porque el sistema de transporte de material comprende un brazo de distribución de giro configurado para girar alrededor del receptor para cargar las palanquillas en la formación circular de tubos receptores.

29. Un método de generación de potencia CARACTERIZADO porque comprende:

proporcionar un material de transferencia de calor de cambio de fase sólido-líquido;

colocar el material de transferencia de calor sólido en un receptor solar configurado para recibir un flujo solar concentrado;

calentar al menos una parte del material de transferencia de calor sólido en el receptor solar para hacer al material de transferencia de calor sólido fundirse a una fase líquida;

almacenar al menos una parte del material de transferencia de calor líquido en un depósito de almacenamiento de energía térmica caliente;

intercambiar calor entre el material de transferencia de calor líquido y un fluido de trabajo de un bloque de generación de potencia para calentar el fluido de trabajo a una temperatura de operación y causar la solidificación del material de transferencia de calor líquido;

accionar un ciclo de generación de potencia con la energía del fluido de trabajo calentado; y



transportar el material de transferencia de calor sólido al receptor solar.

30. El método de la reivindicación 29 CARACTERIZADO porque además comprende almacenar material de transferencia de calor sólido en un depósito de almacenamiento frío en comunicación mecánica o fluida con el receptor solar.

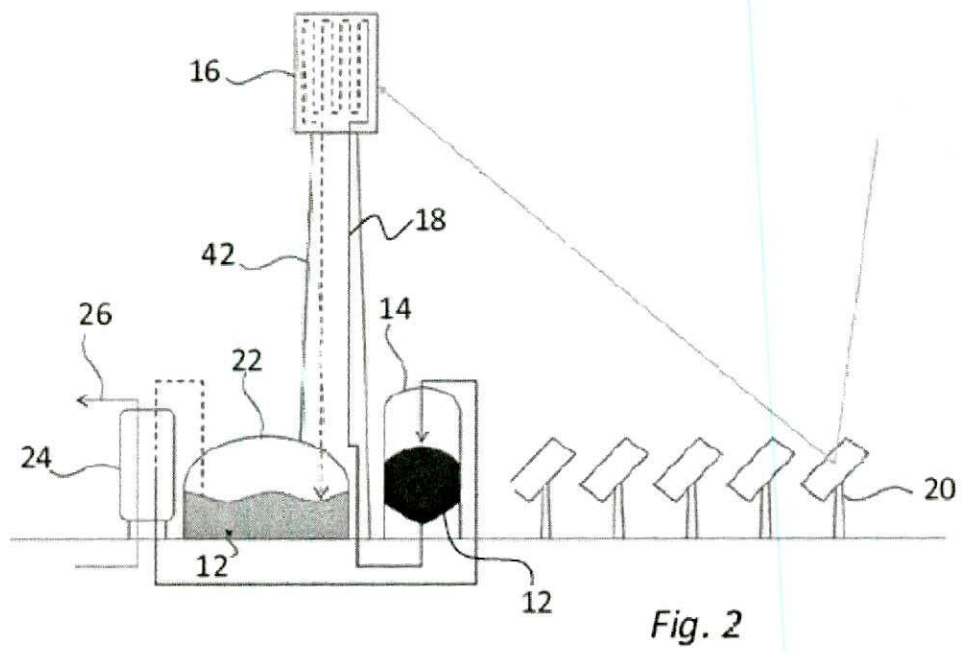
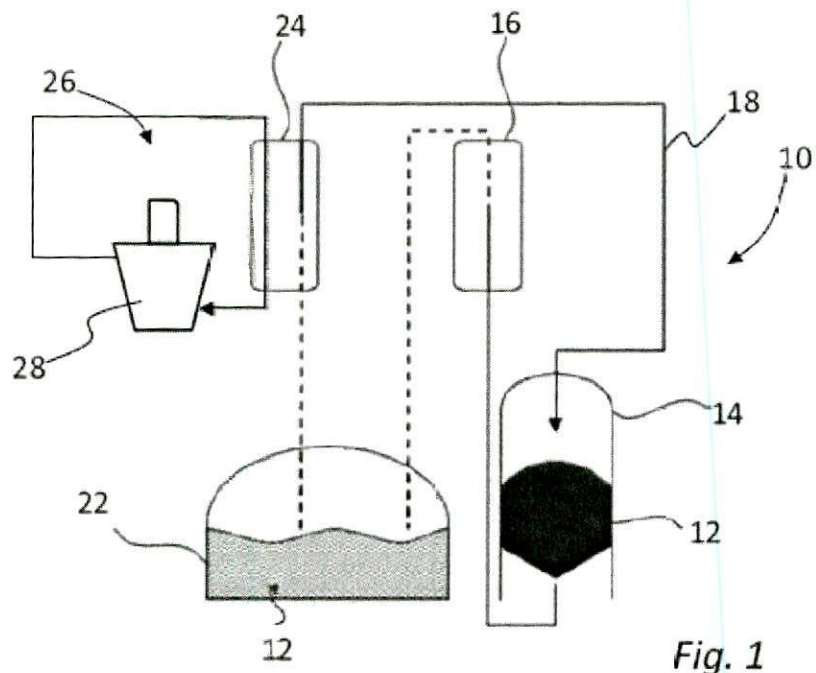
31. El método de la reivindicación 29 CARACTERIZADO porque el paso de solidificación comprende granular el material de transferencia de calor líquido en un intercambiador de calor de contacto directo.

32. El método de la reivindicación 29 CARACTERIZADO porque la entrada de material de transferencia de calor sólido al receptor solar comprende una suspensión de material de transferencia de calor sólido y material de transferencia de calor líquido.

33. El método de la reivindicación 29 CARACTERIZADO porque además comprende fabricar palanquillas de material de transferencia de calor sólido a partir de material de transferencia de calor líquido.

34. El método de la reivindicación 29 CARACTERIZADO porque además comprende transportar material de transferencia de calor sólido al receptor solar con un transportador mecánico.





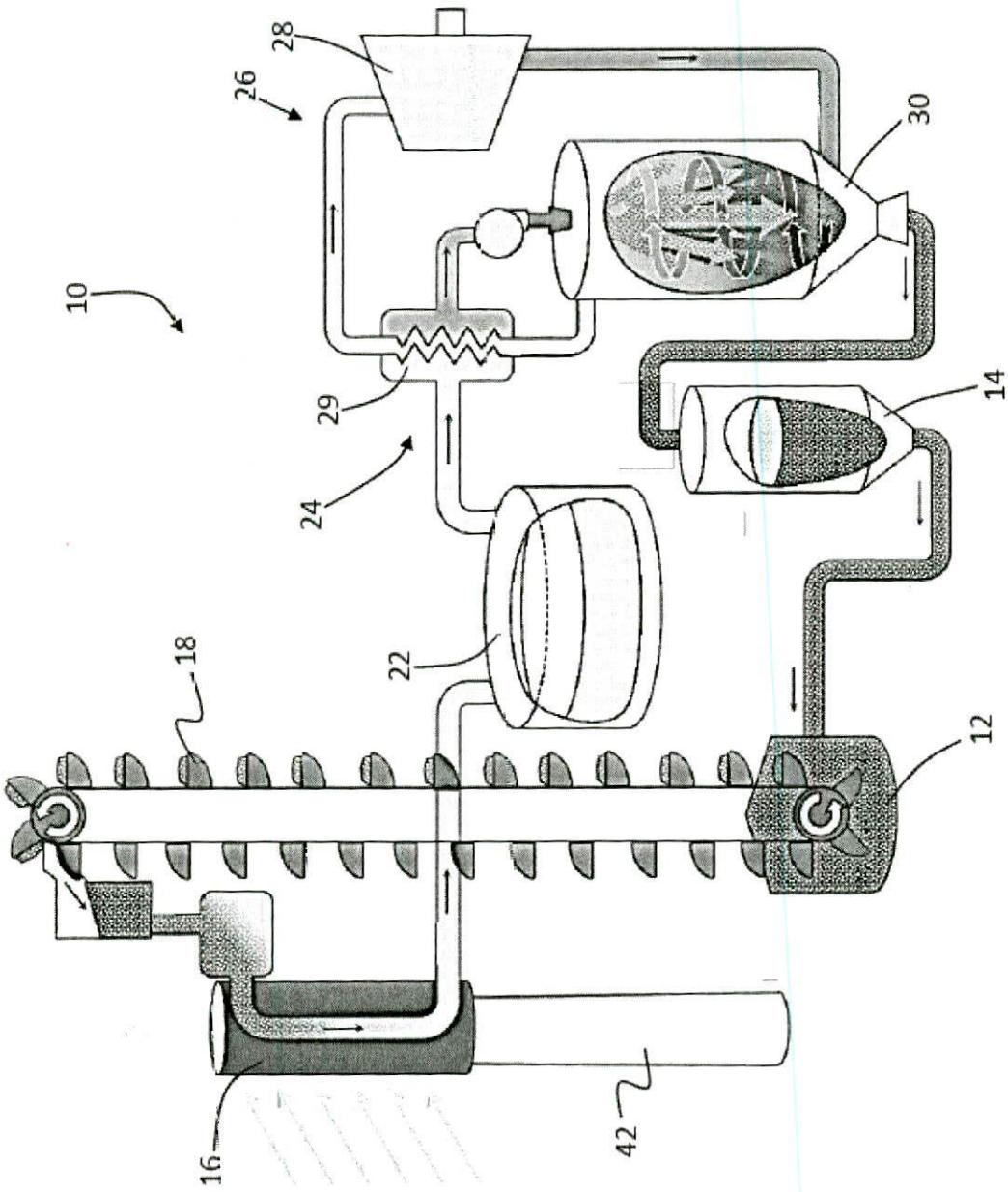


Fig. 3

INSTITUT OIL & GAS
-4 FEB 2014
6301E

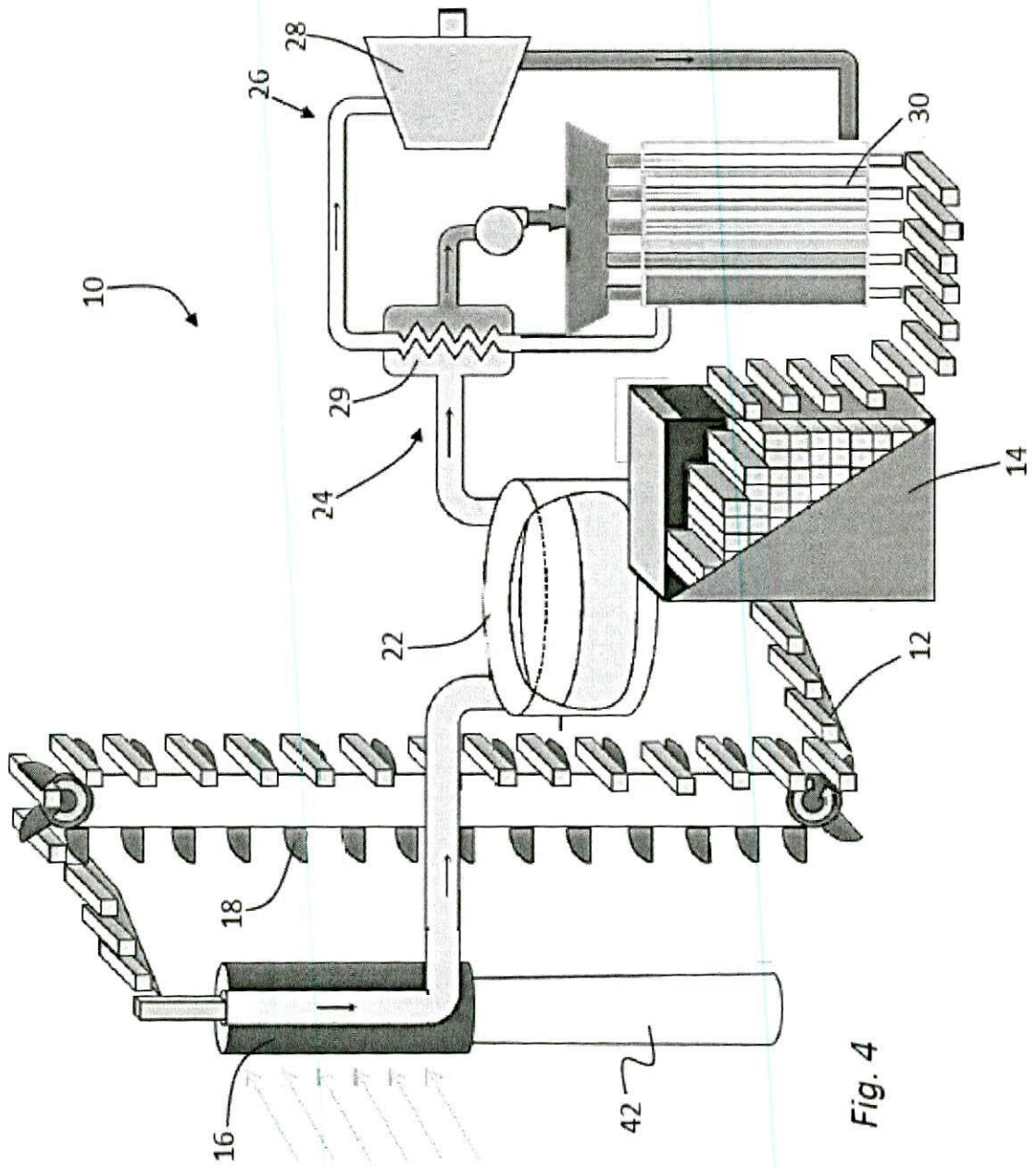


Fig. 4

RECEIVED
-A FEB 2014

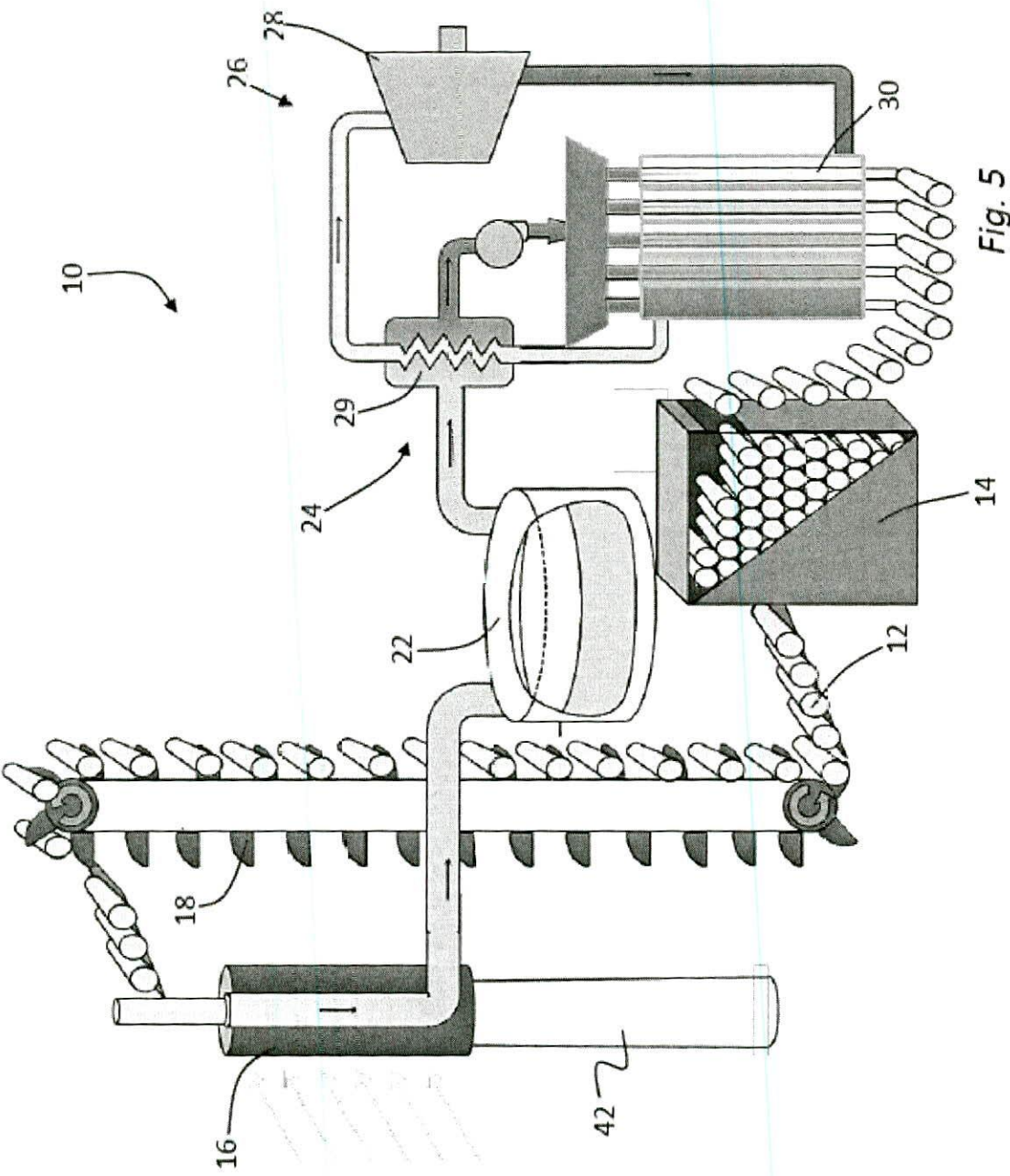


Fig. 5

RECEIVED
-4 FEB 2014
CST/E

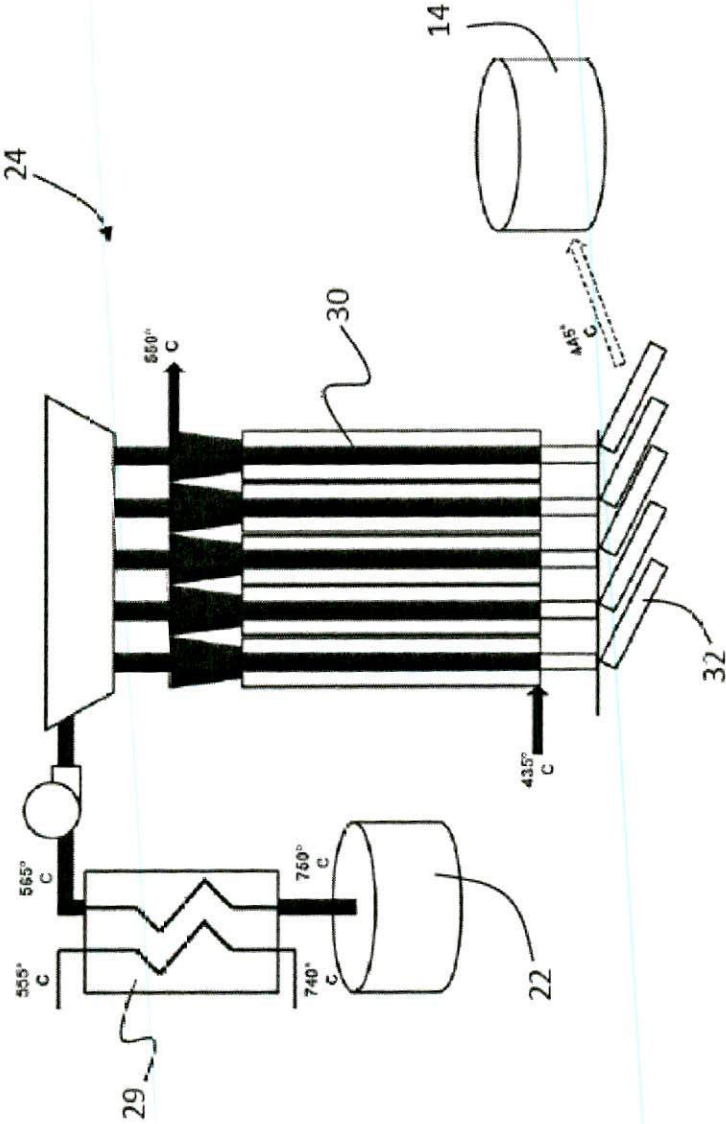


Fig. 6

REPUBLICA NACIONAL DE CHILE
SECRETARIA DE MINERIA
-4 FEB 2014
CHILE

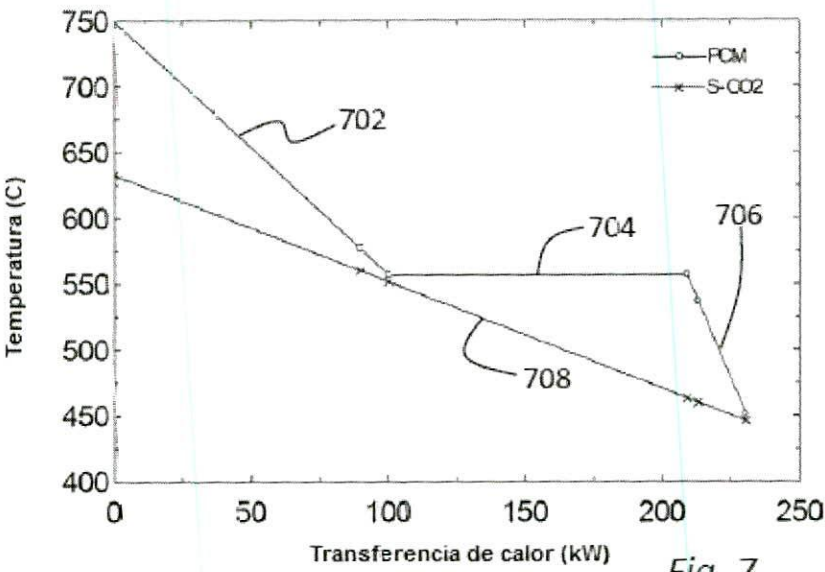


Fig. 7

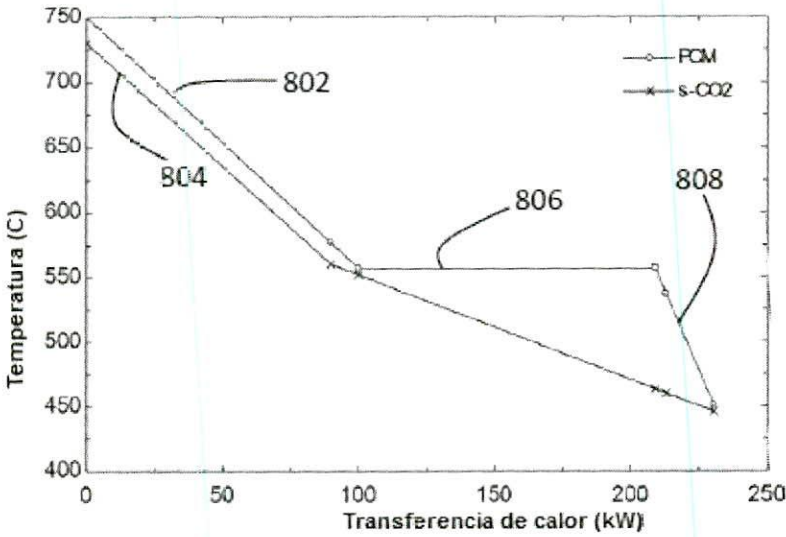


Fig. 8



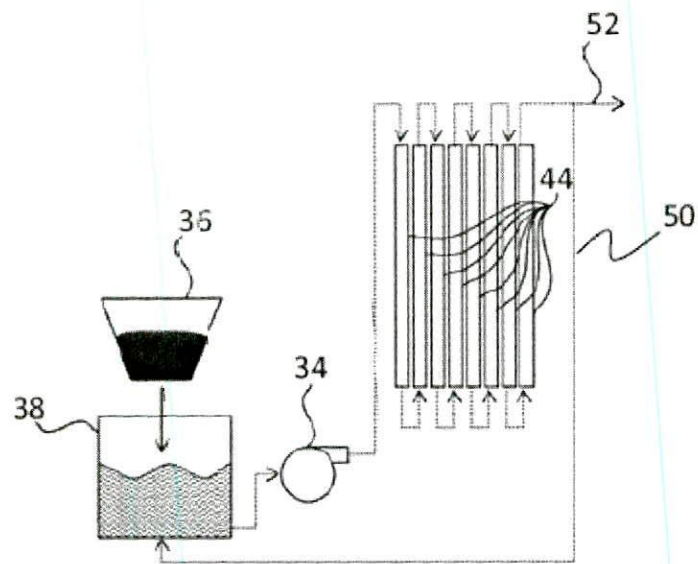


Fig. 9

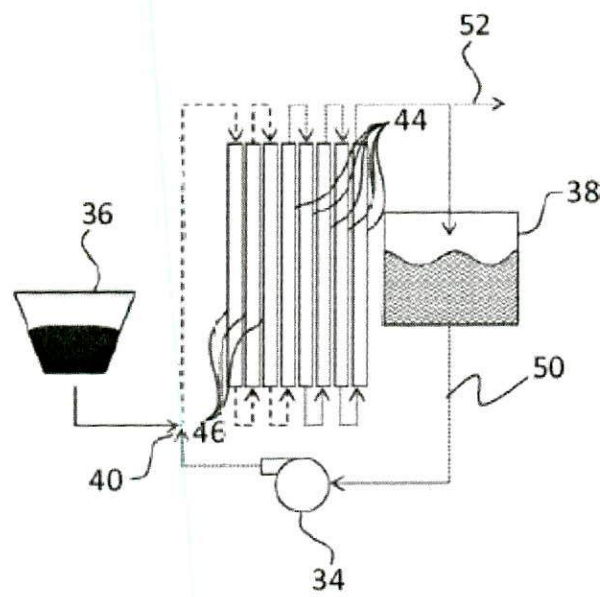


Fig. 10

RECEIVED
-4 FEB 2014
CHIEF

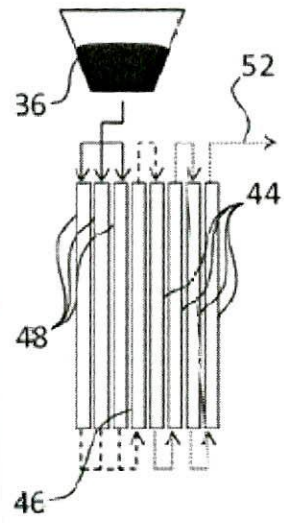
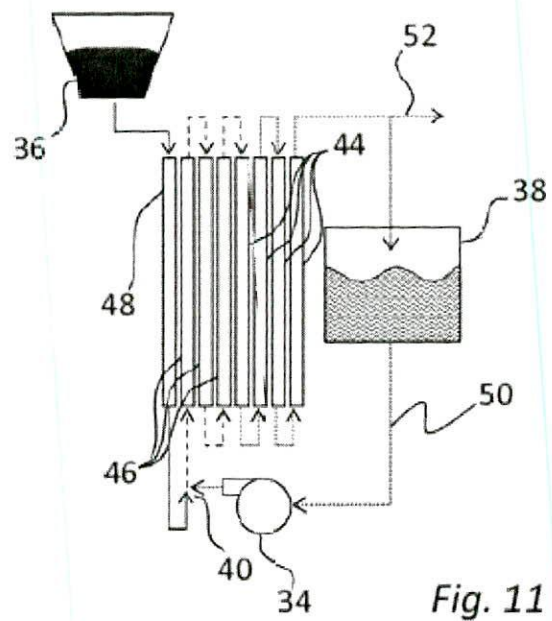


Fig. 12



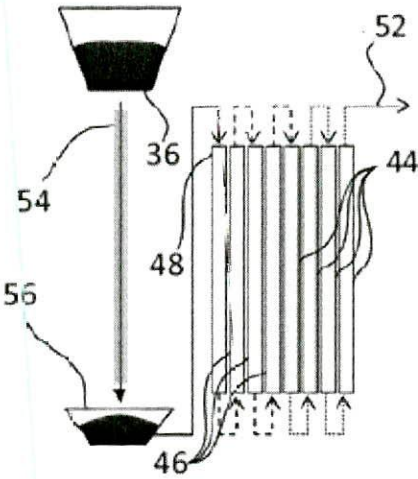


Fig. 13

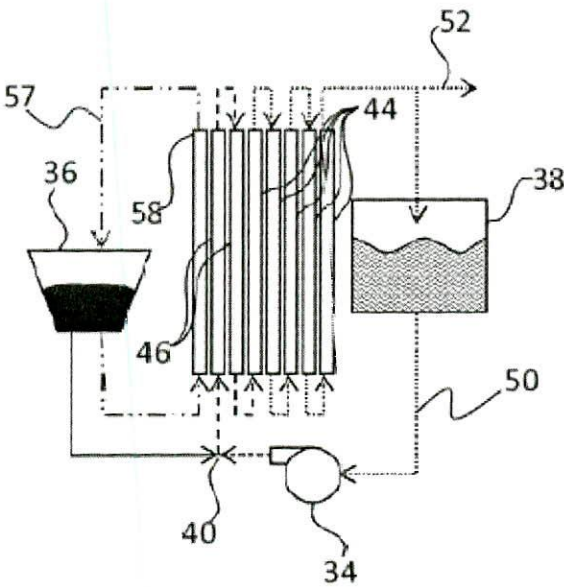


Fig. 14



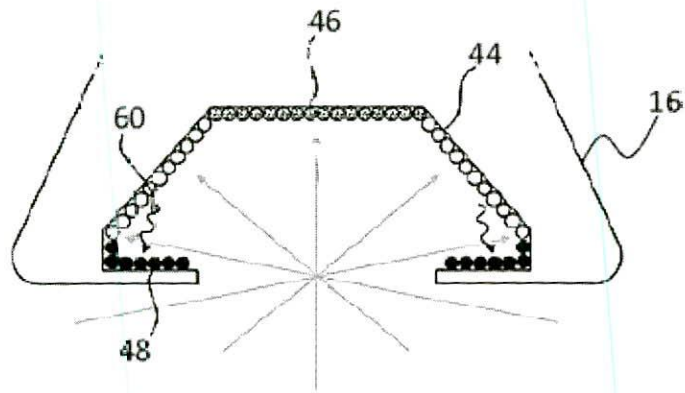


Fig. 15

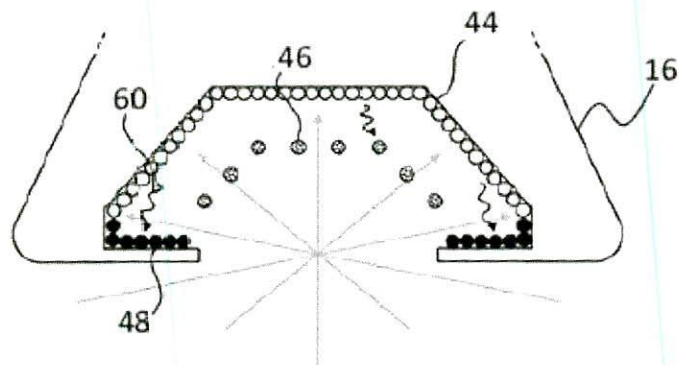


Fig. 16



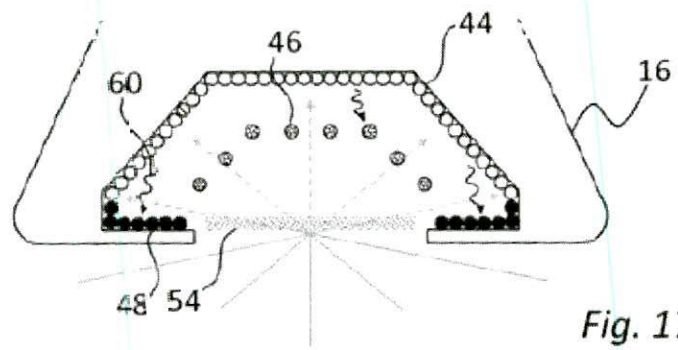


Fig. 17

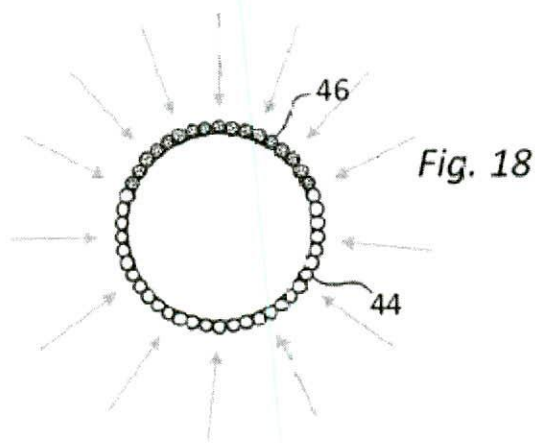


Fig. 18

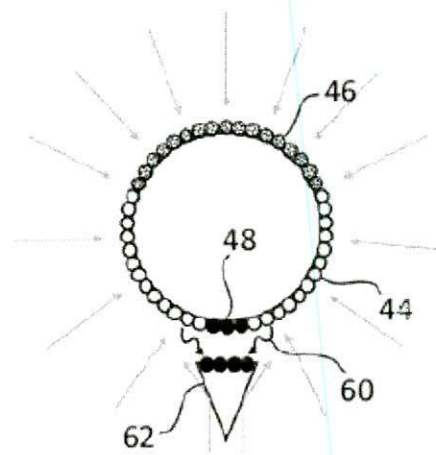


Fig. 19



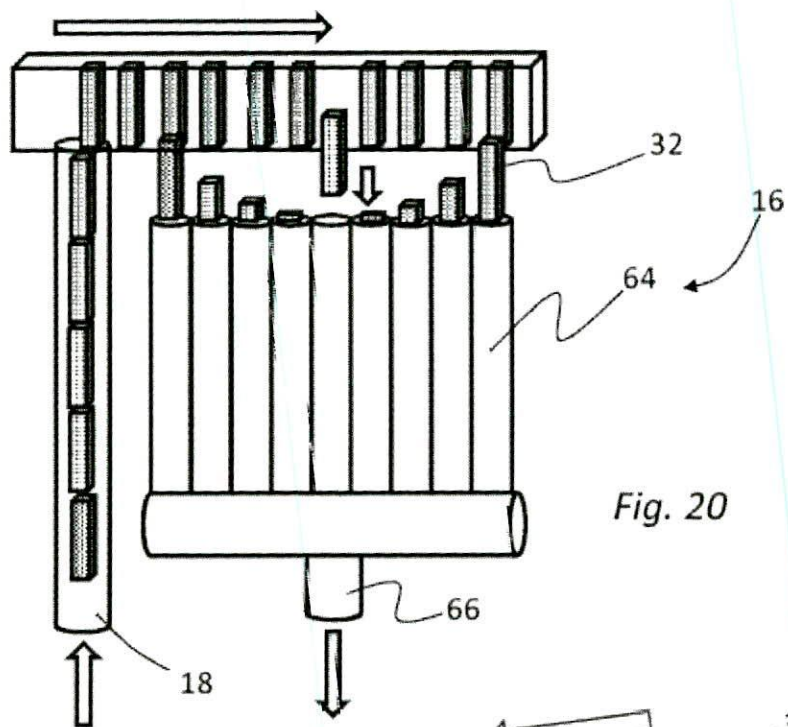


Fig. 20

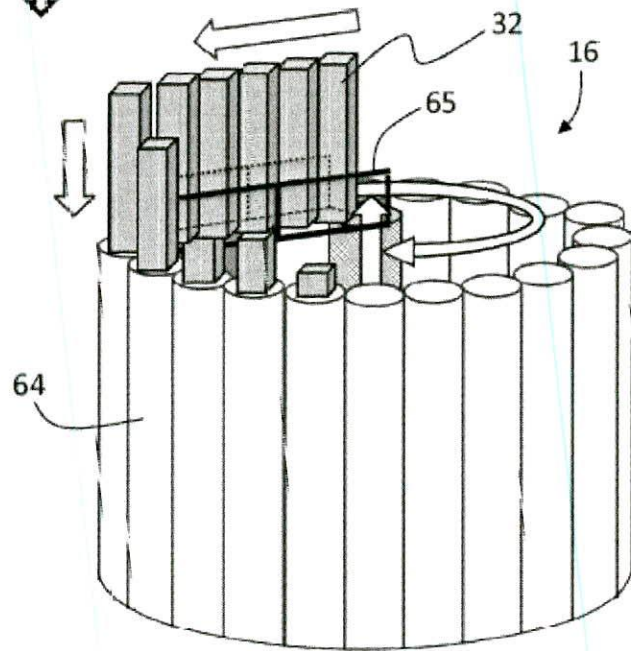


Fig. 21

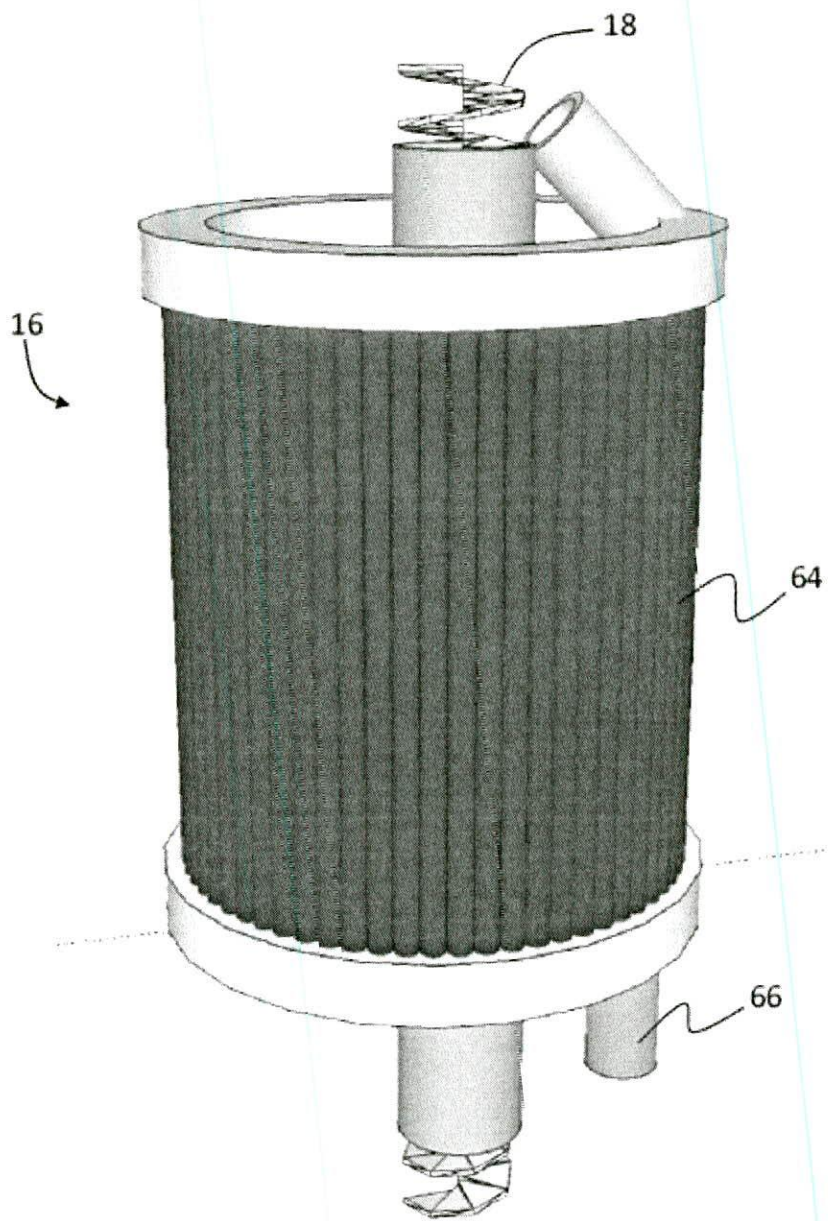


Fig. 22



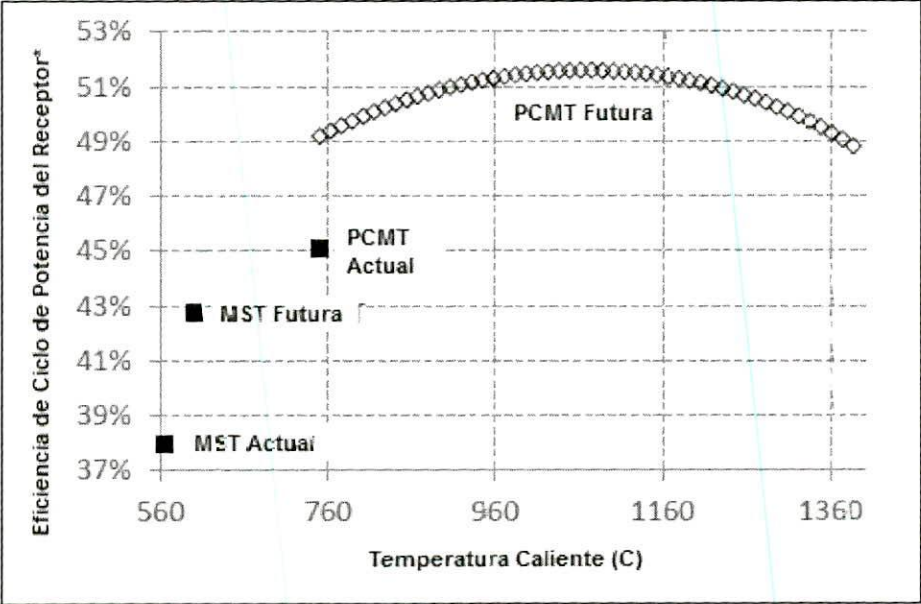


Fig. 23