

DISPOSITIVO PARA ACUMULACIÓN Y APROVECHAMIENTO TÉRMICO POR MEDIO DE SUBSTRATO ROCOSO Y CILINDROS DE INDUCCIÓN DE CONVECCIÓN TÉRMICA

Campo de la Invención

Esta invención está relacionada con el sector tecnológico de la ingeniería mecánica, en el subsector de procesos térmicos y aparatos, constituida por la modificación de tanques almacenamiento de petróleo o agua para ser convertidos en acumuladores térmicos, utilizando un sustrato rocoso como acumulador de calor, y cuyo aprovechamiento térmico se ve mejorado por medio de la instalación de cilindros inductores de convección térmica constituidos por cilindros perforados o ranurados.

Estado de la técnica

La energía térmica de baja entalpía, almacenada en el de agua caliente que se obtiene como subproducto de la producción de petróleo, usualmente no es aprovechada y se desperdicia al ser nuevamente inyectada en el subsuelo o enfriada para ser dispuesta en superficie. La gran mayoría de los desarrollos sobre el almacenamiento y uso del calor se enfocan a fuentes de alta temperatura y los equipos para baja entalpía que están disponibles actualmente en el mercado son de costo elevado tanto en su precio de compra como en su costo de mantenimiento. El presente invento busca integrar dentro del recipiente acumulador tanto el almacenamiento de calor como el aprovechamiento de este, por medio de ciclos de carga y descarga, aplicando modificaciones a recipientes existentes que logren un bajo coste y un aprovechamiento razonable de la energía que de otro modo no sería usada. Los sistemas actuales buscan maximizar el almacenamiento de calor en detrimento de la capacidad de aprovechamiento, en tanto que el invento actual busca mejorar la entrega energética para incrementar el aprovechamiento, buscando un balance entre almacenamiento-aprovechamiento, dentro de un mismo recipiente acumulador.

El almacenamiento de calor se ha desarrollado como forma de almacenar y utilizar energía térmica sobrante de actividades industriales y generación de electricidad, sus mayores desarrollos se encuentran en los rangos de media a alta entalpía, en temperaturas superiores a 400° Centígrados, utilizando tanto sustratos solidos como fluidos y sales (Tabla 1).

Tecnología de Almacenamiento	Tiempo de Almacenamiento	Método de Entrada de calor	Rango de Temperatura (°C)	Eficacia	Estado de la Tecnología
Acumulador de Vapor	Horas	Vapor Saturado	250-300	Alto	Comercial (CSP)
Aceite	Horas	Intercambiador de Calor	<400	Medio	Comercial (CSP)
Hormigón	Horas para Días	Aceite y Vapor	400 - 600	Medio a Alto	Laboratorio Planta Piloto
Sales de nitrato	Horas para Días	Intercambiador de Calor	290-565	Alto	Comercial (CSP)
Sales de cloruro	Horas para Días	Intercambiador de Calor	500-725	Alto	Laboratorio
Arena	Horas para Semanas	Intercambiador de Calor	<1000	Medio a Alto	Planta Piloto
Roca triturada	Horas para Semanas	Intercambiador de Calor	<800	Medio	Planta Piloto
Vapor de condensación a contracorriente	Horas	Vapor Saturado	250-300	Muy alto	Laboratorio
Hierro fundido	Horas para Días	Bucle Secundario	100-700/900	Alto	Estudios
Geotérmico	Horas para Años	Intercambiador de Calor o Vapor	<300	Bajo a Medio	Estudios
Agua fría	Horas para Días	Intercambiador de Calor	0	Alto	Estudios
Grafito	Horas	Bucle Primario	<1400	Alto	Estudios

Tabla 1 Tomada y Modificada de “Heat Storage Coupled to Generation IV Reactors for Variable Electricity from Base-load Reactors: Workshop Proceedings: Changing Markets, Technology, Nuclear-Renewables Integration and Synergisms with Solar Thermal Power Systems” Charles Forsberg, Piyush Sabharwall and Hans D. Gougar. MIT, 2019

La tecnología equiparable en estudio es el almacenamiento de calor a presión atmosférica en roca triturada, en el que el proyecto más avanzado es el “*Siemens Gamesa Renewable Energy (SGRE) electric thermal energy storage system (ETES)*”, que calienta roca triturada por medio de aire caliente a temperaturas aproximadas a 750°C, con un sustrato de aproximadamente 1000 toneladas de roca volcánica triturada (*“Heat Storage Coupled to Generation IV Reactors for Variable Electricity from Base-load Reactors: Workshop Proceedings: Changing Markets,*

Technology, Nuclear-Renewables Integration and Synergisms with Solar Thermal Power Systems” Charles Forsberg, Piyush Sabharwall and Hans D. Gougar. MIT, 2019). El aire se calienta por medio de calentadores eléctricos en momentos de bajos precios de la energía eléctrica y el calor es recuperado en los picos de los precios de energía.

Ejemplos de patentes relacionadas con la invención, son dadas a continuación.

Patente WO2017086813A1 “Recipiente de acumulación de energía térmica y modo de servicio del recipiente de acumulación de energía térmica”, describe un recipiente con sistema de acumulación térmica basado en dos fases una inmóvil (roca) y una móvil (agua), utiliza varias cámaras concéntricas para limitar la convección térmica, la entrada, conexión y salida del fluido caliente se realiza por medio de tubos perforados. Se diferencia en que los tubos se utilizan únicamente para el flujo unidireccional del fluido caliente, las paredes de las cámaras concéntricas se utilizan para restringir la convección térmica. El presente invento busca facilitar la convección térmica del fluido realizando un ciclo cerrado (celda de convección) dentro del tanque. La granulometría propuesta en la patente es de grano fino para restringir la convección térmica, mientras la propuesta para el cilindro de convección es de granulometría muy gruesa para propiciarla.

Patente US20160201995 “Sistema de almacenamiento de energía térmica que combina material sólido de calor sensible y material de cambio de fase”, La patente se refiere a un sistema de almacenamiento y recuperación de energía térmica, que utiliza como medio al menos un material de cambio de fase (sólido-líquido) y un material sólido de calor sensible para almacenar/recuperar el calor obtenido de una fuente externa en forma de calor latente de cambio de fase y calor sensible. Los citados materiales se encuentran debidamente alojados en el interior de un único depósito que contiene al menos dos zonas diferenciadas por el rango de temperaturas a las que se encuentran sometidos, conteniendo cada zona un material diferente. Los inventos son similares en cuanto permite el flujo del fluido caliente libremente en la fase sólida, sin embargo, se diferencian zonas de mayor y menor temperatura con sustratos diferentes, que tratan de controlar la convección

térmica, busca un flujo continuo de calor, a diferencia del invento actual, que busca aprovechar el calor en fases de carga-descarga, utilizando el mismo líquido (agua) como cargador de energía en un flujo continuo transversal y posteriormente como sistema de entrega de calor en un flujo en celdas de convección con el tanque cerrado al flujo externo.

Patente US20160348986 “Almacenamiento de energía térmica con convección natural interna reducida”, la patente consiste en un dispositivo de almacenamiento de energía térmica que comprende una carcasa, una estructura de almacenamiento de energía térmica dispuesta dentro de la carcasa, comprendiendo la estructura de almacenamiento de energía térmica elementos de almacenamiento de energía térmica y una pluralidad de elementos divisores, estando dispuestos los elementos divisores de tal manera que los elementos de almacenamiento de energía térmica están divididos en una pluralidad de capas, una entrada de fluido, estando la entrada de fluido en comunicación fluida con la carcasa y adaptada para recibir un fluido de trabajo y proporcionar un flujo de fluido de trabajo hacia la carcasa, y una estructura reductora de convección dispuesta adyacente a la estructura de almacenamiento de energía térmica en un lado de la estructura de almacenamiento de energía térmica que mira hacia la entrada de fluido. Esta patente busca reducir el flujo de convección por medio de barreras físicas, el flujo de entrada y salida del líquido caliente es unidireccional y el calor se recupera posteriormente al hacer fluir un líquido de menor temperatura a través del sustrato sólido para ser calentado. En el presente invento se busca propiciar la convección térmica para el aprovechamiento de calor por equipos ubicados en la parte superior del tanque.

Breve descripción de la invención

La energía térmica de baja entalpía, almacenada en el de agua caliente que se obtiene como subproducto de la producción de petróleo, usualmente no es aprovechada y se desperdicia al ser nuevamente inyectada en el subsuelo o enfriada para ser dispuesta en superficie. Los equipos disponibles actualmente en el mercado son de costo elevado tanto en su precio de compra como en su costo de mantenimiento. La invención busca aprovechar tanques en desuso para ser modificados, con el fin de cogenerar energía desde fuentes con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La invención se usa para acumular y aprovechar energía térmica de baja entalpía, almacenada en agua caliente proveniente de diferentes fuentes, en especial el agua proveniente del subsuelo ya sea de forma natural (aguas termales) o por procesos industriales (agua de producción de hidrocarburos), utilizando tanques de almacenamiento existentes destinados inicialmente a otros usos o tanques contruidos especialmente para tal fin. Los cilindros inductores de convección térmica dirigen de manera mejorada la energía térmica hacia un punto donde se pueden instalar diferentes tipos de equipos que permitan su aprovechamiento, que pueden incluir motores Stirling de baja temperatura o bombas de calor, entre otros.

La invención se relaciona con el almacenamiento térmico en una fase sólida y una fase fluida que permite la movilización de la energía dentro del tanque. El invento específicamente facilita la convección térmica del fluido, en dirección a los equipos de aprovechamiento de calor externos al tanque, permitiendo una mejora en la energía entregada a los equipos, tanto en potencia como en tiempo de entrega de energía, con respecto a un volumen de agua equiparable.

La invención incluye un cilindro perforado o ranurado que facilita las corrientes de convección térmica del fluido intersticial ubicado entre las rocas de un substrato rocoso utilizado para el almacenamiento de calor procedente de aguas de formación de la coproducción de hidrocarburos.

El acumulador térmico consta de un tanque de almacenamiento de petróleo o agua que sea destinado para la reconversión, dicho tanque deberá ser adecuado con un revestimiento de aislamiento térmico, y ser debidamente reforzado y estabilizado, así como construir accesos en la parte superior del tanque, con el fin de realizar el llenado con un volumen del tanque preferiblemente entre un 75% al 85% con un sustrato rocoso compuesto por una granulometría con tamaños entre grava gruesa y piedras (Attemberg) y una porosidad final aproximada ente el 40% al 50%.

Los cilindros de inducción de convección térmica deberán se instalados durante la fase de adecuación del tanque, el diámetro del cilindro y el tamaño de las perforaciones o ancho de las ranuras se definirá a partir de la granulometría del sustrato rocoso.

Los cilindros de inducción de convección térmica se ubicarán de manera vertical y abiertos en la parte superior del tanque, con el fin de permitir el acople con el sistema de aprovechamiento de calor que puede ser un motor tipo Stirling, bomba de calor, entre otros. La cantidad de cilindros de inducción de convección térmica se determinarán de acuerdo con el tamaño del tanque utilizado como acumulador térmico.

Breve descripción de las figuras

Figura 1. Presenta una vista Isométrica externa del dispositivo para acumulación y aprovechamiento térmico por medio de sustrato rocoso y cilindros de inducción de convección térmica.

Figura 2. Presenta una vista con corte longitudinal de la Figura 1.

Figura 3. Presenta una vista con corte longitudinal de la Figura 1, mostrando la disposición interna del sustrato rocoso con respecto a los cilindros de inducción de convección.

Figura 4. Presenta una vista con corte longitudinal de la Figura 3, mostrando una representación de las líneas de flujo del agua caliente, durante la etapa de recarga térmica.

Figura 5. Presenta una vista con corte longitudinal de la Figura 3, mostrando una representación de las líneas de flujo de la convección térmica del agua, durante la etapa de aprovechamiento térmico.

Figura 6. Presenta un gráfico de las curvas de desempeño de RPM Vs Temperatura Interna, en el que se comparan diferentes pruebas con distintos arreglos dentro del prototipo.

Descripción detallada de la invención

La invención busca obtener una mejora en el aprovechamiento del calor procedente del agua que acompaña a la producción de hidrocarburos; debido al gradiente geotérmico, el agua que acompaña a los hidrocarburos puede tener temperaturas superiores a 70° Centígrados. Por medio de la conversión de tanques para almacenamiento de crudo o agua, que se encuentren en desuso en campos petroleros, se puede obtener un sistema de acumulación de calor aprovechando el calor del agua, que posteriormente pueda ser utilizado para diferentes usos dentro de las instalaciones del campo petrolero.

El dispositivo para acumulación y aprovechamiento térmico por medio de substrato rocoso y cilindros de inducción de convección térmica (1) consta de un tanque (2) de almacenamiento de petróleo o agua que sea destinado para su conversión, dicho tanque deberá ser adecuado con un revestimiento de aislamiento térmico (3) y reforzamiento estructural (4).

La invención incluye cilindros de inducción de convección térmica (5) que facilitan las corrientes de convección térmica del fluido intersticial ubicado entre las rocas de un substrato rocoso utilizado para el almacenamiento de calor procedente de aguas de formación de la coproducción de hidrocarburos; dichos cilindros de inducción de convección térmica (5) constan de un cilindro perforado o ranurado, el diámetro del

cilindro y el tamaño de las perforaciones o ancho de las ranuras se definirá a partir de la granulometría del sustrato rocoso (6).

El dispositivo para acumulación y aprovechamiento térmico por medio de sustrato rocoso y cilindros de inducción de convección térmica (1) será llenado preferiblemente entre un 75% al 85% con un sustrato rocoso (6) compuesto por rocas con una granulometría con tamaños entre grava gruesa y piedras (Attemberg) obteniendo una porosidad final del sustrato ente el 40% al 50%.

Los cilindros de inducción de convección térmica (5) se ubicarán de manera vertical y se conectan unas aberturas (7) ubicadas en la parte superior del tanque, dispuestas con el fin de permitir el acople con el sistema de aprovechamiento de calor que puede ser un motor tipo Stirling, bomba de calor, etc. La cantidad de cilindros de inducción de convección térmica se determinarán de acuerdo con el tamaño del tanque utilizado como acumulador térmico.

El acumulador térmico funcionará en dos fases, denominadas respectivamente “carga térmica” y “aprovechamiento térmico”.

La fase de carga térmica consiste en permitir el flujo libre (8) y a presión atmosférica del agua caliente de producción proveniente del sistema de tratamiento de petróleo. Este flujo de agua caliente por el interior del acumulador térmico no interrumpe o restringe el flujo de agua desde el sistema de tratamiento hasta la disposición final o vertimiento del agua, no obstante, permite que el sustrato rocoso incremente paulatinamente su temperatura hasta igualar la temperatura del agua de formación. Una vez se logre el punto en que se igualan las temperaturas del sustrato rocoso con la del agua de producción, finaliza la fase de carga térmica y son cerradas las válvulas del tanque tanto a su entrada como a su salida y el flujo de agua es desviado para no ser interrumpido.

La fase de aprovechamiento térmico inicia cuando el flujo de agua externo es interrumpido y dentro del tanque permanece el sustrato rocoso a la temperatura máxima del agua, y un volumen de agua remanente permanecerá dentro del espacio intersticial y que cumplirá la función de fluido de convección térmica. Una

vez los equipos de aprovechamiento térmico inicien a operar (motor Stirling, bomba de calor, etc), el fluido de convección (agua intersticial) empezará a fluir por convección (9) desde las zonas más calientes ubicadas en el sustrato rocoso, hacia las zonas más frías ubicadas en la base de los equipos de aprovechamiento de calor, los cilindros de convección térmica permiten que el flujo de convección sea más eficiente al permitir que el flujo sea direccionado a la base de los equipos de aprovechamiento térmico, con menos turbulencias y que permite el flujo de agua caliente desde el sustrato rocoso ubicado en la parte baja del tanque.

Con el fin de determinar que mejora en la entrega de potencia a los equipos de aprovechamiento térmico se obtendría de este tipo de acumulador térmico, se construyó un prototipo a escala que permitiera evaluar la potencia obtenida con respecto a la temperatura interna del acumulador. El prototipo consta de un recipiente aislado térmicamente conectado en su parte superior con un motor Stirling que cuenta en su disco volante con un contador de revoluciones por minuto (RPM), al nivel de la base del motor Stirling se ubicó una termocupla para medir la temperatura en ese punto.

Se realizaron diferentes ensayos con sustratos rocosos de diferentes granulometrías y mineralogías, así como con diferentes diseños de cilindros de convección térmica; Se relacionaron las temperaturas internas del prototipo (10) con las diferentes curvas de desempeño, la curva 1, presenta el desempeño en RPM del motor con únicamente agua (11), la curva 2 muestra el desempeño en RPM del motor con agua y sustrato rocoso (12) y la curva 3 muestra el desempeño en RPM del motor con agua, sustrato rocoso y el cilindro de inducción térmica (13).

Los resultados de los ensayos muestran que en general, para el rango de temperatura interna del acumulador ubicado entre 75°C a 63°C, con respecto a un volumen de únicamente agua (11) el sustrato rocoso incrementa la potencia del motor entre 15% al 25% (12), sin embargo, paulatinamente el incremento se potencia disminuye a menores temperaturas. Utilizando el cilindro de convección térmica, el incremento de potencia es similar entre un 15% al 25%, pero el

comportamiento del motor es más estable y constante manteniéndose en rangos de temperaturas mucho más amplios entre 75°C hasta 50°C (13), lo que se traduce en un aumento en la potencia disponible para el motor mayor al 25% con respecto a un sistema de un acumulador térmico que solo cuente con agua.