

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 971 736**

51 Int. Cl.:

F28D 20/00 (2006.01)

F01K 3/12 (2006.01)

F28D 20/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2015 E 22164818 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2023 EP 4036381**

54 Título: **Intercambio térmico y almacenamiento de energía de hormigón y tubos calientes (TXES), incluidas las técnicas de control del gradiente de temperatura Antecedentes de la invención**

30 Prioridad:

21.10.2014 US 201462066773 P

18.09.2015 US 201562220796 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

06.06.2024

73 Titular/es:

**BRIGHT ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES,
LLP (100.0%)
5525 W. 56th Ave., Suite 200
Arvada, CO 80002, US**

72 Inventor/es:

**FRAZIER, SCOTT RAYMOND;
TUEY, JENNIFER FON;
ABARR, MILES L.;
GEELS, BRENDAN R.;
GINTER, KARL y
LAU, ALEX**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 971 736 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Intercambio térmico y almacenamiento de energía de hormigón y tubos calientes (TXES), incluidas las técnicas de control del gradiente de temperatura Antecedentes de la invención

Campo de la invención

- 5 La tecnología ejemplar, ilustrativa, en la presente memoria descriptiva se relaciona con sistemas, software y procedimientos para la gestión de motores de calor - comúnmente usando motores de cambio de fase tipo Rankine, y más en particular, a la gestión de la captura, almacenamiento y utilización del calor. Tal y como se trata en la presente memoria descriptiva, el término ciclo Rankine se refiere a la amplia familia de ciclos en los que el fluido de trabajo se presuriza en estado líquido, quizás a presiones súper o subcríticas y / o quizás utilizando mezclas de fluidos como en las del ciclo Kalina.

Técnica relacionada

- 15 Los sistemas que capturan y reutilizan el calor residual se han descrito ampliamente en la técnica. Generalmente, estos sistemas implican una serie de compromisos de ingeniería para optimizar la eficiencia mediante la optimización de la transferencia de calor desde la fuente de calor a un motor Rankine que convierte la energía térmica transferida en energía mecánica. Normalmente, estas compensaciones se enfocan en la eficiencia del intercambiador de calor y en las características del fluido de trabajo.

La eficiencia del intercambiador de calor es una función de los materiales del intercambiador de calor y del diseño del mismo, mientras que los fluidos de trabajo se optimizan para adaptar la captura del calor y las características de liberación de calor del fluido a la temperatura de trabajo del sistema.

- 20 El almacenamiento de energía efectivo en coste es muy importante. El almacenamiento electroquímico de energía tiene puntos fuertes, pero a menudo tiene problemas de coste, seguridad y vida útil. Los sistemas de energía mecánica, como la energía hidráulica bombeada y el almacenamiento de energía en aire comprimido, proporcionan la gran mayoría de la capacidad de almacenamiento de electricidad a gran escala hoy en día y han demostrado una fiabilidad a largo plazo y un rendimiento aceptable.

- 25 Un sistema de fluido comprimido adecuadamente eficiente y efectivo en coste necesita almacenar la energía de forma efectiva en coste y tener un proceso termodinámico que sea eficiente en ambas direcciones: carga y descarga. Una forma común de intentar esto es que los estados del proceso sean muy similares en cada paso del proceso en cada dirección; es decir, las presiones y temperaturas en cada punto del proceso son muy similares entre el proceso de carga y el proceso de descarga.

- 30 Existen dos amplias categorías de sistemas de almacenamiento de energía mecánica en fluidos comprimidos: 1) las bombas de calor como parte de los sistemas de almacenamiento de energía térmica por bombeo (PTES) y 2) los sistemas de almacenamiento de energía en fluidos comprimidos (CFES), en los que los sistemas de almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES) son un subconjunto ampliamente explorado de este área. La distinción en la presente memoria descriptiva es que el fluido puede no ser aire y puede no ser siempre un gas - puede ser un fluido supercrítico y puede haber partes del proceso en las que el fluido está en fase líquida, o una combinación de fases líquida y gaseosa.

- 35 Los sistemas de PTES generalmente almacenan la energía en una diferencia de energía térmica entre algunas masas. La carga implica el aumento de la cantidad de masa que presenta la diferencia de temperatura (o más rigurosamente, la entalpía), o el aumento de la entalpía de una masa fija (en relación con el entorno), o algo de ambos, y la descarga toma esa energía potencial y la convierte en trabajo mecánico y / o eléctrico.

Un reto clásico al intentar utilizar un fluido distinto del aire en los sistemas de almacenamiento de energía mecánica es que generalmente se requiere el almacenamiento del fluido a baja presión, que a menudo es muy voluminoso, lo que provoca problemas de coste y de empaquetado en el sitio. Además, si los fluidos son químicos, tales como los refrigerantes, hay que tener en cuenta el coste del material y los riesgos y costes de las fugas del sistema.

- 45 La tecnología en la presente memoria descriptiva descrita tiene aplicaciones en las áreas de captura y gestión del calor residual, y la gestión y optimización de los motores térmicos accionados por este calor.

- Se llama la atención al documento US 4 283 914 A que muestra colectores solares que están soportados para que tengan una alineación precisa con el sol a lo largo de todas las horas de luz del día, guiados por un sistema de seguimiento. Los recubrimientos sobre el elemento de captación de calor del colector convierten eficazmente en calor los rayos infrarrojos, ultravioletas y, en cierta medida, los rayos gamma y cósmicos. En un sistema de generación de electricidad, los colectores alimentan un fluido de transferencia de calor a un colector de transferencia de calor en el que las temperaturas del colector y del fluido se monitorizan para controlar el caudal del fluido. El fluido también circula entre el colector y una pluralidad de recipientes de almacenamiento de calor. El calor de los recipientes es eliminado por otro fluido que circula a través de un sistema de generación eléctrica que emplea un motor primario alimentado por el segundo fluido. Durante los periodos de generación continuada, el sistema permite recalentar el segundo fluido en un

único recipiente de almacenamiento de calor a la vez, mientras los colectores regeneran los recipientes de almacenamiento de calor gastados. Además, el documento US 2012 227 926 A1 se refiere a sistemas de almacenamiento de energía. El documento EP 1 715 257 A2 desvela un aparato de almacenamiento térmico que incluye paneles de almacenamiento térmico con barras de sección que tienen pasajes de fluido primario formados en los mismos y una pluralidad de protuberancias. Las placas de paso con pasajes de fluido secundario formados en ellas están adheridas a las protuberancias. Los depósitos térmicos que contienen un medio de almacenamiento térmico se adhieren a los paneles de almacenamiento térmico entre los salientes y contra las placas de paso. Pueden formarse películas protectoras contra la corrosión en las superficies externas de las barras de sección para evitar el deterioro del medio de almacenamiento térmico o de las placas de paso. En la operación, un fluido primario de alta temperatura que fluye a través de los conductos de fluido primario transfiere calor a los depósitos de calor y al medio de almacenamiento térmico, que transfieren calor a un fluido secundario de baja temperatura que fluye a través de los conductos de fluido secundario. El documento US 2011/286724 A1 desvela un módulo térmico incluyendo un retenedor térmico que tiene un tubo de acondicionamiento y un tubo de fluido utilizable que se extiende a través de las aberturas respectivas en el retenedor térmico para transferir el acondicionamiento respectivo y los líquidos utilizables a través del retenedor térmico. Las tuberías de fluido acondicionador y utilizable están adaptadas para conducir energía térmica entre el retenedor térmico y el fluido que viaja a través de las tuberías. Además, el documento WO 99/19683 A1 desvela un intercambiador térmico que incluye módulos de núcleo con una serie de orificios pasantes y una serie de aletas que revisten la serie de orificios pasantes y forman conductos de flujo de aire interiores y exteriores y conductos de flujo de aire cruzados interiores y exteriores. El intercambiador térmico también incluye primeros y segundos orificios transversales situados en lados opuestos del mismo para permitir el flujo de fluido entre un extremo de entrada y un extremo de salida. Además, el documento US 2009/260781 A1 desvela un intercambiador térmico de cambio de fase (PCHEX) que incluye una pluralidad de conductos de fluido de "contraflujo", que están situados en una carcasa cerrada y a través de los cuales fluyen respectivamente un fluido refrigerante y un fluido refrigerante. El resto del volumen interno del PCHEX externo a las paredes de los conductos de fluido incluye una matriz de espuma expandida junto con materiales de cambio de fase (PCM). En la operación, el fluido refrigerante calentado fluye a través de un conjunto de la pluralidad de conductos de fluido en una primera dirección, lo que hace que el calor se transfiera desde el fluido refrigerante al PCM y luego desde el PCM al fluido refrigerante enfriado que fluye a través de un segundo conjunto de la pluralidad de conductos de fluido en una segunda dirección opuesta a la primera. Más en particular, se describen los sistemas de almacenamiento de energía térmica y el uso de material almacenable de energía, tales como el material de cambio de fase, en la provisión de sistemas de calentamiento y / o refrigeración, por ejemplo, en viviendas domésticas.

Sumario de la invención

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un elemento de intercambio y almacenamiento térmico (elemento TXES) y una disposición de captura, almacenamiento e intercambio térmico como se establece en las reivindicaciones 1 y 15. En las reivindicaciones dependientes se describen, entre otras cosas, otras realizaciones adicionales.

De acuerdo con un aspecto de la invención, un elemento de intercambio y almacenamiento térmico, abreviado TXES, comprende un sustrato de material de matriz, uno o más conductos de humos de combustión formados en el sustrato de material de matriz para proporcionar un flujo de un fluido fuente calentado a través del elemento TXES, el fluido fuente calentado proporcionado desde una fuente de calor, y uno o más tubos de fluido de trabajo incrustados en el sustrato de material de matriz separados del uno o más conductos de humos para proporcionar un flujo de un fluido de trabajo a través del elemento TXES. La transferencia de energía térmica entre el fluido fuente calentado y el fluido de trabajo se produce a través del sustrato de material de matriz, y uno o más conductos de humos de combustión se funden en el sustrato de material de matriz y una superficie interior de cada uno de los uno o más conductos de humos de combustión comprende un material resistente a la corrosión. El material resistente a la corrosión está en contacto directo con el sustrato de material de matriz y el fluido fuente calentado, y múltiples de los elementos TXES) pueden apilarse en paralelo y/o colocarse en serie.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, una disposición de captura, almacenamiento e intercambio térmico, comprende: al menos una matriz modular de intercambio y almacenamiento térmico (TXES), comprendiendo cada una de las al menos una matriz TXES modular uno o más elementos TXES del tipo anterior, y uno o más motores térmicos operables con la al menos una matriz TXES para extraer calor de la al menos una matriz TXES y convertirlo en energía mecánica, proporcionado los uno o más motores térmicos que proporcionan el fluido de trabajo a la al menos una matriz TXES modular.

Breve descripción de los dibujos

Las características de la presente invención se entenderán mejor a partir de una descripción detallada de la invención y de las realizaciones ejemplares de la misma seleccionadas con fines ilustrativos y mostradas en los dibujos que se acompañan.

La figura 1 ilustra el uso de un TXES en una disposición de escape de calor residual existente.

La figura 2 ilustra un ejemplo de sistema de la invención.

La figura 3 ilustra los componentes del controlador de procesos basado en ordenador que es utilizado por el sistema.

La figura 4 ilustra un ejemplo de bucle de fluido de trabajo dentro de un conjunto de elementos de intercambio térmico y almacenamiento de energía (TXES).

5 Las figuras 5a, 5b y 5c ilustran varias configuraciones de elementos de TXES con una pluralidad de conductos de humos de combustión y tubos de fluido de proceso integrados.

La figura 6 ilustra un ejemplo de elemento de TXES festoneado, con canales de combustión de gases moldeados.

La figura 7 ilustra una disposición de elementos de TXES festoneados.

10 Las figuras 8, 9, 10 y 11 ilustran diferentes disposiciones de tubos de fluido de trabajo helicoidales dentro de los elementos de TXES.

La figura 12 incluye ejemplos de curvas de calentamiento de un elemento de TXES en sus diferentes estados.

Descripción de realizaciones preferidas de la invención

Vista general

15 El sistema de la invención y los procedimientos de funcionamiento proporcionan un sistema configurable de captura, almacenamiento e intercambio de calor que puede funcionar a un alto nivel de rendimiento en una variedad de condiciones de funcionamiento. Este sistema se denomina TXES, sistema de Intercambio Térmico y Almacenamiento de Energía. A diferencia de los sistemas tradicionales de intercambio y almacenamiento de calor, el sistema descrito
20 puede funcionar de forma eficaz y fiable con una gran variedad de fuentes de calor, fluidos de trabajo y regímenes de presión, puede ser montado fácilmente en módulos, es flexible en su configuración, y al mismo tiempo es muy efectivo en coste. Puede ser utilizado para intercambiar energía térmica simultáneamente con múltiples corrientes de fluido de diferentes composiciones o características. Puede ser utilizado para intercambiar energía térmica simultáneamente con múltiples corrientes de fluido de diferentes composiciones o características.

25 En una realización, el sistema puede operar como parte del escape de calor de un horno industrial, planta de energía u otra fuente de calor industrial para capturar el calor residual y recuperarlo para otros usos, incluyendo la producción de energía. La eficacia de la captación y la transferencia de calor es una función de la transferencia de calor desde la fuente de calor (por ejemplo, los gases de escape) a un fluido de trabajo en el que se puede aprovechar el calor mediante procesos bien conocidos, como los motores de ciclo Rankine. En los casos en los que todo el calor de la fuente de calor no pueda transferirse eficazmente al fluido de trabajo, o en los que la fuente de calor no tiene suficiente
30 calor residual para calentar eficazmente el fluido de trabajo a una temperatura económicamente viable, se pierde eficiencia o se deben utilizar mecanismos alternativos de captura y almacenamiento. Se describe un sistema modular de captura, almacenamiento y extracción que puede capturar el calor de la fuente de calor a través de un amplio rango de temperaturas y a continuación hace que ese calor esté disponible para un fluido de trabajo adecuado.

35 Un enfoque consiste en crear una disposición de calor en contracorriente, en la que un elemento de TXES se calienta mediante fluido caliente (o gas) que fluye hacia el extremo "caliente" del elemento de TXES, transfiriendo el calor al elemento de TXES, y el fluido caliente agotado sale del elemento de TXES por el extremo "frío". El fluido de trabajo se mueve en dirección opuesta, entrando en el elemento de TXES por el extremo "frío", absorbiendo la energía térmica del conjunto del elemento de TXES, y saliendo del elemento por el extremo "caliente". Esto hace más pronunciado al gradiente térmico. El gradiente térmico es la zona en la que la mayor parte del calor entrante se extrae y se transfiere
40 a un fluido de trabajo en una distancia lineal bastante corta. El extremo de entrada (por ejemplo, "caliente") se mantiene a una temperatura muy cercana a la temperatura de entrada de la fuente de calor, y el extremo "frío" se mantiene cerca de la temperatura del fluido de trabajo de entrada. Esta disposición puede proporcionar una transferencia de calor óptima desde la fuente de calor al fluido de trabajo por medio de la matriz de elementos de TXES.

45 Un conjunto de TXES también puede ser utilizado en una operación de flujo paralelo. Por ejemplo, el conjunto de TXES puede ser calentado en paralelo por un fluido de trabajo con bomba de calor y un fluido de calor residual, o alternativamente calentar dos fluidos en paralelo utilizando el calor almacenado en el TXES.

50 Para la eficiencia general del proceso, es deseable que el medio de almacenamiento térmico pueda devolver el calor al proceso de descarga con una pérdida mínima de entropía en un rango de niveles de entrada de calor posiblemente fluctuantes (por ejemplo, de flujos de masa, temperaturas y caudales de condensación variables). Los intercambiadores de calor en contracorriente tradicionales proporcionan una transferencia inmediata de calor del fluido fuente al fluido de trabajo, por lo que sólo son eficaces cuando la fuente de calor está presente y el fluido de trabajo fluye, y son más eficaces cuando los flujos térmicos se igualan constantemente en tiempo real. Por lo tanto, el gradiente térmico es inestable y cambia inmediatamente cuando cambian las características de la fuente de calor o de los fluidos de trabajo (por ejemplo, fluidos de entrada o de trabajo más calientes o más fríos, cambios en los caudales). Esto da
55 lugar a desafíos de diseño de ingeniería en la adecuación de la fuente de calor con el motor térmico, así como a

desafíos operativos en el funcionamiento de arranque y parada, uno de los principales desafíos para las centrales térmicas de tipo Rankine. Los conjuntos de TXES y los elementos de TXES pueden configurarse para capturar y almacenar el calor que normalmente pasaría sin ser capturado en un intercambiador de calor tradicional (por ejemplo, si el fluido de trabajo no puede absorber tanto calor como el que contiene la entrada). El elemento de TXES almacena el exceso de calor del fluido de entrada, en efecto, cargando el elemento de TXES con energía térmica. La carga del elemento de TXES desplaza la ubicación del gradiente de temperatura dentro del elemento de TXES. Al controlar la fuente de calor y los flujos de fluido de trabajo (por ejemplo, el calor añadido al elemento de TXES y la cantidad de calor rechazado en el fluido de trabajo pueden variarse bajo el control del proceso), se puede gestionar la ubicación y la forma del gradiente de temperatura dentro de un elemento de TXES.

Un conjunto de TXES opera a través de los diferentes rangos de temperatura de la(s) fuente(s) de calor (ya sea que estas fuentes provengan de gases de escape, fuentes de calor líquido como en la extracción de calor geotérmico o industrial, u otras fuentes de calor o de fluido comprimido de un proceso de carga por compresión) para capturar, almacenar y rechazar el calor de acuerdo con lo que sea necesario. El conjunto de TXES permite realizar transferencias de calor de varias etapas en sistemas de motores térmicos de temperatura optimizada. También permite separar el caudal de intercambio de calor con la fuente de calor y el calor requerido por un motor térmico. Esta flexibilidad permite capturar y transferir con mayor eficacia la energía térmica de la fuente de calor a uno o varios fluidos de trabajo. En este sistema, en una primera implementación ejemplar, el proceso de descarga es esencialmente un ciclo Rankine, en el que el fluido se presuriza en estado líquido (manteniendo la energía de presurización relativamente baja) y a continuación se calienta, a continuación se vaporiza y a continuación se sobrecalienta. A continuación, se expande para extraer energía mecánica y a continuación se condensa de nuevo a un líquido para poder ser presurizado de nuevo. El calor latente de vaporización es un porcentaje importante del aporte de calor que puede recuperarse del sistema. Cuanto más caliente es la temperatura, mayor es el trabajo neto con respecto a la penalización por calor latente que se requiere para vaporizar el fluido.

El sistema descrito proporciona la captura y el almacenamiento de calor residual en una amplia gama de rangos de entrada de calor, y proporciona una función de alisado para las fuentes de calor de intensidad variable. El calor extraído del sistema puede estar retrasado temporalmente con respecto al calor de la fuente de calor de entrada.

La capacidad de integrar el proceso de captura de calor residual con un sistema de almacenamiento de energía eléctrica (que utiliza la electricidad para la fuente de energía cuando se carga) para crear un ciclo de fondo híbrido y un sistema de almacenamiento de electricidad proporciona una eficiencia superior.

Un activo valioso en cualquier intercambiador de calor es un mejor coste por área superficial. En un tubo de un recipiente a presión, el grosor de la pared del tubo es establecido por la presión, la resistencia del material, los factores de seguridad y el diámetro del tubo. El coste del material del tubo por unidad de superficie es proporcional al grosor de la pared. De esta manera, se consigue menos material por unidad de superficie con tubos de menor diámetro. El reto pragmático es el coste de conectar muchos más tubos pequeños unos a los otros; el montaje de un colector frente a los menores costes de mano de obra y de unión de los tubos de mayor diámetro que tienen más coste de material. El uso de longitudes de tubo muy largas, permitido por la formación helicoidal de los tubos como se utiliza en algunas realizaciones, permite utilizar menos tubos discretos para obtener la misma superficie sin el uso de aletas u otras características difíciles de fabricar. La disposición helicoidal también permite una dispersión más uniforme del área de intercambio de calor en el elemento de TXES.

Estos y otros aspectos y ventajas se harán evidentes cuando la Descripción que sigue se lea en conjunto con los dibujos que la acompañan.

Arquitectura ejemplar del sistema

La figura 1 ilustra una implementación ejemplar de los conjuntos de TXES en un sistema de escape. En funcionamiento, el sistema de escape transporta los gases de escape calientes desde una fuente de calor, a través de un chimenea de escape (110), a través de uno o más conjuntos de TXES (125a / b) antes de expulsar los gases de escape ahora enfriados a un chimenea de escape (120). Se hace notar que la chimenea de escape en este ejemplo es ilustrativa para una disposición basada en los gases de escape. Los sistemas de tratamiento de los gases de escape y de los condensados (no mostrados) también pueden integrarse en el conjunto de TXES, o como una disposición de pre o postprocesamiento, de acuerdo con como sea necesario, para tratar los gases de escape con el fin de eliminar contaminantes tal como el azufre o los óxidos nitrosos. Pueden añadirse otras disposiciones para las fuentes de calor que comprenden fluidos que contienen calor (por ejemplo, fuentes de calor con entradas de fluidos líquidos, bifásicos o supercríticos a diferencia de las entradas gaseosas), o para el procesamiento posterior o previo de los gases de escape, sin desviarse del alcance de la invención.

Los conjuntos de TXES (125) pueden ser instalados de forma que faciliten la recogida del condensado que se forma durante la transferencia de calor de los gases de escape a los elementos de TXES que componen un conjunto de TXES. Uno de los procedimientos consiste en inclinar los elementos de TXES para que el condensado drene hacia un punto de recogida, en el que se recoge y puede ser procesado posteriormente. Hay que tener en cuenta que el condensado suele estar todavía caliente (por ejemplo, 70°C) y puede pasar por elementos adicionales de TXES (ya

sea dentro del mismo conjunto de TXES o en uno o más conjuntos de TXES adicionales) que están optimizados para extraer los niveles más bajos de calor que quedan en el condensado.

La figura 2 ilustra una implementación de la invención para capturar calor de entradas gaseosas. Esta implementación ejemplar comprende una fuente de calor de combustión (200), una o más chimeneas de escape (una chimenea de escape se muestra como 110, otras se omiten para mayor claridad) que transfiere los gases de escape calientes desde una fuente de calor a uno o más conjuntos de elementos de almacenamiento / intercambio de calor (denominados conjuntos de TXES y elementos de TXES respectivamente) (por ejemplo, 125a, 125b). Las chimeneas de escape pueden estar equipadas con una o más compuertas del sistema de escape (270a, 270b), opcionalmente controladas por el controlador de proceso, que controlan el flujo de gases de escape calientes procedentes de la fuente de calor hacia uno o más conjuntos de TXES (125a, 125b) especificados por el controlador de proceso, y los conjuntos de TXES están dispuestos de manera que los gases calientes fluyen desde la fuente de calor a través de al menos uno de los conjuntos de TXES seleccionado antes de ser expulsados a la chimenea de escape (120). En algunas implementaciones en las que los gases de escape pueden variar de temperatura, los conjuntos de TXES pueden estar dispuestos en serie, de manera que un primer conjunto de TXES recibe los gases de escape más calientes y un segundo conjunto de TXES recibe los gases de escape de menor temperatura. Esto permite capturar y reutilizar la energía térmica adicional de los gases de escape haciendo coincidir la temperatura de los gases de escape con al menos un elemento de TXES (y un motor térmico de conversión de trabajo de soporte) que está optimizado para capturar, almacenar y reutilizar la energía térmica a la temperatura de la corriente de los gases de escape.

Las compuertas controladas por ordenador o manualmente (270a, 270b) pueden ser utilizadas para controlar los flujos de gas de entrada desde la fuente de calor a uno o más conjuntos de TXES seleccionados mediante la apertura y el cierre de las compuertas. El ordenador de control del proceso (240) controla las compuertas de escape (270a, 270b) cuando el sistema funciona bajo control del proceso, tal como cuando las temperaturas de los gases de escape varían constantemente y se requiere una optimización en tiempo real del proceso de intercambio y reutilización de calor. Los ajustes manuales de la compuerta pueden utilizarse para sistemas con temperaturas y presiones de los gases de escape más constantes. Alternativamente, se puede utilizar una combinación de ambas técnicas de control de la compuerta.

Las compuertas pueden utilizarse para aislar un conjunto de TXES del flujo de gases de escape. Esto puede hacerse por diversas razones, por ejemplo, el conjunto de TXES ha alcanzado una temperatura de funcionamiento deseada y el calor puede utilizarse de forma más eficaz en otro conjunto de TXES, porque los gases de escape están a una temperatura a la que un conjunto de TXES específico no extrae de forma óptima el calor de los gases de escape, o para desconectar un conjunto de TXES (por ejemplo, para su mantenimiento).

En algunas realizaciones y durante algunas condiciones operativas, se puede utilizar una chimenea de derivación para dirigir los gases de escape calientes de manera que el sistema no capte calor. El uso de la chimenea de derivación se controla mediante una compuerta / válvula adicional (270b). En algunas realizaciones, la compuerta de la chimenea de derivación puede estar configurada para "abrirse en caso de fallo", con el fin de garantizar el funcionamiento seguro del sistema de escape en caso de que uno o varios conjuntos de TXES no funcionen correctamente (por ejemplo, durante un fallo de los subsistemas de extracción de calor).

La chimenea de escape, la chimenea y los conjuntos de TXES están preferiblemente instrumentados con sensores, por ejemplo, sensores de temperatura y presión que miden la temperatura y la presión de la chimenea de escape, de la chimenea y de los conjuntos de TXES, los fluidos de proceso y los elementos individuales de TXES (por ejemplo, 230a, 230b, 231a, 231b). Cada uno de los sensores de temperatura y presión está conectado al controlador de proceso (mediante un mecanismo apropiado para el sensor, normalmente eléctrico) con el fin de proporcionar entradas a los algoritmos de control proporcionados por el controlador de proceso que gestionan la extracción, el almacenamiento y la reutilización del calor dentro de los conjuntos de TXES.

El elemento o elementos de TXES están además conectados de forma fluida (con tuberías de fluido de trabajo 260a, 260b) a uno o más subsistemas de motores térmicos (por ejemplo, 250a, 250b), en los que el fluido de trabajo para cada motor térmico circula a través de uno o más de los elementos de TXES de al menos uno de los conjuntos de TXES. Los elementos de TXES pueden ser "calientes" o "fríos". Un elemento de TXES caliente es un TXES que es calentado por una entrada (tal como los gases de escape), a continuación retiene el calor y lo transfiere a un fluido de proceso de trabajo. Un elemento de TXES frío es aquel que es enfriado por una entrada, retiene la reducción en calor y absorbe el calor de un fluido de proceso de trabajo. Un conjunto de TXES puede comprender sólo elementos de TXES calientes (en diversos grados), sólo elementos de TXES fríos (en diversos grados), o una combinación de elementos de TXES calientes y fríos.

El trayecto de flujo del fluido de trabajo para cada motor térmico puede ser diferente (por ejemplo, diferentes fluidos de trabajo del motor térmico pueden fluir a través de diferentes elementos de TXES). En implementaciones más limitadas, porciones del trayecto de flujo pueden ser preconfiguradas y / o configuradas usando válvulas controladas manualmente, o alternativamente, las válvulas pueden ser omitidas y esa porción de trayecto de flujo es implementada estáticamente. Cada trayecto de flujo del fluido de trabajo está configurado utilizando valores controlados por el controlador de proceso para que el fluido de trabajo pase a través de al menos un elemento de un conjunto de TXES, en el que se produce la transferencia de calor entre el fluido de trabajo y el elemento de TXES (ya sea calentando o

enfriando el fluido de trabajo). En algunos modos de funcionamiento, el fluido de trabajo calentado se hace circular a través de una turbina y un condensador para convertir el calor en trabajo de eje en un ciclo Rankine tradicional, o el fluido de trabajo calentado se dirige a un tanque de almacenamiento externo (no mostrado). En todavía otros modos de funcionamiento, una parte del fluido de trabajo pasa por los elementos de TXES y otra parte del fluido es derivada de los elementos de TXES y se recombina con el fluido calentado en los elementos de TXES para producir temperaturas específicas del fluido de trabajo resultante. Las válvulas controladas por el procesador establecen de esta manera los trayectos del fluido del motor térmico a través de uno o más conjuntos de TXES y / o elementos de TXES. Esto permite una extracción más eficaz del calor almacenado de los elementos de TXES mediante el control del flujo de un fluido de trabajo a través de elementos de TXES seleccionados cuya temperatura corresponde al rango de funcionamiento eficaz de un motor térmico concreto. De este modo, el motor térmico / fluido de proceso utilizado y los trayectos de calor / flujo a través de los elementos de TXES pueden ajustarse dinámicamente a los elementos de TXES a medida que cambian de temperatura (a medida que se calientan y se extrae el calor de ellos).

En otros modos de funcionamiento, se hace circular un fluido de trabajo que ha sido calentado previamente (tal como por un elemento de TXES diferente, o desde un almacenamiento de fluido de trabajo externo) y se utiliza para transferir calor a un elemento de TXES con fines de distribución de calor o de precalentamiento de un elemento de TXES (por ejemplo, para reducir la tensión térmica en el elemento cuando se expone a gases de escape de mayor temperatura). Este flujo de calentamiento puede ser a contracorriente del flujo de gases de escape o puede realizarse en la misma dirección a través de los elementos de TXES que el flujo de gases de escape (por ejemplo, flujo paralelo). Se puede proporcionar una válvula de inversión de flujo para invertir la dirección del flujo de fluido de trabajo a través de uno o más elementos de TXES. Este valor puede ser parte de los motores térmicos unidos, o puede estar integrado en un conjunto de TXES.

En algunas realizaciones, al menos una de las válvulas que controlan el flujo del fluido de proceso puede ser operada manualmente. Esta disposición es especialmente adecuada cuando el conjunto de TXES se implementa en una disposición en la que la cantidad de calor extraído de los gases de escape se corresponde aproximadamente a la cantidad de calor extraído del conjunto de TXES, y en la que el sistema funciona en equilibrio térmico (la entrada de calor coincide con la salida de calor en un momento determinado).

Cada subsistema del motor térmico puede operar en diferentes rangos de temperatura, y puede ser optimizado para operar dentro de rangos de temperatura específicos usando el mismo o diferentes fluidos de proceso. Se contemplan varios tipos de subsistemas de motores térmicos.

Un tipo de motor o proceso de bomba de calor importante es el proceso Rankine. Los motores térmicos de este tipo funcionan mediante la presurización del fluido de trabajo en fase líquida, lo que supone una baja energía de trabajo de presurización, pero un alto aporte de calor necesario para que el fluido de trabajo entre en ebullición. Estos sistemas suelen tener presiones de trabajo bastante elevadas y el proceso de adición de calor debe adaptarse a estas presiones del fluido de trabajo. Los sistemas convencionales de calentamiento de fluidos de motores Rankine suelen utilizar intercambiadores de calor que separan el fluido de trabajo de alta presión, de un suministro de calor que fluye, a menudo los gases de combustión. Las principales características de diseño de los sistemas de calentamiento Rankine son la rentabilidad cuando se trata de un fluido de trabajo de presión bastante alta y los índices de transferencia de calor por convección desde la fuente de calor, que suelen ser bajos.

Se hace notar que hay una variedad de ciclos de motores que suelen ser similares pero que tienen, por ejemplo, una presión de fluido supercrítica, y por lo tanto no sufren técnicamente un cambio de fase en la parte de alta presión del sistema. Del mismo modo, las mezclas de fluidos tienen procesos de ebullición que varían en función de la temperatura. El término Rankine o similar a Rankine se refiere, tal y como se utiliza en la presente memoria descriptiva, a la amplia categoría de motores térmicos / bombas de calor en los que hay un cambio de fase en el extremo frío del proceso y a los sistemas de motores en los que la presurización se produce en fase líquida. Otro de los principales procesos de los motores térmicos o bombas de calor es el ciclo Brayton, que funciona completamente en fase gaseosa. Puesto que la presurización del fluido se realiza en fase gaseosa, se necesita mucho trabajo de presurización, pero la falta de cambio de fase en el proceso reduce la cantidad de calor añadido por unidad de fluido de trabajo frente a un proceso Rankine. Por ejemplo, en un sistema Brayton de almacenamiento térmico en frío se comprime un gas de fluido de trabajo, se elimina el recalentamiento en un elemento de TXES caliente haciendo pasar el gas a través de un elemento de TXES, permitiendo que el gas frío de alta presión se expanda a un estado frío. Este gas de fluido de trabajo frío se calienta entonces con un elemento de TXES frío, enfriando el elemento de TXES (produciendo un elemento de TXES frío). El proceso de carga se invierte en un proceso por el cual un compresor arrastra un gas fluido de trabajo a través del elemento de TXES frío (enfriando el fluido de trabajo y calentando el elemento de TXES) y a continuación comprime el fluido de trabajo ahora calentado (creando un gas de alta presión). El fluido de trabajo calentado se hace pasar por un elemento de TXES caliente para crear un fluido de trabajo gaseoso caliente. El fluido de trabajo caliente se expande de nuevo hasta cerca de su temperatura inicial mientras produce trabajo en el eje.

Un beneficio clave de un elemento de TXES sobre un enfoque de almacenamiento de calor basado en recipientes (por ejemplo, tanques de roca) es que en un enfoque basado en recipientes, el recipiente de presión está envolviendo toda la masa térmica, mientras que el elemento de TXES requiere mucho menos material estructural para el volumen presurizado ya que el medio de almacenamiento térmico está fuera del recipiente de presión.

Las amplias ventajas de un diseño de TXES (por ejemplo, el almacenamiento de energía, la selectividad térmica y el alisado de la potencia) proporcionan valor a una variedad de motores de ciclo térmico. Por ejemplo, en un sistema con dos subsistemas de motor Rankine, el primer subsistema de motor Rankine puede estar configurado para operar más eficientemente a temperaturas comprendidas entre la temperatura ambiente y los 150 grados C, y el segundo subsistema de motor Rankine puede estar configurado para operar más eficientemente a temperaturas superiores a los 150 grados C. En algunas realizaciones, se puede utilizar una pluralidad de fluidos de trabajo diferentes, cada uno como parte de un subsistema de motor Rankine separado. Los fluidos de trabajo y las características del motor térmico se eligen en función de sus características operativas (por ejemplo, el calor de vaporización, el calor específico en relación con la temperatura y la presión, los límites máximos de temperatura, los caudales disponibles) frente a las temperaturas de la fuente de calor. Esto permite una amplia gama de rendimiento óptimo a través de los niveles de potencia y las temperaturas de la fuente de calor.

Alternativamente, se pueden proporcionar en paralelo varios subsistemas de motores térmicos que compartan parámetros de funcionamiento comunes para aumentar la extracción de calor y la capacidad del eje del sistema. Estos sistemas pueden estar interconectados o funcionar de forma independiente.

De este modo, la selección de los procesos del motor térmico, los fluidos de proceso, las presiones de funcionamiento y las configuraciones de la turbina / condensador para cada subsistema del motor térmico pueden configurarse de forma independiente y la información relacionada con estos parámetros de configuración (temperaturas críticas del fluido de proceso, caudales de trabajo, caudales de los tubos del fluido de proceso y tasas de intercambio de calor, parámetros de control para las bombas y capacidades de almacenamiento, etc.) se almacena en el controlador de proceso.

El sistema de la invención incluye sensores de temperatura y presión controlados por el controlador de proceso, integrados dentro y / o montados en los elementos de TXES (por ejemplo, 230a, 230b arriba) y en la tubería de fluido del motor de proceso (260a, 260b), así como compuertas y / o válvulas controladas por el controlador de proceso (por ejemplo, 270a, 270b, y válvulas dentro de un conjunto de TXES) eficaces para dirigir los flujos de fluido de trabajo hacia / desde uno o más elementos de TXES, bombas, uno o más motores térmicos, y uno o más almacenes fríos (no mostrados). Los sensores y las válvulas están conectados al controlador de proceso y son controlados por éste.

El controlador de proceso también está programado con las características de cada elemento de TXES y del conjunto de TXES al que está conectado, así como con la información de interconexión de sensores, válvulas y tuberías. Utilizando esta información, junto con las temperaturas actuales de los elementos de TXES (en una base de elemento por elemento) y las temperaturas de entrada, el controlador de proceso puede seleccionar, basándose en el perfil de temperatura actual de cada elemento de TXES individual, el subsistema o subsistemas de motor térmico más apropiados a utilizar para extraer el calor de cada elemento de TXES del conjunto de TXES. La selección de los subsistemas de motores térmicos a utilizar puede no ser exclusiva; una pluralidad de motores térmicos, cada uno de ellos optimizado para funcionar con diferentes temperaturas, presiones y / o fluidos de trabajo, puede conectarse a un único conjunto de TXES.

En algunas realizaciones, se utiliza una pluralidad de conjuntos de TXES. Esta pluralidad de conjuntos de TXES están conectados fluidamente mediante tuberías y válvulas y colectores controlados por el controlador de proceso que permiten la configuración del flujo de estos gases de escape y del fluido del proceso a través de uno o más elementos de TXES (en cada conjunto de TXES) con el fin de gestionar la cantidad de calor almacenado en cada uno de los elementos de TXES. En un ejemplo, los gases de escape se dirigen preferentemente a los elementos de TXES que requieren calentamiento adicional, en virtud del controlador de proceso que controla una o más válvulas / compuertas de escape para dirigir los gases de escape calientes a los elementos de TXES seleccionados. En los casos en que la fuente de calor se proporciona como un fluido caliente, el fluido caliente se dirige, por medio del controlador de proceso que controla una o más válvulas y bombas, a uno o más elementos de TXES que requieren calentamiento adicional.

El ordenador de control del proceso utiliza de esta manera las compuertas, las válvulas, los sensores y los controles de la bomba del motor térmico para el calentamiento / extracción de calor de los conjuntos de TXES (y de cada elemento de un conjunto de TXES) con el fin de optimizar la extracción de calor, el almacenamiento y el uso de la energía térmica disponible.

Se debe hacer notar que el sistema de la presente invención, aunque se ha descrito para los gases de escape calentados, funcionaría igualmente bien para la extracción / almacenamiento de calor residual procedente de fuentes de líquido caliente o de fase mixta con una modificación mínima en formas que serán comprendidas por los expertos en la técnica. La principal diferencia es que las propiedades de los fluidos son diferentes, ya que el líquido tiene densidades mucho más altas y, por tanto, el calor por unidad de volumen y los coeficientes de transferencia de calor por convección más altos varían en función de los fluidos elegidos. En consecuencia, los pasajes de la tubería pueden ser de diferentes materiales, tamaños y / o grosores de pared con el fin de soportar diferentes fluidos, presiones y temperaturas. Estas consideraciones se pueden tener en cuenta en el diseño del tubo de humos y de los tubos del fluido de trabajo del elemento de TXES, y en el posterior empaquetamiento de los conductos de humos de combustión y de los tubos que tienen diferentes características térmicas en un elemento de TXES.

- Un ejemplo interesante es un proceso en el que un proceso de vapor Rankine rechaza su calor como adición de calor a un proceso de amoníaco Rankine que funciona entre el proceso de condensación de vapor y la temperatura ambiente. Un diseño de elemento de TXES podría tener características que optimicen el calentamiento de los gases de escape en el proceso de vapor y otro elemento de TXES (y / o conjunto(s) de TXES) podría estar optimizado para condensar el vapor como fuente de calor (el calor que se transfiere al amoníaco en ebullición y sobrecalentamiento).
- La presente invención también podría ser utilizada para el almacenamiento térmico "en frío" que almacena el "frío" para su posterior uso. En esta variante, el proceso de carga calienta un fluido fuente frío mediante la transferencia de energía térmica desde un elemento de TXES previamente calentado. El proceso de descarga enfría el fluido de trabajo mientras calienta el elemento de TXES.
- Un proceso ejemplar es el uso de una disposición de TXES como parte de un aparato de regasificación de gas natural licuado (GNL). En esta realización ejemplar, el GNL pasa a través de los tubos (o a través de un tubo de proceso) de un conjunto de TXES, enfriando el o los elementos de TXES y calentando el GNL hasta que cambia a estado gaseoso. El gas natural gaseoso es el resultado del proceso. Se puede utilizar un proceso similar al de Rankine para invertir el proceso. En este ejemplo, el motor Rankine utiliza metano, que se presuriza en estado líquido y a continuación se hierve y se sobrecalienta, quizás mediante un intercambiador de calor que enfría el aire ambiente al calentar el metano, y este gas presurizado puede expandirse y a continuación el metano frío de baja presión se condensa por el "frío" almacenado en el elemento de TXES. Esto proporciona el metano líquido que a continuación puede ser presurizado para continuar el proceso.
- En otra implementación alternativa, los gases calientes pueden fluir a través de los conductos de humos de combustión y el GNL fluye a través de los tubos de fluido de trabajo para lograr los mismos efectos sin desviarse del alcance de la invención.
- Se hace notar que el calentamiento del GNL y los flujos de calor del fluido de proceso no necesitan estar equilibrados como en los intercambiadores de calor actuales, ni tienen que ocurrir al mismo tiempo (por ejemplo, los flujos de calor pueden estar desplazados temporalmente, como durante el inicio / parada de los flujos de GNL o de fluido de proceso). Por ejemplo, el GNL puede ser gasificado continuamente en ausencia de generación de energía, o la energía puede ser generada por el proceso tipo Rankine en ausencia de la gasificación del GNL utilizando la capacidad de almacenamiento de los elementos de TXES. Los elementos de TXES proporcionan la capacidad de almacenamiento necesaria que soporta el desequilibrio de oferta / demanda de calor y el desplazamiento temporal de los procesos de intercambio de calor.
- Otro proceso ejemplar soportado por los sistemas de TXES es la licuación del aire. La licuefacción del aire convierte el aire atmosférico gaseoso en aire licuado (o sus componentes, oxígeno licuado, nitrógeno, etc.) haciéndolo pasar por uno o varios elementos de TXES preenfriados a la temperatura adecuada para licuar el elemento deseado. Se pueden utilizar diferentes elementos de TXES, preenfriados a diferentes temperaturas, para gestionar el elemento licuado producido. La extracción de calor de estos elementos de TXES y su posterior conversión en trabajo se realiza mediante procesos estándar tipo Rankine. Hay que tener en cuenta que, con el trazado variable del flujo del proceso del que disponen los sistemas de TXES, un elemento de TXES puede calentarse y enfriarse en todo el rango de calor útil para todos los gases (a diferencia de los sistemas de licuefacción de un solo elemento), utilizando más eficazmente todo el calor en el elemento de TXES.
- La figura 3 ilustra un controlador de proceso ejemplar (300) del sistema. El controlador de proceso comprende un procesador (310), memorias volátiles (320) y no volátiles (325), tal como RAM, ROM, PROM, EEPROM y similares, entradas (330) de sensores que están conectadas a sensores como los de temperatura y presión 230 de la Figura 2, entradas / salidas de control (340), conectadas a válvulas (por ejemplo, las válvulas 270 de la figura 2), sensores de temperatura y presión asociados a almacenes de fluidos del proceso (por ejemplo, almacenes frigoríficos) y componentes de motores térmicos (por ejemplo, turbinas y condensadores), y un programa de control (350) ejecutado por el procesador con el fin de leer los valores de los sensores y determinar y establecer posteriormente los valores de las entradas / salidas de control con el fin de efectuar los procesos de control descritos en la presente memoria descriptiva. Pueden conectarse otros sensores a las bombas, turbinas / condensadores y otros equipos de operación para detectar las condiciones de operación y / o las averías.
- Cada una de las entradas de los sensores y las salidas de control está conectada eléctricamente al sensor / componente controlado respectivo del sistema. Se pueden utilizar conexiones inalámbricas para algunas o todas las conexiones sin apartarse del espíritu de la invención.
- Dentro de las memorias del controlador de proceso, se almacenan uno o más programas de control. Estos programas de control son ejecutados por el / los procesador / es del controlador de proceso e implementan los procedimientos de control descritos en la presente memoria descriptiva.
- Además, dentro de una o más memorias del controlador de proceso, se almacena la información de configuración relativa a los subsistemas de los motores térmicos, la disposición de los colectores de gases de escape, la disposición de las tuberías de fluido de trabajo y cada disposición del conjunto de TXES (incluida la información individual de los elementos de TXES), así como los parámetros de operación y control de cada uno de los componentes y subsistemas.

Esta información es utilizada por el controlador de proceso para interpretar las entradas de los sensores y establecer las salidas de control en respuesta a su programación de control.

Además, las memorias del controlador de proceso almacenan información de operación actual, tales como la temperatura y la presión actuales para cada uno de los sensores del sistema.

5 Volviendo a la figura 2, cada conjunto de TXES comprende uno o más elementos de TXES (125a / b), sensores de monitorización (230a / b, 231a / b), válvulas / compuertas (270a / b), y tuberías (260a / b) eficaces para proporcionar el flujo de fluido entre un colector de entrada del conjunto, uno o más elementos de TXES, y un colector de salida del conjunto. Cada conjunto de TXES está conectado a una pila de fuentes de calor (110), la fuente de calor gastada se enruta a un chimenea de escape (120) o a un respiradero adecuado, y los fluidos de trabajo para extraer el calor
10 capturado y almacenado en los elementos de TXES de uno o más subsistemas de motores térmicos se proporcionan a través de al menos una tubería de fluido de trabajo (260a, figura 4, 430) y al menos una tubería de salida de fluido de trabajo (260b, figura 4, 450) eficaces para distribuir y recoger los fluidos de trabajo respectivos hacia, desde y entre los elementos de TXES individuales del conjunto de TXES. Se puede proporcionar una pluralidad de tuberías de fluido de trabajo con el fin de: a) proporcionar diferentes trayectos de fluido que tengan diferentes características (tales como diferentes longitudes de trayectoria y / o caudales), y b) estar conectadas a diferentes motores térmicos. Se proporcionan válvulas y compuertas adicionales, conectados y controlados por el controlador de proceso, para configurar el flujo de los fluidos de trabajo y los gases de escape calentados hacia, desde y entre los elementos individuales de cada conjunto de TXES (y entre los conjuntos de TXES en configuraciones de conjuntos de TXES múltiples).

20 Cada uno de los elementos de TXES, las válvulas, las tuberías y los colectores descritos en la presente memoria descriptiva pueden aislarse de acuerdo con lo que se desee para mantener mejor la temperatura de los elementos de TXES y la eficacia de los procesos de intercambio. Se puede utilizar lana mineral, fibra de vidrio u otros materiales aislantes conocidos de acuerdo de acuerdo con las necesidades. Dependiendo de los usos, se pueden proporcionar cubiertas externas para proteger el aislamiento de los flujos de escape y / o de la intemperie.

25 La Figura 4 ilustra un ejemplo de disposición del conjunto de TXES de la presente invención, con un ejemplo de colector de entrada (410) y válvulas controladas por ordenador (420, 460, 465, 470, 480), tuberías de fluido de trabajo (430), y cuatro elementos de TXES (por ejemplo, 440a / b / c / d) que pueden ser configurados para producir cualquier trayectoria de fluido deseada a través de los elementos del conjunto de elementos de TXES. En este caso, el conjunto de TXES comprende cuatro elementos, pero se puede utilizar cualquier número de elementos de TXES cuando se crea un conjunto de elementos de TXES.
30

Cada uno de los elementos de TXES utilizados en el conjunto de TXES puede tener características de intercambio y almacenamiento térmico similares o diferentes. De esta manera, un conjunto de TXES puede comprender elementos de TXES configurados para funcionar a alta temperatura y tener diferentes elementos de TXES configurados para optimizar la transferencia de calor a temperaturas más bajas. Alternativamente, todos los elementos de un conjunto de TXES pueden tener características similares de captura y transferencia de calor.
35

Interconexión del colector con los elementos del de TXES.

Los elementos de TXES están diseñados típicamente para tener canales de combustión construidos integralmente como parte del elemento. En los ejemplos en los que se describen los conductos de humos de combustión de la fuente de calor (por ejemplo, los conductos de humos de combustión), la invención puede utilizarse utilizando diseños de
40 elementos de TXES sin tubos como los descritos en la presente memoria descriptiva, o puede construirse utilizando conductos de humos de combustión de diseños convencionales (por ejemplo, tubos de acero).

Dependiendo de la disposición de los elementos de TXES deseada, los tubos individuales del colector pueden estar conectados entre el colector de entrada de la fuente de calor de un conjunto de TXES y los conductos de humos de combustión de los elementos de TXES individuales con una tubería. Esta tubería puede tener además una compuerta / válvula controlada por el controlador de procesos en línea para controlar el flujo de gas de la fuente de calor hacia el elemento de TXES específico. Una disposición similar se utiliza para manejar los gases de la fuente de calor gastados después de que se les haya extraído el calor.
45

Un segundo enfoque consiste en disponer los extremos de los tubos (para los tubos incrustados en los elementos de TXES) en una fila, de modo que se pueda fabricar un tubo recto con tubuladuras periódicas que conecten muchos tubos a un colector común. Esta disposición es especialmente eficaz para una disposición en paralelo de los elementos de TXES (para condiciones de operación de gran caudal), en la que los gases de escape se dividen y dirigen a una pluralidad de elementos de TXES simultáneamente. El colector puede tener su entrada controlada por una válvula / compuerta controlada por el controlador de proceso, que simultáneamente habilitará / deshabilitará la entrada de calor a uno o más elementos de TXES conectados al colector.
50

55 La conexión de las tubuladuras de los colectores de fluido de trabajo al elemento de TXES puede hacerse de varias maneras, pero el costo es una consideración importante. De esta manera, una soldadura orbital a tope puede ser

efectiva en coste, pero puede requerir una alineación de tolerancia ajustada y una coincidencia de longitudes entre los extremos del tubo y las tubuladuras del colector para una soldadura.

Otra opción es una característica de enchufe en la que los tamaños de los tubos entre las tubuladuras del colector y los extremos de los tubos tienen tamaños de diámetro interior y exterior que permiten que un tubo se deslice dentro del otro con la tolerancia adecuada para permitir una operación de exudación o soldadura para crear la unión hermética. Otra opción son los accesorios de compresión. Como alternativa, se pueden utilizar tubos o mangueras flexibles o maleables para acoplar el colector a los conductos y tubos de fluido de proceso integrados en el elemento de TXES.

Alternativamente, múltiples elementos de TXES pueden estar dispuestos en paralelo dentro de un "plenum" común, de manera que los gases de la fuente de calor que fluyen a través del plenum deben pasar por uno o más elementos de TXES. Cada elemento de TXES puede tener una(s) compuerta(s) individual(es) para controlar su entrada de calor desde el plenum.

Como se describe en la presente memoria descriptiva, los flujos configurables del fluido de trabajo (y del gas de escape / fuente de calor) proporcionan una gran flexibilidad en la operación del conjunto de TXES. En algunas implementaciones, algunas de las tuberías / válvulas pueden expandirse (añadiendo tuberías / válvulas) para proporcionar posibilidades de flujo adicionales, o pueden restringirse (sustituyendo los valores controlados por el controlador de proceso y las tuberías de flujo alternativas por valores manuales y / o tuberías estáticas). La disposición ejemplar de la figura 4 se proporciona como demostración para ilustrar la flexibilidad del conjunto de TXES. En una primera realización ejemplar, que muestra un flujo de fluido paralelo, un fluido de proceso entra en el colector de entrada 410, en el que fluye a través de las válvulas 420a, 420b, 420c y 420d, a través de las tuberías, y en los elementos de TXES 440a, 440b, 440c y 440d, en el que se calienta y a continuación fluye hacia fuera a través de las válvulas (475a, 475b, 475c, 475d) y del colector de salida (490). Las demás válvulas 465, 460, 470, 480 están cerradas. En una segunda realización ejemplar, que muestra flujos de fluido en serie, un fluido de proceso entra en el colector de entrada 410, en el que fluye a través de la válvula abierta 420a al elemento de TXES 440a. Después del calentamiento en el elemento de TXES 440a, el fluido del proceso fluye hacia afuera, y es bloqueado por la válvula cerrada 475a. El fluido fluye hacia la válvula 480a (que está abierta, y 420d está cerrada), hacia el lado de entrada del elemento de TXES 440d en el que se calienta un poco más, y a continuación pasa al colector de salida 490 a través de la válvula abierta 460d. En un tercer ejemplo, que muestra trayectos de flujo alternativos en las que el flujo del fluido de proceso se divide a medida que fluye entre los elementos de TXES del conjunto, un fluido de proceso entra en el colector de entrada 410, en el que fluye a través de la válvula abierta 420a al elemento de TXES 440a. Después del calentamiento en el elemento de TXES 440a, el fluido del proceso fluye hacia afuera, y es bloqueado por la válvula cerrada 475a. El fluido fluye hacia las válvulas 470a y 480a (que están abiertas, y 420c y 420d están cerradas), hacia el lado de entrada de los elementos de TXES 440c y 440d, y a continuación pasa al colector de salida 490 a través de la válvula abierta 475c y 475d. Otras combinaciones de trayectos de flujo; en serie, en paralelo, y combinaciones de serie y paralelo se hacen posibles abriendo y cerrando las válvulas apropiadas (420, 460, 465, 470 y 480)

Una ventaja del diseño del conjunto de TXES es que hay muchos lugares en los que los trayectos de admisión y descarga tanto de los gases de la fuente de calor como de los fluidos de trabajo pueden ser alterados dinámicamente por las válvulas controladas por el controlador de proceso con el fin de desviar los elementos individuales de un conjunto de TXES. El controlador de proceso determina cuándo se debe derivar un elemento de TXES concreto en respuesta a su programa de control, que toma la decisión, en parte basándose en las lecturas de los sensores de temperatura y presión de las fuentes de calor de entrada, las características del elemento de TXES (por ejemplo sus coeficientes de intercambio de calor en cada uno de sus trayectos de flujo), el estado de operación actual del elemento de TXES (por ejemplo, su temperatura actual y su perfil de temperatura), y las características de los subsistemas del motor térmico (tales como la temperatura de operación, los fluidos de trabajo, las presiones de operación), y los distintos modos de operación que pueden preverse en el futuro.

Hay una variedad de variables, a menudo muy acopladas unas a las otras, que determinan los rangos de operación y que podrían afectar a la configuración de los TXES o a la operación de los TXES a medida que varían las condiciones de operación. El rango o relación de presión de operación en los procesos tipo Rankine determina el rango o relación de temperatura. La presión también establece la temperatura de ebullición (o más genéricamente para las presiones supercríticas) la cantidad de entalpía necesaria para cambiar una masa del fluido. A menudo, una fracción muy grande del calor absorbido por el fluido se encuentra en esa temperatura de ebullición o cuasi ebullición, o cerca de ella. Este es un factor importante en el comportamiento de un TXES. Así, por ejemplo, la modificación de la presión del fluido de trabajo modifica la temperatura a la que el fluido de trabajo absorbe o suministra calor al TXES.

La temperatura máxima también es importante, ya que determina la entalpía máxima disponible para una expansión o suministrada por un proceso de compresión (por ejemplo, una bomba de calor). Como se ha indicado, la relación de presión disponible a través del compresor o del expansor determina el cambio de temperatura para un fluido específico. Un objetivo común en los motores térmicos de tipo Rankine es maximizar el intercambio de entalpía a través de la máquina (expansor) en relación con el aporte total de calor. En una bomba de calor, un objetivo común es el contrario, minimizar la entalpía de la máquina (compresión) para el calor total entregado a la presión más alta. En un sistema de almacenamiento de energía con bomba de calor / motor térmico, estas consideraciones contrarias se anulan de alguna manera en un caso ideal. Como en la mayoría de los sistemas, las consideraciones pragmáticas incluyen el coste y la

eficiencia en el mundo real. Para el diseño del TXES, existen los factores asociados al coste por unidad de energía almacenada, así como las diferencias mínimas de temperatura alcanzables entre los fluidos y los medios de almacenamiento, tal y como se ha comentado en otro lugar. Un sistema de control de flujo que permite al sistema variar las temperaturas, la presión, los fluidos y los caudales máxicos aumenta el valor del sistema que el de TXES soporta una amplia variedad de sistemas posibles. La figura 15 es una tabla que ilustra algunas de las vastas combinaciones de temperaturas y presiones sobre las que los diferentes fluidos operan eficazmente.

La Figura 15 es una tabla que ilustra algunas de las numerosas combinaciones de temperaturas y presiones en las que diferentes fluidos operan eficazmente. También existen mezclas de fluidos que pueden variar infinitamente sus propiedades simplemente cambiando las cantidades relativas de los distintos compuestos que se van a utilizar en un proceso.

Figura 15

Ejemplos de fluidos	Rango de operación para un uso efectivo en coste de los expansores de compresores de desplazamiento positivo	Otros factores
Amoníaco	320- - 650 K, 25-250 bar	cierta toxicidad, pero producto químico industrial / agrícola ampliamente utilizado
Vapor	500 - 900K, 2-200 bar,	Requiere una temperatura del lado frío más alta que la ambiente para mejorar la densidad del fluido
Éter dimetílico	330 - 460 K, 15- 100 bar	Menos tóxico, pero de menor rendimiento termodinámico supercrítico a 400K, 53bar
Propano	330 - 420K	supercrítico a 370K, 42 bar, alta relación de devolución
	20 - 900 K, 2-80 bar	
R-152a	350-470 K	Tcrítica ~386K
	20-100 bar	
Dióxido de carbono	330 - 380K	Presión muy alta en el lado bajo (~7 MPa, punto crítico a ~304K). Ampliamente investigado por la industria. Baja toxicidad.
	155 - 400 bar	
Aire / aire de escape	Combustión directa: 800-1800K	fluido fuente de calor residual, sin cambio de fase
	Escape de la turbina de combustión: 700 - 800K	
	Escape del motor de combustión interna: 600 - 800K	
	Gases de combustión del generador de vapor: 380 - 460K (Generalmente justo por encima	
	presión ambiente a <50 kPa manométrica)	
	Aire del compresor de la turbina de combustión: 350 - 750K, 2 - 25bar	
Brayton cerrado - Argón	600 - 900 K, 6 - 16 bar	Sistema de almacenamiento de energía con bomba de calor Brayton

Muchos sistemas de motores térmicos funcionan con sistemas de varias etapas. En los sistemas tipo Rankine, otra técnica interesante es el ciclo de recalentamiento, que presuriza el fluido una vez, en la que se hierve y se sobrecalienta, se expande y a continuación se recalienta en fase gaseosa y se vuelve a expandir. Estos sistemas

generalmente tienen presiones más altas porque hay más entalpía total entregada y extraída y esto requiere una relación de presión más alta. Las presiones más elevadas pueden hacer que el fluido sea supercrítico, es decir, que ya no haya una temperatura fija a la que se produzca el proceso de ebullición. Para los sistemas de intercambio de calor sensible de TXES, es útil evitar esa temperatura fija a la que se intercambia mucha entalpía.

5 Puesto que hay dos procesos de calentamiento para el modo motor, hay flexibilidad en la forma en que esos dos o más procesos de calentamiento están dispuestos con respecto al suministro de calor. Puesto que el proceso o procesos de recalentamiento no tienen un proceso de absorción de calor latente, este tiende a estar en la sección de suministro de calor más caliente. Otra técnica consiste simplemente en ejecutar dos o más procesos con fluidos comunes o diferentes en un conjunto de elementos de TXES. A diferencia de los ciclos de recalentamiento, las presiones de cada proceso pueden adaptarse de forma independiente y, por lo tanto, pueden ofrecer la selección de presiones para ayudar en el reto de la captura de calor del punto de arrastre.

10 Como se ha señalado más arriba, una variable clave es el punto de ebullición o cuasi ebullición, que varía significativamente con la presión para los TXES que funcionan como intercambiadores de calor entre dos fluidos (normalmente un gas de escape o una corriente de calor residual y un fluido de trabajo que capta el calor). Esto es bien conocido por los expertos en la técnica de estos diseños como un análisis de punto de arrastre. Se trata de maximizar la captación de calor del flujo de calor residual y, al mismo tiempo, encontrar de forma pragmática un sistema global que sea lo suficientemente efectiva en coste para su implantación económica.

15 La flexibilidad ofrecida por los múltiples pasajes de flujo y los bloques modulares proporciona una selección de valores desde la operación de mayor eficiencia, el almacenamiento de energía para la entrega cuando se necesita la entrega independiente del suministro de calor, la capacidad de simplemente ejecutar la máquina en reverso y retornar el calor al sistema con trabajo, reducir el costo de la captura de calor debido a los diseños de tubería efectiva en coste que se ha explicado en otro lugar, variar a qué temperaturas se añade o se extrae el calor de los TXES cambiando una o más de estas variables - que conduce a mejoras de rentabilidad para los TXES.

20 Las siguientes figuras representan disposiciones de elementos de TXES con características innovadoras en torno a la construcción y el rendimiento resultante. Aunque las figuras 5 - 12 describen los detalles de implementación de varias realizaciones, algunos aspectos generales de los elementos de TXES proporcionan beneficios por sí solos y en combinación. Entre ellos se encuentran la forma / configuración del elemento, los materiales del conjunto y las configuraciones de las tuberías del fluido de trabajo.

25 Cada elemento de TXES se construye utilizando un diseño modular y puede adoptar diferentes formas y tamaños en función de los requisitos de implementación. Los elementos de TXES pueden tener varios rangos de tamaño dependiendo de las características de flujo de calor deseadas. Los elementos de TXES están diseñados para una construcción rápida y modular y para que sean fácilmente transportables. Se incluyen una serie de características y elementos de diseño para facilitarlos. Por ejemplo, los elementos de TXES utilizan longitudes fáciles de transportar por semirremolque y las masas de los elementos son fáciles para las operaciones de elevación con grúa. Las secciones de los elementos de TXES necesitan una resistencia a la flexión suficiente para permitir su traslado desde el moldeado / preparación a un camión y a continuación desde el camión para ser almacenados, pero no necesitan una resistencia estructural adicional para funcionar. En algunos casos, se utiliza acero de refuerzo (por ejemplo, barras de refuerzo) o miembros de tensión de acero para reforzar el elemento de TXES. Estos elementos se utilizan para la elevación y el transporte de elementos de TXES cuyas cargas de diseño pondrían en tensión el hormigón de un elemento de TXES.

30 Un elemento de TXES suele tener entre dos y quince metros de longitud, una sección transversal aproximadamente cuadrada o rectilínea y unos lados de entre 0,2 y 2,5 metros. La masa de un elemento de TXES podría ser de unos 6000 kg, aunque la aplicación podría variar el tamaño de aproximadamente 100 a 18000 kg.

35 El diseño modular de los elementos de TXES permite fundir o preparar de otra manera segmentos del sistema global de manera que muchos de los segmentos puedan apilarse en paralelo y también colocarse en serie. Las disposiciones en serie permiten una mayor longitud de los recorridos de la fuente de calor de entrada y de los fluidos de trabajo, lo que permite extraer más calor de la fuente de calor, almacenarlo en uno o más elementos de TXES y, a continuación, extraerlo en el fluido de trabajo de un subsistema de motor térmico optimizado para las características específicas del calor que se extrae. Parte de la optimización de los elementos en el diseño de conjuntos de TXES es la creación de elementos de TXES con características definidas diferentes. Por ejemplo, se puede crear un primer elemento de TXES con una pluralidad de trayectos de fluido de trabajo, cada uno de los cuales tiene la capacidad de elevar la temperatura de un fluido de trabajo hasta 70 grados C a un caudal de 50 litros / minuto. Se puede crear un segundo elemento de TXES que tenga la capacidad de elevar la temperatura de un fluido de trabajo en 300 grados C a un caudal de 100 litros / minuto.

40 De manera similar, los elementos de TXES pueden ser construidos para aceptar entradas de calor de trabajo de 100, 300, 500 o incluso 1000 grados C, y capturar efectivamente ese calor dentro del elemento de TXES. Además, los elementos de TXES pueden construirse para funcionar con diferentes presiones, caudales y características de la fuente de calor. En una realización ejemplar, un primer elemento de TXES puede tener pasajes de combustión suficientes para pasar 4,25 m³ (300 pies cúbicos) por minuto de gases de fuente de calor, mientras que un segundo elemento de TXES puede tener pasajes de combustión que pasan sólo 2,13 m³ (150 pies cúbicos) por minuto de gases de fuente de calor. Un tercer ejemplo de elemento de TXES puede funcionar a 0,20 MPa (3 psi) de presión,

mientras que otro elemento de TXES puede estar diseñado para permitir el flujo libre (por ejemplo, despresurizado) de los gases de la fuente de calor.

5 Típicamente, el elemento de TXES comprende elementos estructurales, un medio de almacenamiento térmico (que típicamente comprende una matriz y un relleno), uno o más trayectos de fluido de trabajo, y uno o más trayectos de fuente de calor, llamados conductos de humos de combustión. La resistencia estructural puede ser proporcionada por elementos expresamente estructurales, tales como las barras de refuerzo, o puede ser parte integral de otros componentes del elemento, como la propia matriz.

10 Las características moldeadas en los elementos de TXES para permitir un fácil levantamiento y colocación en pilas en un camión o en la instalación final son útiles para ahorrar mano de obra durante estos procesos. Otra característica valiosa asociada a la elevación y manipulación de los elementos de TXES son muescas poco profundas en la parte inferior y en los laterales que permiten utilizar correas de elevación para levantar y colocar los elementos de TXES, a la vez que se pueden retirar fácilmente y no impiden el apilamiento ajustado de los elementos de TXES (no mostrado).

15 Alternativamente, los puntos de elevación pueden ser moldeados en los elementos de TXES de manera que los mayores esfuerzos locales de las cargas de elevación se distribuyan en el elemento de TXES sobre un área suficiente para mantener niveles aceptables de carga a través del elemento de TXES. Generalmente, las características de elevación se moldean de manera que no sobresalgan por encima del plano normal de apilamiento para el elemento de TXES que generalmente se colocará por encima de éste. Alternativamente, el accesorio de elevación utiliza una característica que podría sobresalir por encima de ese plano de apilamiento que es extraíble, o se dispone una característica hembra en la parte inferior de los elementos de TXES en general para permitir que la característica de protuberancia de elevación no interfiera con el apilamiento ajustado. Alternativamente, el accesorio de elevación utiliza una característica que puede sobresalir por encima de ese plano de apilamiento que es extraíble, o se coloca una característica hembra en la parte inferior de los elementos de TXES en general para permitir que la característica de protuberancia de elevación no interfiera con el apilamiento ajustado.

20 El material de la matriz de cada elemento de TXES es el que almacena el calor extraído de los gases de escape o de los fluidos de trabajo calientes. La matriz rellena los huecos entre los tubos de transferencia de calor y los tubos de fluido de trabajo, lo que mejora la conductividad y la resistencia del material.

25 Un material de matriz preferido es un hormigón o una matriz similar al hormigón que comprende uno o más tipos de agregados en un material aglutinante (tal como el cemento Portland). Hay que tener en cuenta que no se requiere una alta resistencia de la matriz, por lo que se prefieren las variaciones de los materiales de la matriz que producen una mayor capacidad de almacenamiento térmico (a menudo a costa de una menor resistencia).

30 Las mezclas convencionales de hormigón a base de cemento Portland pueden ser utilizadas en algunos elementos de TXES, sujetas a procesos especiales de curado para secar completamente la matriz con el fin de evitar el agrietamiento cuando el elemento de TXES se calienta. Las mezclas de hormigón a base de cemento Portland pueden requerir protección, ya sea en forma de un material preventivo de la corrosión, o mediante el recubrimiento de los tubos de escape, contra los efectos ácidos de algunas corrientes de escape (como los gases de combustión ricos en azufre).

35 Los cementos de alta temperatura pueden ser utilizados cuando los elementos de TXES están sometidos a un calentamiento considerable o a ciclos continuos de calentamiento / enfriamiento. También son posibles las mezclas de cementos de alta temperatura y convencionales. El geopolímero u otros materiales con propiedades puzolánicas, como las cenizas volátiles, pueden aumentar o sustituir a otros ingredientes aglutinantes tales como el cemento Portland.

40 Los agregados utilizados en el cemento se seleccionan en parte debido al tamaño de los agregados, ya que algunas configuraciones de tuberías de fluidos de proceso de los elementos de TXES limitan el tamaño de los agregados que se pueden utilizar. Los experimentos han demostrado que el tamaño máximo óptimo de los agregados que se pueden utilizar es la mitad de la distancia entre espirales de cualquier tubería de fluido de proceso en espiral incrustada (véase más adelante), con el fin de minimizar cualquier vacío dentro de la matriz. En conjunto con los agregados, se pueden añadir a la mezcla de la matriz aditivos que mejoren la conducción. Estos aditivos pueden incluir: rellenos metálicos (metales compatibles con el hormigón, como el acero y no como el aluminio, alambres metálicos, en forma de malla, tales como tela metálica, que para un rendimiento óptimo pueden estar orientados generalmente ortogonalmente al gradiente de temperatura axial de los TXES, y / o partículas, fibras o filamentos de carbono o grafito.

45 Existen varios enfoques para integrar materiales de cambio de fase en un elemento de TXES: 1. Usar tubos para el fluido de entrada de calor y los fluidos de trabajo del proceso y sumergir los tubos en un recipiente lleno del material de cambio de fase. 2. Tener secciones de un elemento de TXES que contengan el material de cambio de fase (por ejemplo, cuando el material de cambio de fase esté encerrado por el hormigón y / o en otros elementos de contención, tal como un recipiente incrustado en la matriz). De este modo, el material de cambio de fase puede situarse en el proceso en el que se produce el cambio de fase del fluido de trabajo (generalmente más cerca del extremo más frío del proceso de contracorriente).

Los trayectos de los humos de combustión se moldean como parte de cada elemento de TXES, ya sea incrustados como parte del elemento de TXES (por ejemplo, tubos de humos de combustión) o como parte de la forma del elemento de TXES (por ejemplo, canales de humos de combustión). Los conductos de humos de combustión pueden estar
 5 construidos con cualquier material de tubería suficiente para soportar la entrada de calor, por ejemplo, acero, acero inoxidable, cerámica, plásticos o tubos de otros metales especiales. La forma de los conductos de humos de combustión puede modificarse, en sección transversal (por ejemplo, circular, ovalada) o en trayectoria (por ejemplo, recta, helicoidal) para conseguir la transferencia de calor deseada entre los humos de combustión humos y los materiales del elemento de TXES.

En aplicaciones en las que el suministro de calor es a baja presión hay más flexibilidad para la construcción de las características de los conductos de humo. El acero es un material común y de bajo coste que es compatible con los
 10 materiales de la matriz basada en hormigón. Hay que tener en cuenta que la forma del tubo de acero del conducto de humos no tiene por qué ser redonda, ya que ejerce poca presión sobre ella, y que otras formas pueden encajar mejor que otras en la sección transversal del elemento de TXES o aumentar la relación de superficie por unidad de longitud del elemento de TXES global o por longitud de los tubos del fluido de trabajo.

Durante el moldeado del elemento de TXES, se puede utilizar un material de sacrificio para formar tubos y canales en el elemento de TXES. La función del material de sacrificio es crear la cavidad en la matriz durante el proceso de
 15 moldeado mediante procesos conocidos por los expertos en la técnica.

Además, la resistencia a la corrosión puede ser añadida a cualquiera de estos materiales de paso mediante el recubrimiento de la característica de forma básica con un recubrimiento. Para formas que se van a retirar, el
 20 recubrimiento se coloca preferentemente en el exterior de la forma para que el recubrimiento permanezca adherido al hormigón. Algunos ejemplos de recubrimientos que podrían ser beneficiosos son las mezclas especiales de hormigón con mayor resistencia a los ácidos o menor porosidad (por ejemplo, el hormigón basado en geopolímeros), las películas termoplásticas con suficiente resistencia a la temperatura, una fina capa de silicona o cerámica de sílice. El material resistente estará orientado al fluido en el pasaje. Este material de recubrimiento puede ser prefabricado y
 25 colocado en la forma de moldeado del elemento, especialmente cuando el recubrimiento tiene suficiente resistencia para conservar una forma adecuada durante el proceso de moldeado. O bien, si el conjunto de revestimiento necesita soporte, se puede utilizar un soporte de sacrificio o desmontable para retener adecuadamente la forma durante el moldeado. Estos recubrimientos resistentes a la corrosión o menos porosos pueden aplicarse a la característica de la forma de varias maneras: recubrimiento por pulverización, moldeado por inmersión, moldeado por deslizamiento y
 30 otros.

Las figuras 5a, 5b y 5c ilustran realizaciones de elementos de TXES con conductos de humos de combustión moldeados en el elemento de TXES para el fluido de fuente de calor (además de los tubos de fluido de trabajo), en los que el calor se transfiere a o desde un fluido a la pared del tubo, en el que la matriz de almacenamiento térmico
 35 conduce entonces el calor fuera o hacia el tubo. La figura 5a ilustra una disposición ejemplar del elemento de TXES que comprende la matriz (510), una pluralidad de conductos de humos de combustión (520) y una pluralidad de tubos helicoidales de fluido de trabajo (530) incrustados en la matriz. La figura 5b ilustra una variante del elemento de TXES hexagonal (vista de extremo) con un accesorio de elevación integrado. La figura 5c ilustra un elemento de TXES rectangular (vista de extremo) con matriz, una pluralidad de conductos de humos de combustión y una pluralidad de tubos de trabajo helicoidales intercalados con un accesorio de elevación integrado que cuenta con un anillo de
 40 elevación extraíble. Pueden incluirse otras formas de puntos de elevación sin desviarse del espíritu de la invención. Una de las consideraciones de optimización es la distancia entre el conducto de humos de combustión y los tubos de fluido de trabajo, así como la uniformidad de la dispersión del material de la matriz con respecto a esos pasajes convectivos. Asimismo, el número y la disposición de los conductos de humos de combustión y de los tubos de fluido de trabajo helicoidales pueden variar sin apartarse de la naturaleza de la invención.

En una segunda realización ejemplar, los elementos de TXES pueden estar formados de manera que el suministro de calor esté en contacto directo con la matriz de almacenamiento térmico. Se describen dos de estas disposiciones; se
 45 pueden utilizar muchas otras configuraciones posibles sin apartarse del alcance de la invención. La Figura 6 ilustra una realización ejemplar cuando el elemento de TXES está formado con festones u otras características externas en elementos de TXES que tienen paredes generalmente regulares, (por ejemplo, ortogonales o hexagonales). En la figura 6, la disposición del elemento de TXES comprende la matriz (600), cuatro canales de humos de combustión moldeados festoneados (610) y cuatro tubos de fluido de trabajo helicoidales (620). Otras características, como los puntos de elevación integrados, no se muestran para mayor claridad. El número y la disposición de los festones y los tubos helicoidales de fluido de trabajo pueden variar sin apartarse de la naturaleza de la invención.

Algunas de las características interesantes de este diseño incluyen el festoneado de las esquinas que puede tener al
 55 menos dos beneficios. Son posibles trayectos de paso para los pasajes de transferencia de calor de los gases de escape y también elimina parte del hormigón que está más alejado de las espirales. Una distancia más uniforme del hormigón a las espirales ayuda a minimizar los aumentos de temperatura media del hormigón (frente al fluido de trabajo) que son termodinámicamente menos deseables. Los lados "regulares" permiten el apilamiento de los elementos de TXES, mientras que los festones proporcionan un pasaje para que el fluido calentado de una fuente de calor (gas de escape, refrigerante de la camisa o incluso aceite) pase sobre estas características en la pila de
 60 elementos de TXES en un conjunto de TXES, como se muestra en la figura 7. La figura 7 ilustra nueve elementos de

TXES moldeados con festones (710, con festones 720 y tubos de fluido de trabajo helicoidales 740) apilados en una disposición de 3x3, e ilustra los pasajes de escape (730) formados por la forma festoneada.

El uso de tubos de fluido de trabajo de proceso incrustados en la matriz de un elemento de TXES actúa en un recipiente de presión para el fluido de trabajo presurizado y forma adicionalmente una superficie de transferencia de calor. Una bobina helicoidal o en espiral alarga la longitud de la trayectoria del flujo y aumenta la cantidad de calor transferido por elemento de TXES. En la presente memoria descriptiva, el término "helicoidal" se utiliza para referirse a cualquier disposición de las espirales, incluyendo hélices, espirales o bobinas de geometría similar. El diámetro de la tubería, así como el diámetro de la espiral helicoidal, su paso (por ejemplo, espirales por metro), y la longitud de la tubería dentro de cada elemento de TXES pueden variarse para producir una tubería de fluido de trabajo de proceso optimizado para un fluido de trabajo particular, presiones de operación, rango de temperatura de operación, y los coeficientes de transferencia de calor de TXES de la matriz. Se puede utilizar una pluralidad de tubos de fluido de trabajo, como se describe a continuación. Los tubos de estructura helicoidal tienen el efecto de:

1. Aumentar el área superficial del fluido de trabajo a la masa térmica (las superficies del propio tubo, que varían en función del diámetro del tubo de fluido de trabajo).

2. Aumentar la longitud del trayecto en el que puede producirse la transferencia de calor. Puesto que el objetivo del proceso de fluido de trabajo es obtener casi todo el calor del fluido durante un proceso de carga mecánica o vaporizar y a continuación sobrecalentar el fluido hasta casi la temperatura total del extremo caliente del material de almacenamiento, se desean pequeñas diferencias de temperatura entre el material de almacenamiento de calor y el fluido de trabajo. Sin embargo, las pequeñas diferencias de temperatura entre el fluido de trabajo y el material de almacenamiento sólido dan lugar a bajas tasas de transferencia de calor y, por lo tanto, se necesita una distancia más larga y más superficie para lograr la transferencia completa de calor hacia o desde el fluido de trabajo.

3. Una mayor longitud disponible significa que el flujo de transferencia de calor (W / m^2) puede ser menor y esto minimiza la pérdida de eficiencia sistémica debido a las mayores diferencias de temperatura entre el fluido de trabajo y el material de almacenamiento (por ejemplo, el hormigón). Los flujos de calor más bajos significan un gradiente de temperatura beneficioso en el material de almacenamiento de calor.

4. Aumentar la longitud total de la función de transferencia de calor cuando se tiene en cuenta que el proceso de transición de calor se mueve físicamente dentro del TXES cuando éste se calienta o se enfría. Por lo tanto, es deseable que la longitud de la zona de transferencia de calor sea relativamente corta frente a la longitud total disponible, ya que la mayor parte del almacenamiento de calor de alta calidad se encuentra en el extremo caliente del almacén, en el lado caliente de la zona de transferencia de calor.

5. Exponer más de la matriz del elemento de TXES disponible para el almacenamiento de calor.

Cada uno de estos factores puede ser considerado cuando se calcula un coeficiente de transferencia térmica para un trayecto de fluido dentro de un elemento de TXES. Un coeficiente de transferencia térmica es una métrica que describe la capacidad global del trayecto para transferir calor entre la matriz del elemento TSEX y un fluido de trabajo. A continuación se describen los coeficientes de transferencia térmica y su uso para determinar las longitudes óptimas del recorrido del fluido.

Los trayectos de fluido de trabajo y de origen definidos de forma flexible en el conjunto de TXES permiten la selección (y creación) de trayectos de fluido con diferentes coeficientes de transferencia térmica. Cada pasaje a través de un elemento de TXES tiene un coeficiente de transferencia térmica definido, basado en la temperatura actual y el gradiente de temperatura en el elemento de TXES, el fluido de trabajo, su temperatura y presión, y las características del pasaje (longitud, diámetro (por ejemplo, el área de transferencia), material). Los coeficientes de transferencia térmica en función de las características del fluido de trabajo para cada pasaje en un elemento de TXES pueden ser calculados y / o medidos antes de que el elemento de TXES sea desplegado en un conjunto de TXES, y estos coeficientes pueden ser almacenados en una memoria del controlador de proceso. Se hace notar que el coeficiente de transferencia térmica es independiente de la temperatura absoluta y de las presiones. Proporciona una métrica por la que se mide la cantidad de calor que se añade (o se resta) al fluido de trabajo cuando pasa por un elemento de TXES.

Por ejemplo, un primer pasaje que comprende un tubo recto a través de un elemento de TXES para un fluido de trabajo, un caudal y una temperatura específicos (determinados por los sensores en el trayectoria del fluido de trabajo), y una disposición de temperatura y gradiente de temperatura conocidos dentro del elemento de TXES (determinados por los sensores de temperatura en el elemento de TXES), puede determinarse que tiene un coeficiente de transferencia térmica de 1, mientras que una primera espiral helicoidal de radio 152,4 mm (6 pulgadas), y un paso entre espirales de 101,6 mm (4 pulgadas), puede tener un coeficiente de transferencia térmica de 100, y una segunda espiral helicoidal de radio 304,8 mm (12 pulgadas), y un paso entre espirales de 101,6 mm (4 pulgadas), puede tener un coeficiente de transferencia térmica de 200. Así, un primer fluido de trabajo que pase por cada uno de estos pasajes de fluido adquirirá 1, 100 o 200 unidades de energía transferida hacia (o desde) el fluido de trabajo para una configuración térmica específica de un elemento de TXES. Para una configuración térmica diferente del elemento de

TXES, las mismas condiciones del fluido de trabajo pueden adquirir 0,5, 50 o 100 unidades de energía cuando fluye a través de un pasaje específico en el elemento de TXES. Un fluido de trabajo diferente en las mismas condiciones del elemento de TXES puede tener un coeficiente de transferencia térmica de 2,50 y 100 para los tres trayectos respectivamente. De nuevo, esta información puede ser codificada y almacenada dentro de una memoria del controlador de proceso.

Cuando un trayecto de fluido pasa a través de más de un conjunto de TXES y / o elementos de TXES, el coeficiente de transferencia térmica totalizado es la suma de los coeficientes respectivos de los elementos de TXES / coeficientes de paso a través de los cuales se desplazó el fluido.

La figura 8 ilustra una disposición coaxial de tubos de fluido de proceso helicoidales de tamaño y paso similares incrustados en un elemento de TXES. Dos tubos de proceso helicoidales (810, 820) están dispuestos alrededor de un eje común (830), con las espirales de la hélice entrelazadas para proporcionar un área de contacto igual con la matriz del elemento de TXES calentado (890). Cabe destacar que los conductos de humos de combustión del elemento de TXES se omiten en el dibujo para mayor claridad. Los sensores de temperatura y presión incorporados (860, 870, 880) se utilizan para detectar la temperatura del elemento de TXES (y opcionalmente la presión del fluido de trabajo en uno o más de los tubos de fluidos de proceso helicoidales). También se ilustran elementos de elevación integrados (840, 850).

La figura 9 ilustra una segunda disposición coaxial de tubos de fluido de proceso helicoidales de diferente tamaño y paso (910, 920) incrustados en un elemento de TXES, dispuestos alrededor de un eje común (930). Cabe destacar que los conductos de humos de combustión del elemento de TXES se omiten en el dibujo para mayor claridad. También se muestran los sensores integrados (960,970,980) y los puntos de elevación integrados (940, 950). Las espirales del tubo de fluido de proceso están anidadas, proporcionando un primer tubo con más superficie y longitud de tubo, y un segundo tubo con menos superficie y longitud de tubo. Por lo tanto, estos tubos proporcionan diferentes cantidades de intercambio de calor entre el elemento de TXES y el fluido del proceso en el tubo, y cada uno tendría diferentes coeficientes de transferencia térmica. Por lo tanto, se puede seleccionar un flujo de fluido de proceso a través del elemento de TXES utilizando un tubo que tenga un recorrido de fluido largo (y, por lo tanto, más intercambio de calor y un coeficiente de transferencia térmica más alto) o un recorrido de fluido más corto en un tubo diferente (y, por lo tanto, menos intercambio de calor y un coeficiente de transferencia térmica más bajo) dependiendo de la temperatura del elemento de TXES y de la cantidad de calentamiento del fluido de proceso que se desee. En otros usos, un tubo con un primer fluido de trabajo puede ser seleccionado para su uso si el elemento de TXES está caliente, mientras que el segundo tubo puede ser seleccionado si el elemento de TXES está más frío con el fin de controlar la cantidad de calor extraído del elemento de TXES cuando se opera con procesos de motor térmico de múltiples fluidos. Alternativamente, se pueden hacer pasar diferentes fluidos de trabajo por los diferentes tubos, mejorando aún más la gestión del calor almacenado en el elemento de TXES.

La figura 10 ilustra una disposición colineal (es decir, los ejes de los tubos de proceso helicoidales son paralelos) de tubos de fluido de proceso helicoidales de tamaño y paso similares (1010, 1020) incrustados en un elemento de TXES (1090) con eje colineal pero no coaxial (1030 / 1035). Cabe destacar que los conductos de humos de combustión del elemento de TXES se omiten en el dibujo para mayor claridad. También se muestran los sensores integrados (1060, 1070, 1080) y los accesorios de elevación (1040, 1050). Las espirales de cada hélice del tubo de fluido de trabajo están entrelazadas para proporcionar una gran área de contacto con el material de la matriz. También se hace notar que en esta realización las hélices no están en el mismo eje, lo que tiene el efecto de extender el área de la espiral expuesta a la matriz (por ejemplo, un poco más fuera en la dirección de izquierda a derecha con respecto a una alineación coaxial). La dispersión de las espirales en horizontal es una estrategia para uniformar la superficie de transferencia de calor en un patrón lineal frente a un patrón más concéntrico. Es preferible evitar las esquinas, aquellas secciones relativamente alejadas de la tubería a menudo helicoidal, ya que el retardo o retraso térmico en esas secciones relativamente alejadas puede disminuir el rendimiento. Los patrones concéntricos como los de la figura 8 y la figura 9 pueden recortar las esquinas (no mostradas) o el diseño de la figura 5b crea un patrón repetitivo que minimiza el número de esquinas por elemento de TXES.

La figura 11 ilustra una disposición no superpuesta y colineal de tubos helicoidales de fluido de proceso (1110, 1120) incrustados en un elemento de TXES (1190). Se hace notar que los conductos de humos de combustión en el elemento de TXES se omiten en el dibujo para mayor claridad. También se muestran los sensores integrados (1160, 1170, 1180) y los accesorios de elevación (1140, 1150). Los tubos de fluido de proceso pueden ser de diferentes tamaños y pasos de espiral para proporcionar diferentes cantidades de transferencia de calor para cada ruta de tubo.

Cada uno de los ejemplos anteriores ilustra un elemento de TXES con dos elementos de tubo de fluido de trabajo helicoidal, con características de tubo y características de espiral variables. El número de tubos helicoidales de fluido de trabajo, los desplazamientos de los ejes y la cantidad de intercalación de espirales presentes en un elemento de TXES pueden variarse sin apartarse del alcance y la intención de la invención, con la advertencia de que el tamaño agregado del elemento de TXES debe disminuirse a medida que aumenta el número de tubos para minimizar los huecos en la matriz del elemento de TXES durante la moldeado.

A menudo habrá un patrón común en el núcleo de la tubería de fluido de trabajo, los pasajes de suministro de calor y tal vez otras características, como el festoneado o la muesca, que pueden repetirse, pero generalmente se moldean

- en conjuntos de muchos de estos patrones comunes de subconjunto. El ahorro de costes u otros valores pueden ocurrir a menudo cuando se agregan muchas características similares en un moldeado más grande incluyen - menos mano de obra por característica cuando se moldean muchas características juntas, reduciendo el tiempo de manipulación de los conjuntos durante el proceso de fabricación, así como durante la instalación en el sitio del proyecto, secciones más rígidas para las operaciones de elevación cuando el elemento moldeado es más grueso - reduciendo los refuerzos internos, lo que permite que más parte del colector fuera del elemento de TXES se complete en una operación de fábrica más controlada y más barata frente al montaje en el campo, alineando más de la tubería de fluido presurizado con precisión con las herramientas de formación, frente a las mayores variaciones cuando se apilan elementos de TXES separados.
- 5
- 10 Como se ha mencionado más arriba, el sistema funciona preferentemente en contracorriente, en el que el fluido de la fuente de calor fluye en una dirección, calentando los elementos de TXES empezando por el extremo "caliente" y saliendo por el extremo "frío", y el fluido de trabajo fluye en una dirección opuesta (o contracorriente), entrando por el extremo frío y saliendo por el extremo "caliente". Durante la carga (por ejemplo, añadiendo energía térmica al elemento de TXES), esto tiene el efecto de aumentar la pendiente del gradiente de temperatura dentro del elemento o elementos de TXES. La zona de gradiente térmico, que es la parte del elemento de TXES en la que se produce principalmente la transferencia de calor, también se mueve linealmente dentro del elemento de TXES a medida que cambia la cantidad de carga térmica. El flujo en contracorriente aumenta la eficiencia y la rentabilidad del sistema al aumentar el gradiente de temperatura a lo largo de un elemento de TXES cuando el perfil de temperatura del elemento de TXES se mueve entre los estados de carga y descarga. La figura 12 ilustra tres ejemplos gráficos del estado de carga de un elemento de TXES en varias etapas de carga térmica.
- 15
- 20 El controlador de proceso monitoriza la temperatura y la presión de la fuente de calor entrante, del fluido o fluidos de trabajo y de cada uno de los elementos de TXES que componen un conjunto de TXES, y ajusta los trayectos y los flujos de los fluidos para optimizar la cantidad de calor retenido durante la carga, almacenado en un estado cargado y rechazado en un fluido de trabajo durante la descarga.
- 25 Una ventaja del conjunto de TXES, cuando se combina con el diseño modular de los elementos de TXES y la gestión del flujo controlado por el proceso del sistema, es que los flujos de calor y de fluido de trabajo pueden ser optimizados por medio del sistema con el fin de capturar, almacenar y extraer y utilizar una cantidad máxima de calor de la corriente de calor de entrada. Los mismos mecanismos (los elementos de TXES utilizados pueden ajustarse para el calor y los fluidos de trabajo) pueden utilizarse cuando el sistema se acopla a la salida de una planta de cemento, una central eléctrica o un proceso de recaptura de calor residual industrial.
- 30

REIVINDICACIONES

1. Un elemento de intercambio y almacenamiento térmico (TXES) (1190) que comprende:
- un sustrato de material de matriz (510);
 - 5 uno o más conductos de humos de combustión (520) formados en el sustrato de material matriz (510) para proporcionar un flujo de un fluido fuente calentado a través del elemento TXES (1190), el fluido fuente calentado proporcionado desde una fuente de calor (200); y
 - uno o más tubos de fluido de trabajo (530) incrustados en el cuerpo del elemento (510) separados de los uno o más pasajes de humos de combustión (520) para proporcionar un flujo del fluido de trabajo a través del elemento de TXES (1190);
 - 10 en el que una transferencia de energía térmica entre el fluido fuente calentado y el fluido de trabajo se produce a través del sustrato de material de matriz (510); y
 - en el que los uno o más pasajes de humos de combustión (520) están fundidos en el sustrato de material matriz (510) y en el que una superficie interior de cada uno de los uno o más conductos de humos de combustión (520) comprende un material resistente a la corrosión;
 - 15 en el que el material resistente a la corrosión está en contacto directo con el sustrato de material de matriz (510) y el fluido fuente calentado; y
 - en el que varios de los elementos de TXES (1190) pueden apilarse en paralelo y/o colocarse en serie.
2. El elemento de TXES de la reivindicación 1 en el que el sustrato de material de matriz (510) comprende uno de una mezcla de aglutinante de cemento y agregado y una mezcla de un aglutinante y un material de cambio de fase.
- 20 3. El elemento de TXES de la reivindicación 1 que comprende además un accesorio de elevación integrado.
4. El elemento de TXES de la reivindicación 1, en el que el material resistente a la corrosión comprende un revestimiento formado por una película termoplástica, una capa de silicona o cerámica de sílice.
5. El elemento de TXES de la reivindicación 4, en el que el revestimiento comprende un revestimiento prefabricado y se introduce en los uno o más conductos de humos de combustión fundidos (520) del elemento de TXES (1190).
- 25 6. El elemento de TXES de la reivindicación 5, en el que los uno o más conductos de humos de combustión (520) se funden en el sustrato de material de matriz (510) utilizando un material de sacrificio o característica de forma, comprendiendo el revestimiento una lámina de revestimiento colocada en el material de sacrificio o característica de forma antes de la fundición.
7. El elemento de TXES de la reivindicación 5 que comprende además una pluralidad de canales de humos de combustión fundidos en festón.
- 30 8. El elemento de TXES de la reivindicación 1, en el que el material resistente a la corrosión comprende hormigón a base de geopolímeros.
9. El elemento de TXES de la reivindicación 1, en el que al menos uno de los uno o más tubos de fluido de trabajo (530) comprende un tubo de forma helicoidal provisto en el sustrato de material de matriz (510), y en el que el tubo de forma helicoidal (530) está posicionado sobre un conducto de humos de combustión respectivo (520) de los uno o más conductos de humos (520).
- 35 10. El elemento de TXES de la reivindicación 1, en el que los uno o más tubos de fluido de trabajo (530) comprenden un primer tubo helicoidal (810) y un segundo tubo helicoidal (820), teniendo los primeros y segundos tubos helicoidales (810, 820) el mismo tamaño y paso y estando entrelazados alrededor de un eje común (830), a fin de proporcionar igual área de contacto con el sustrato de material de matriz calentado.
- 40 11. El elemento de TXES de la reivindicación 1, en el que uno o más tubos de fluido de trabajo (530) comprenden un primer tubo helicoidal (910) y un segundo tubo helicoidal (920), teniendo los primeros y segundos tubos helicoidales (910, 920) un tamaño y paso diferentes y estando anidados y dispuestos alrededor de un eje común (930), y en el que los primeros y segundos tubos helicoidales (910, 920) de diferente tamaño y paso proporcionan diferentes cantidades de intercambio térmico entre el sustrato de material de matriz (510) y el fluido de trabajo en los tubos de fluido de trabajo (530) de tal manera que cada uno de los primeros y segundos tubos helicoidales (910, 920) tiene diferentes coeficientes de transferencia térmica.
- 45 12. El elemento de TXES de la reivindicación 1, en el que los uno o más tubos de fluido de trabajo (530) comprenden un primer tubo helicoidal (1010) y un segundo tubo helicoidal (1020), teniendo los primeros y segundos tubos helicoidales (1010, 1020) un mismo tamaño y paso y estando dispuestos en paralelo con un eje co-lineal pero no co-
- 50

axial (1030, 1035), estando las bobinas de los primeros y segundos tubos helicoidales (1010, 1020) entrelazadas para proporcionar una gran área de contacto con el sustrato de material de matriz calentado (510).

5 13. El elemento de TXES de la reivindicación 1, en el que los uno o más tubos de fluido de trabajo (530) comprenden un primer tubo helicoidal (1110) y un segundo tubo helicoidal (1120), los primeros y segundos tubos helicoidales (1110, 1120) colocados en una disposición no superpuesta, co-lineal y teniendo un tamaño y paso diferentes o teniendo un mismo tamaño y paso.

14. El elemento de TXES de la reivindicación 1, en el que los uno o más conductos de humos de combustión (520) comprenden pasajes sin tubos.

15. Una disposición de captura, almacenamiento e intercambio térmico, que comprende:

10 al menos una matriz modular de intercambio y almacenamiento térmico (TXES) (125a, 125b), comprendiendo cada una de las al menos una matrices modulares de TXES (125a, 125b) uno o más elementos de TXES (1190) como se establece en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores; y

15 uno o más motores térmicos (250a, 250b) operables con el al menos una matriz de TXES (125a, 125b) para extraer calor del al menos un conjunto de TXES (125a, 125b) y convertirlo en energía mecánica, proporcionando los uno o más motores térmicos (250a, 250b) el fluido de trabajo a la al menos una matriz de TXES modular (125a, 125b).

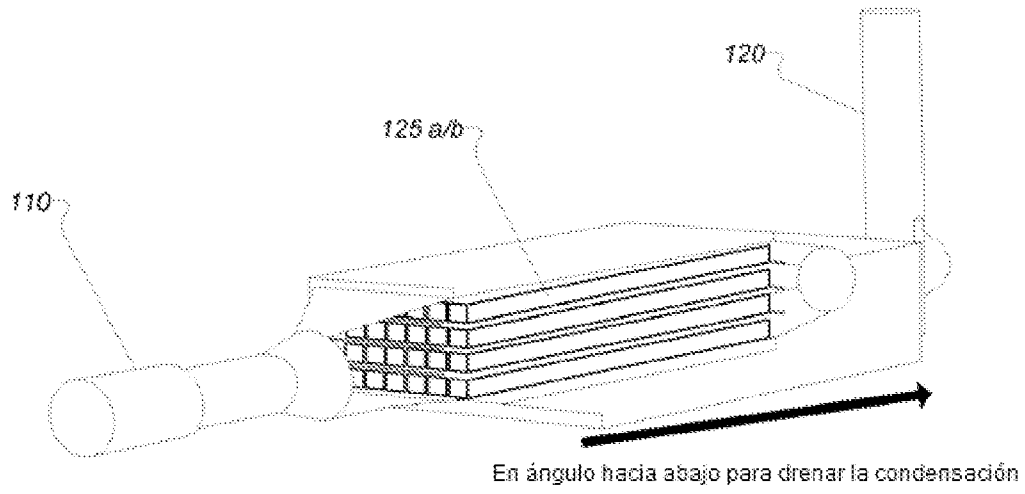


FIGURA 1

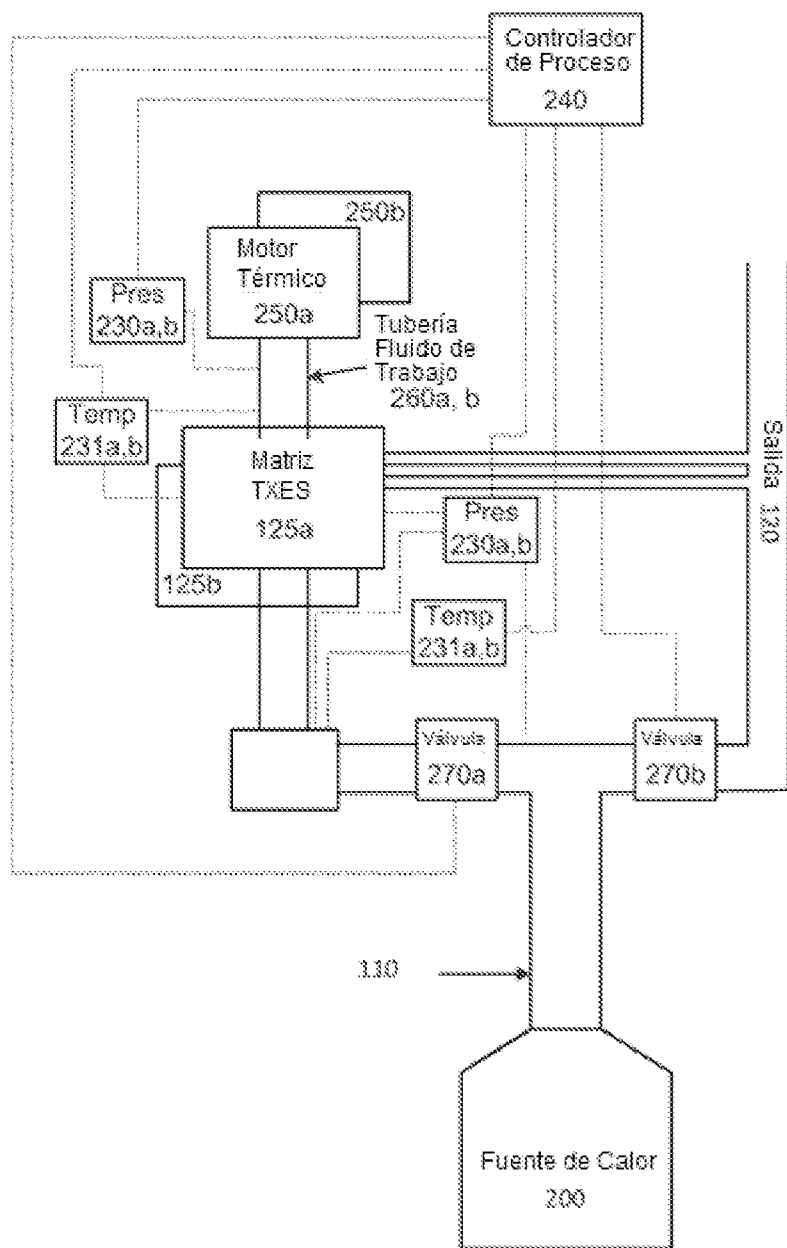


FIGURA 2

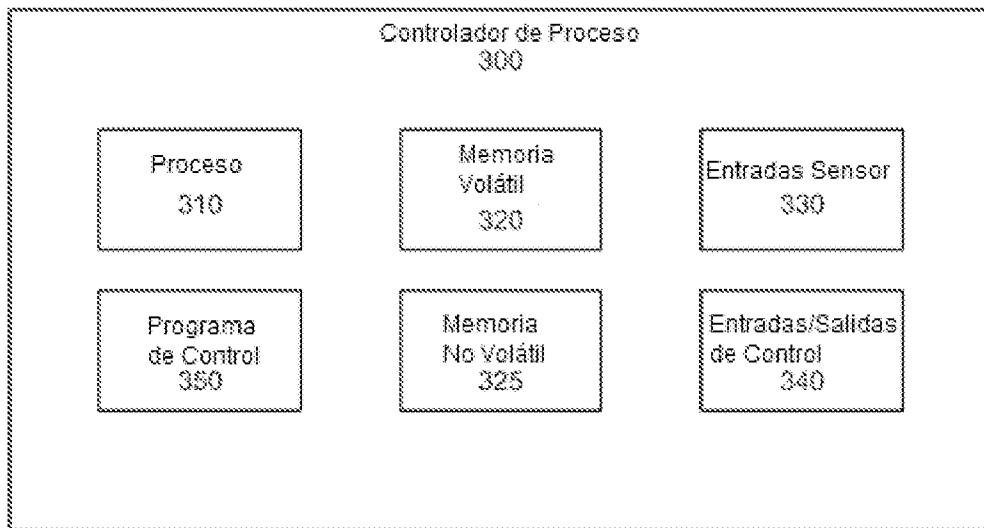


FIGURA 3

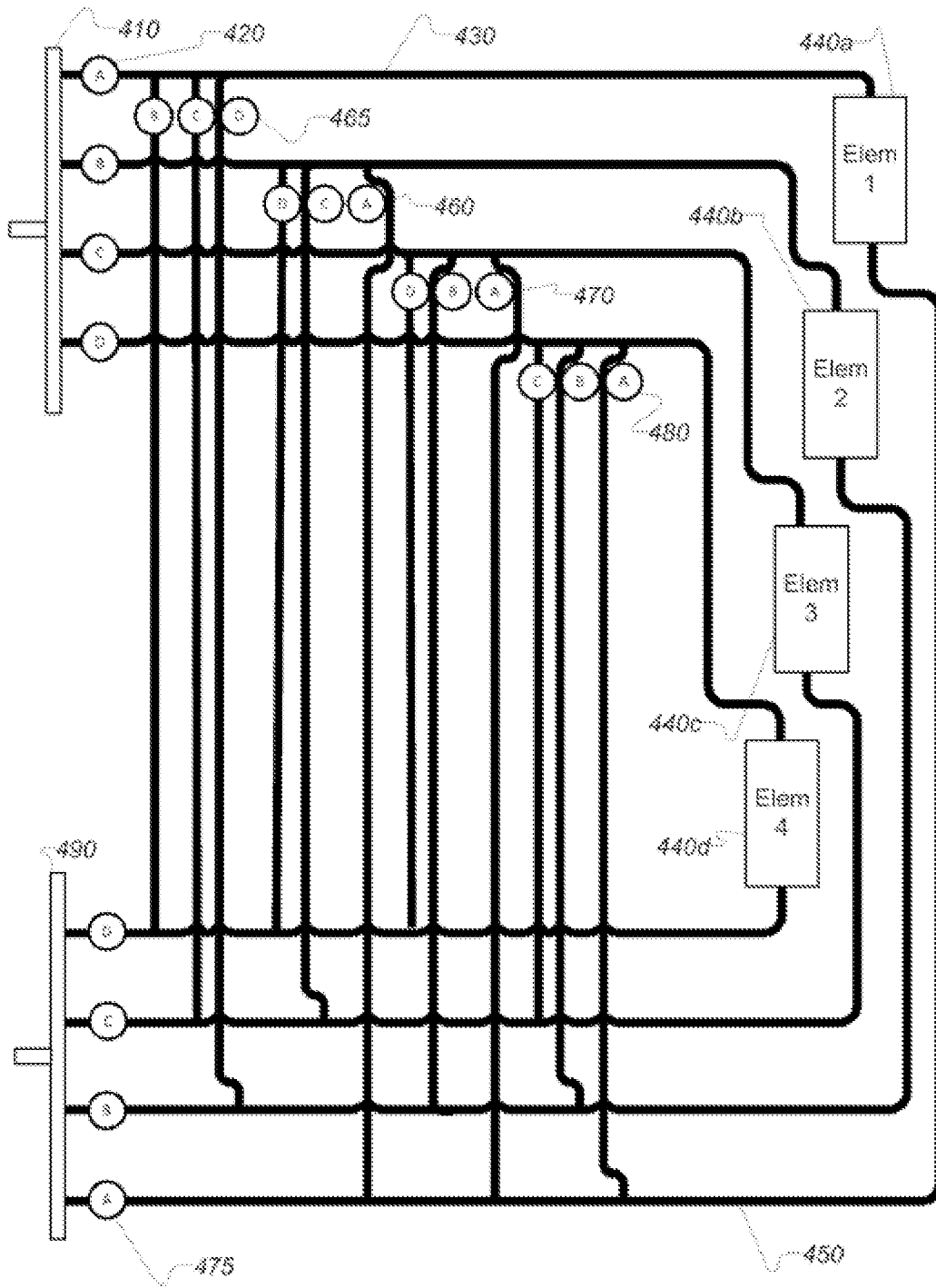


FIGURA 4

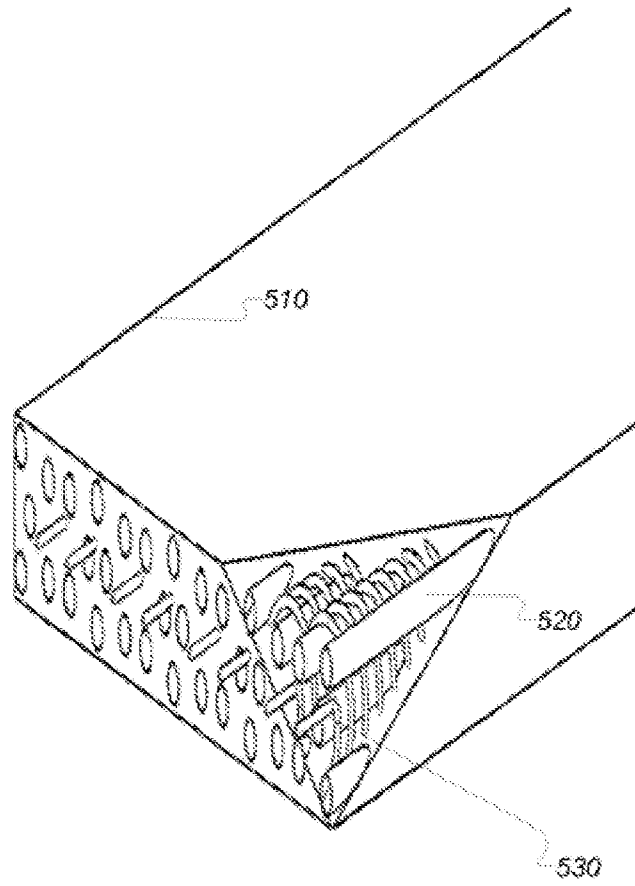


FIGURA 5a

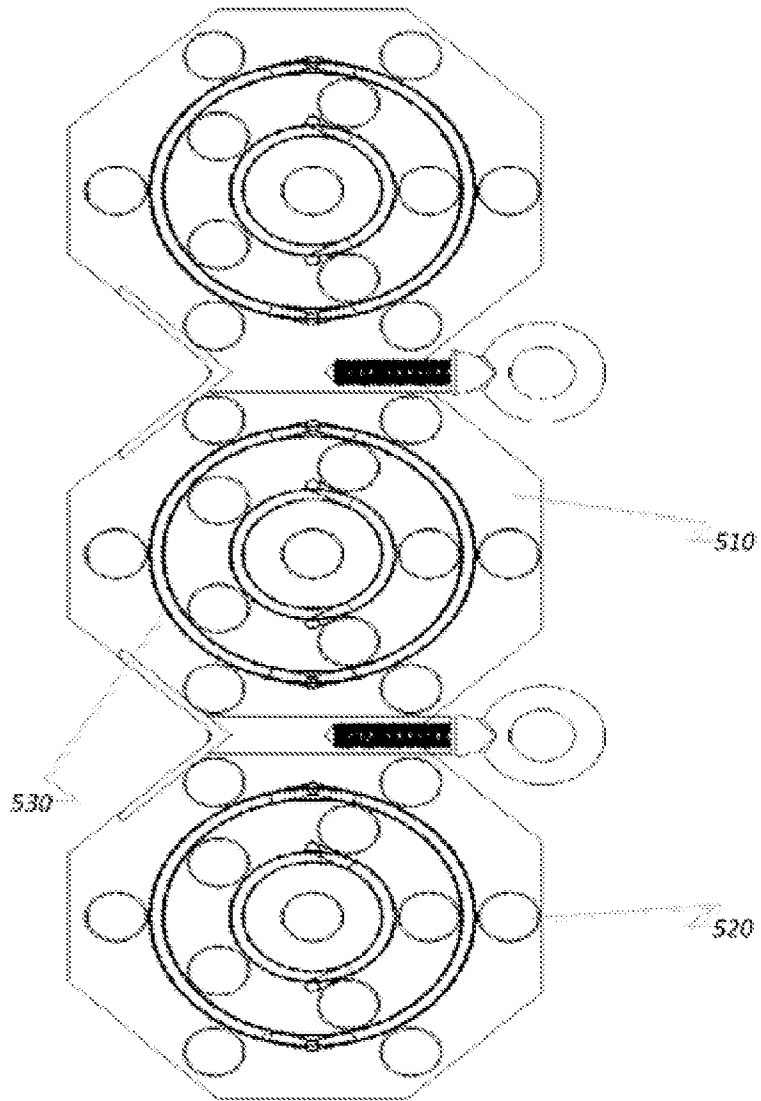


FIGURA 5b

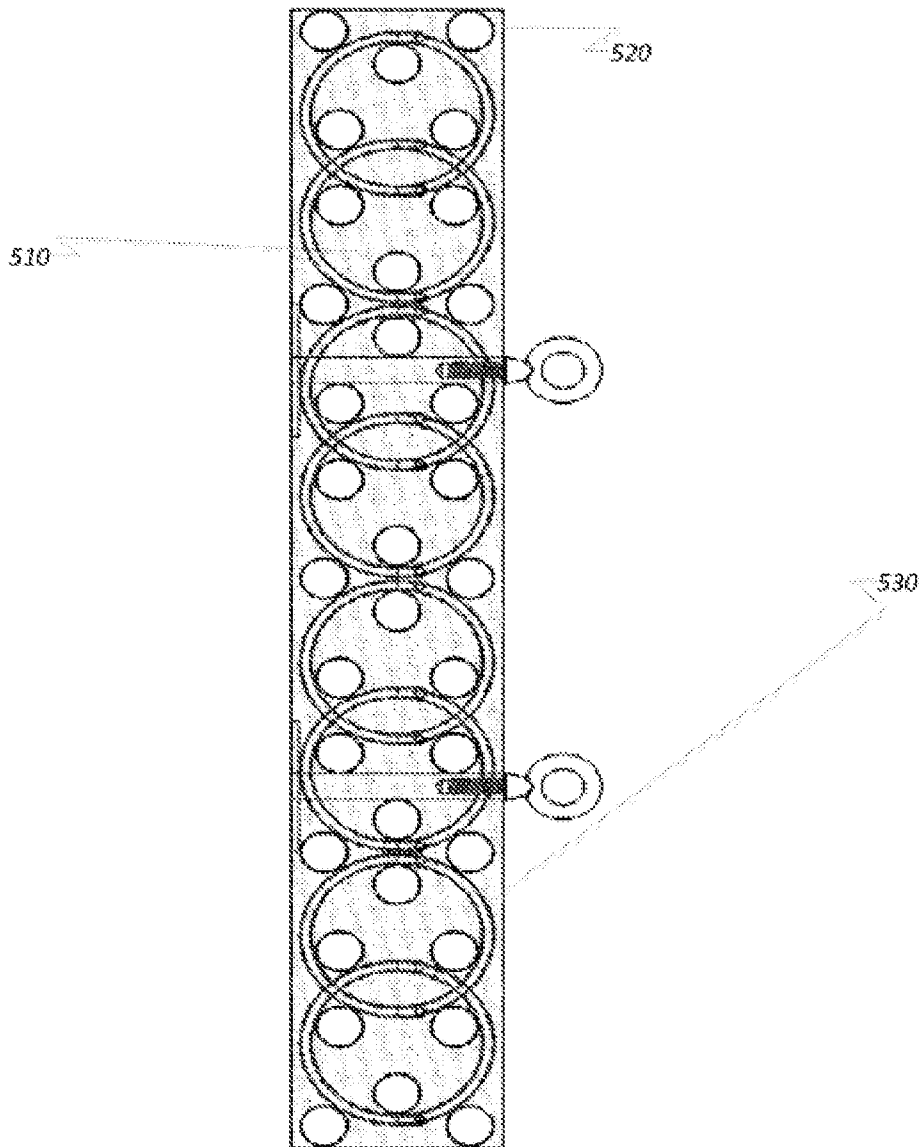


FIGURA 5c

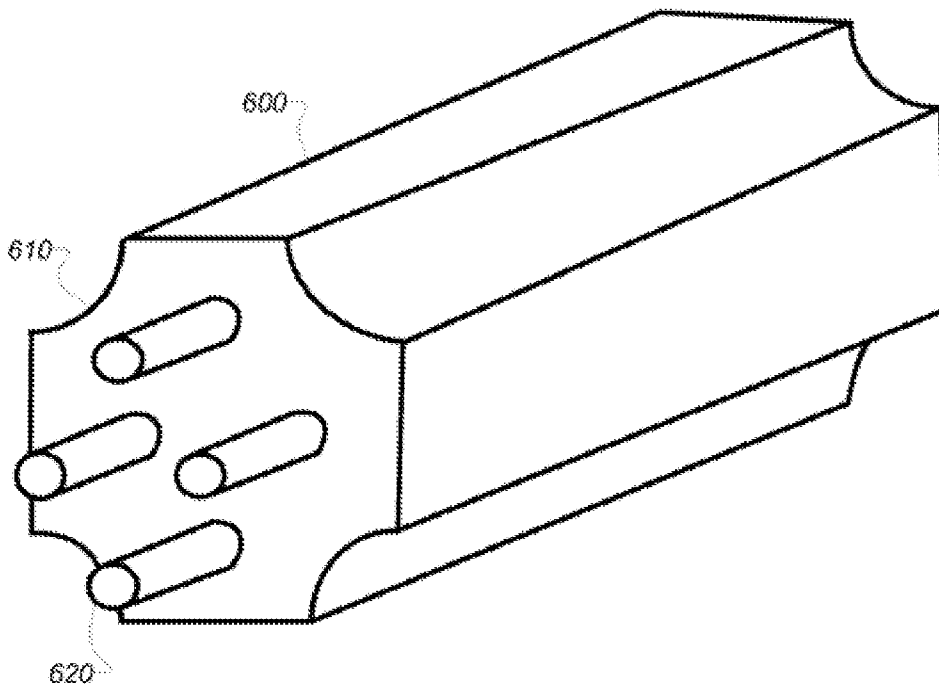


FIGURA 6

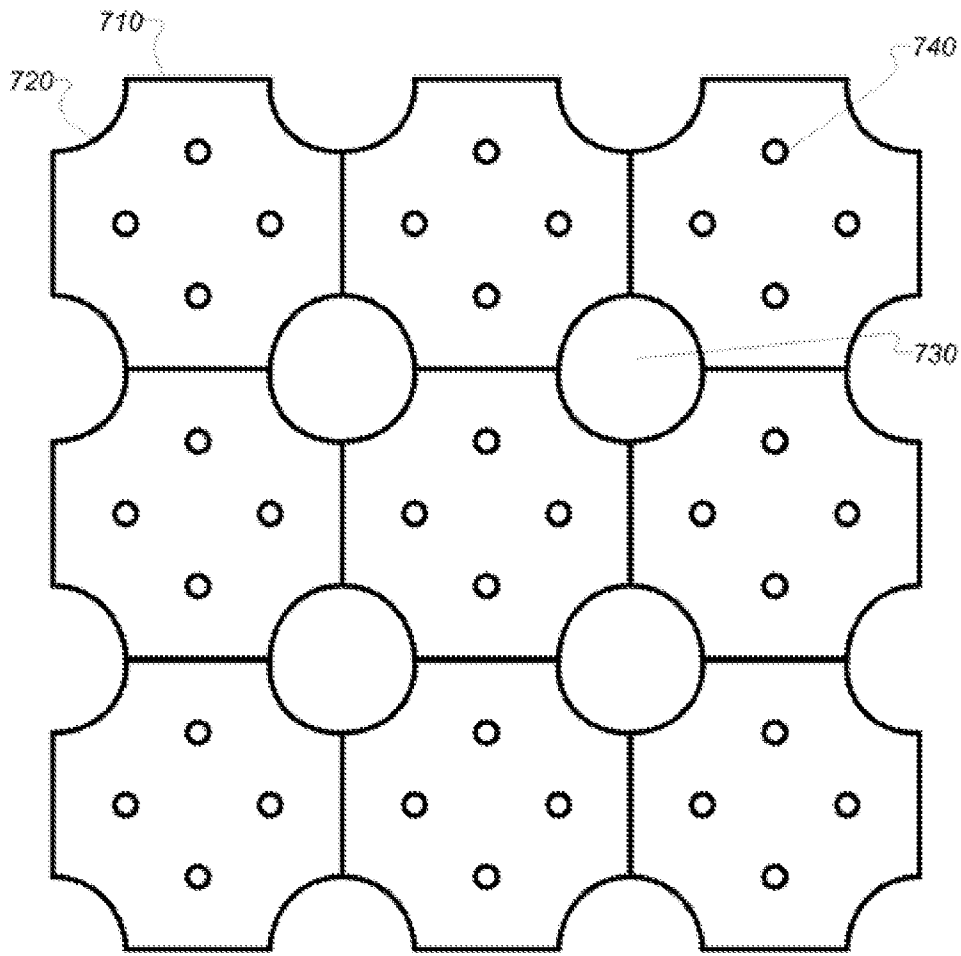


FIGURA 7

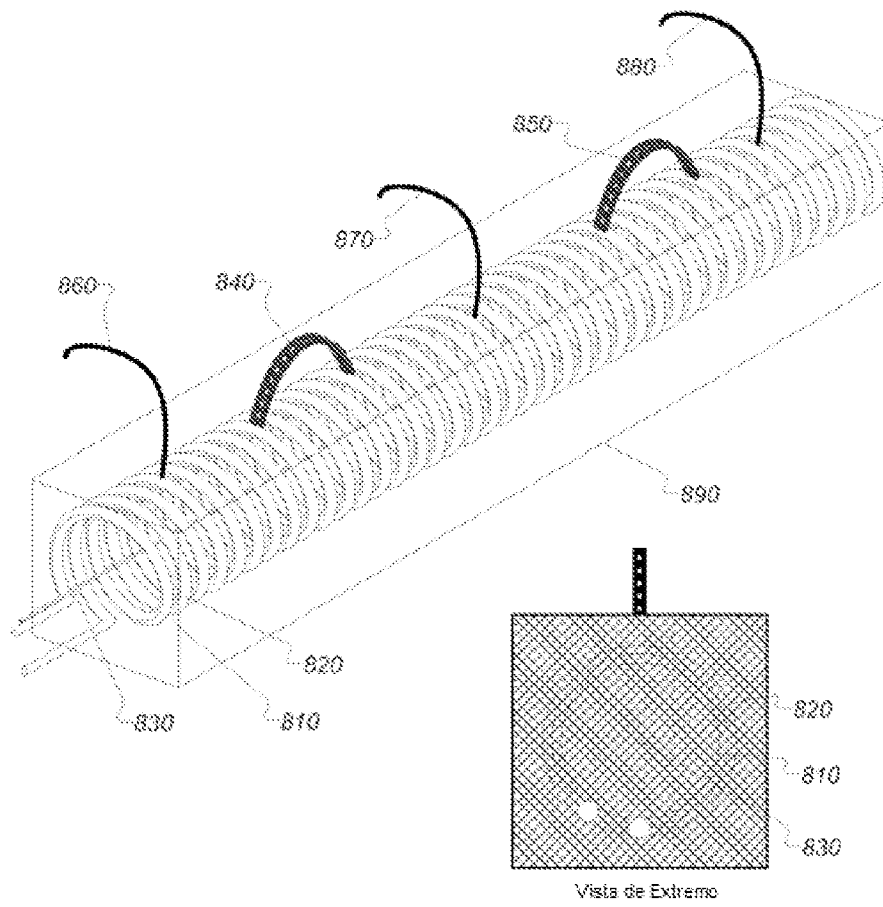


FIGURA 8

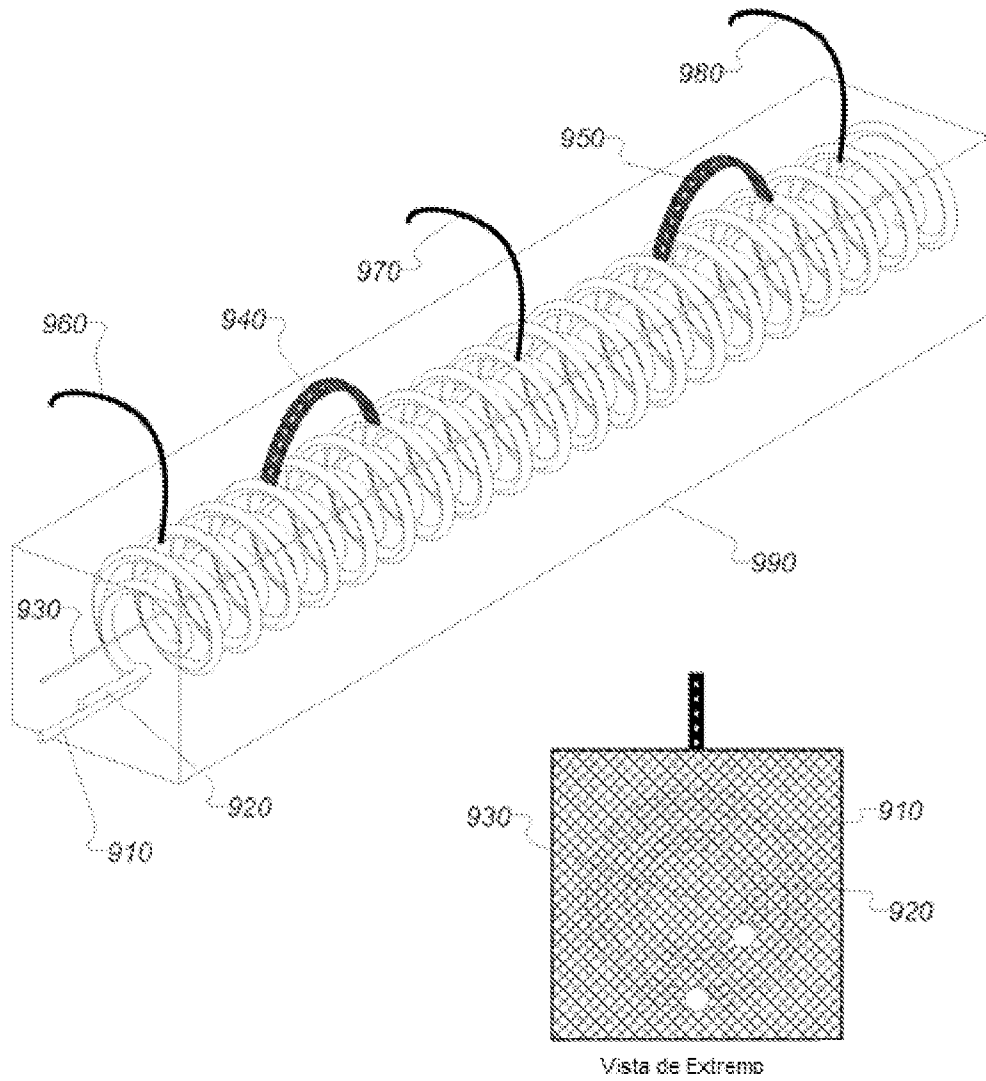


FIGURA 9

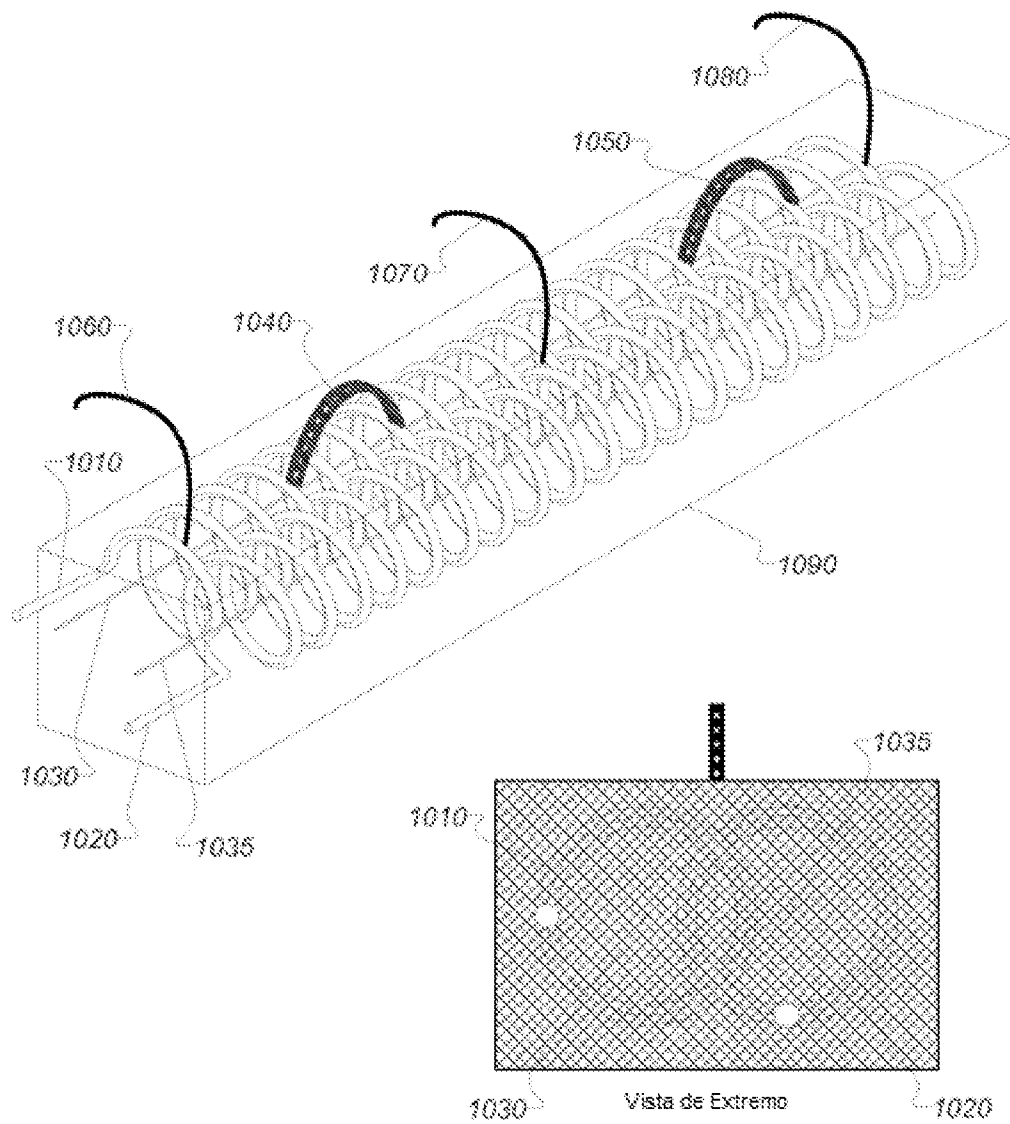


FIGURA 10

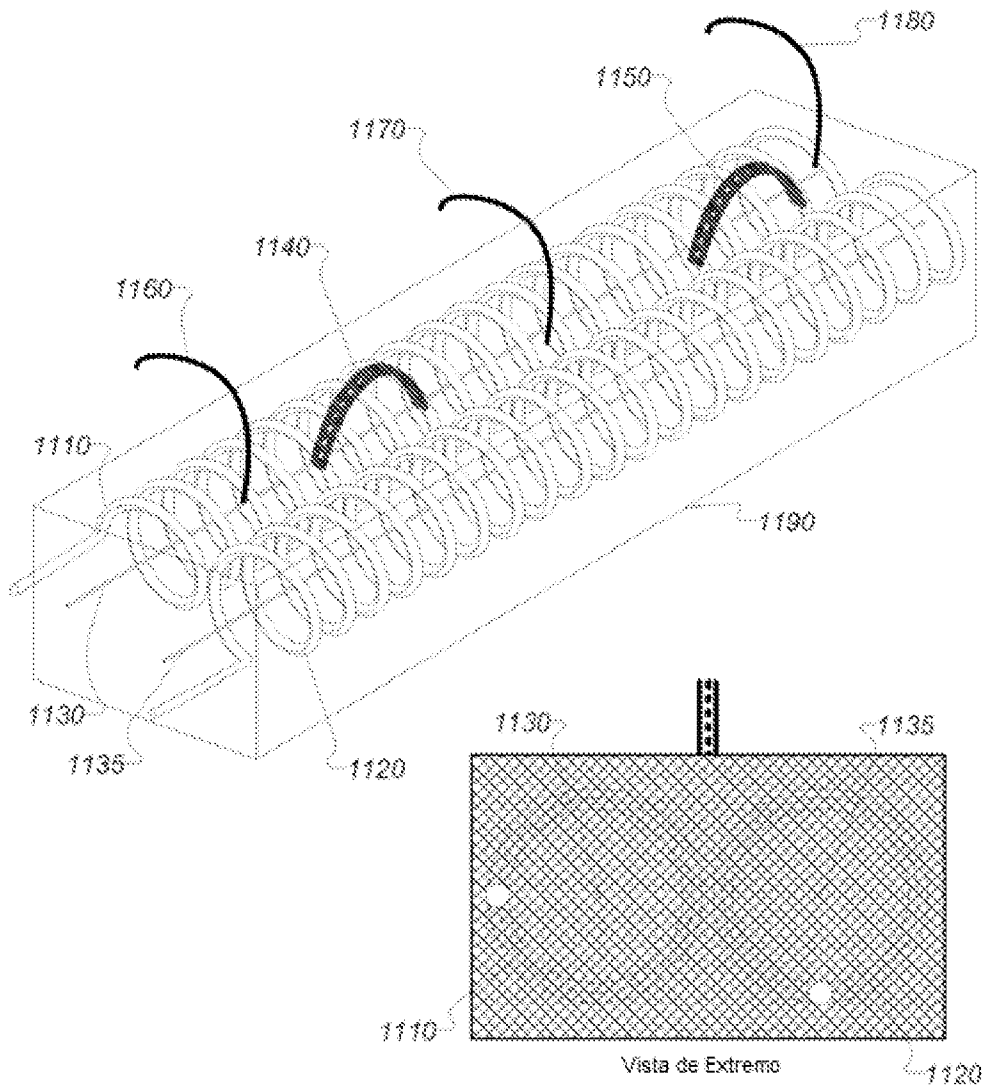


FIGURA 11

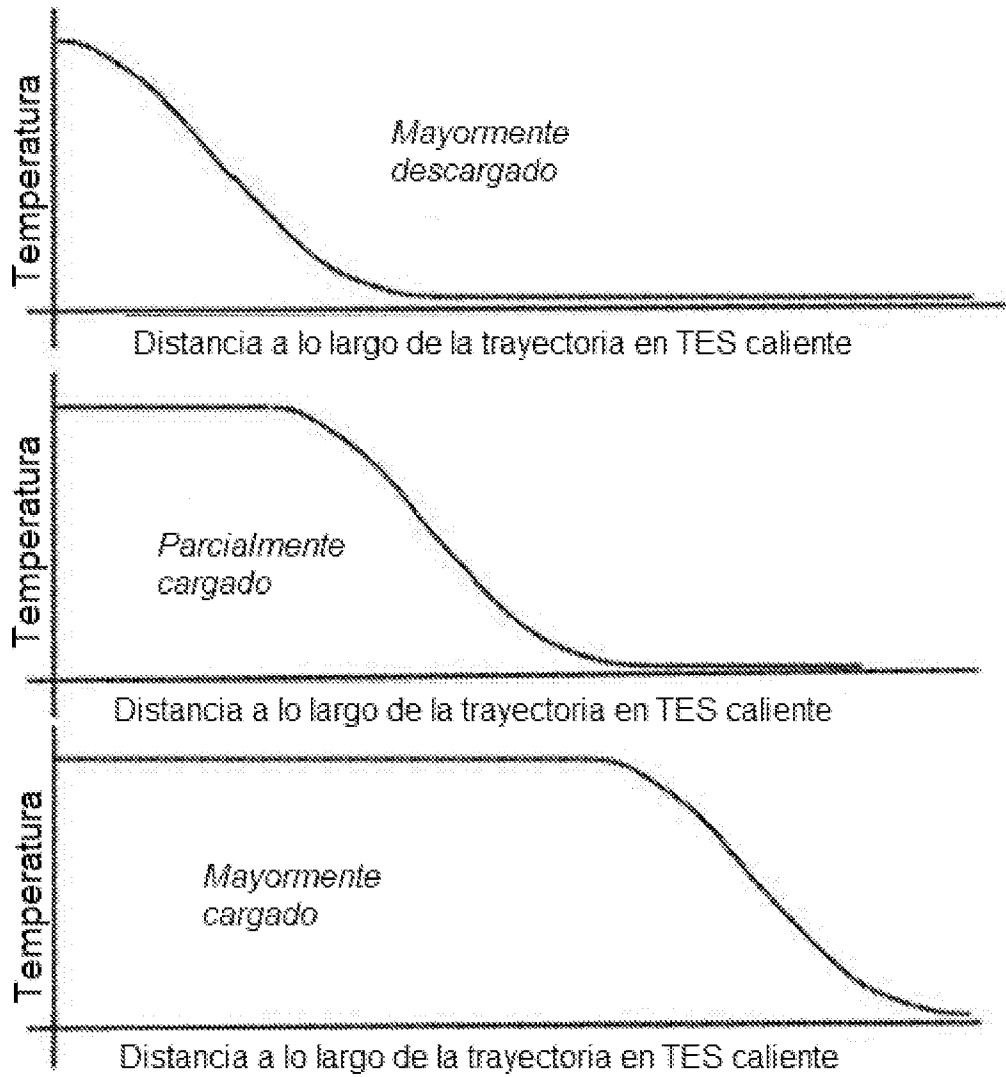


FIGURA 12