

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 006 479**

51 Int. Cl.:

F24T 50/00 (2008.01)

F24T 10/40 (2008.01)

H10N 10/13 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.04.2018** **PCT/ES2018/070317**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.10.2019** **WO19202180**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2018** **E 18915683 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2024** **EP 3783277**

54 Título: **Generador termoeléctrico sin partes móviles aplicado a la energía geotérmica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
18.03.2025

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA (100.00%)
Campus de Arrosadía
31006 Pamplona, ES

72 Inventor/es:

ASTRAIN ULIBARRENA, DAVID;
CATALAN ROS, LEYRE;
ARANGUREN GARACOCHEA, PATRICIA y
ARAIZ VEGA, MIGUEL

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 3 006 479 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

Generador termoeléctrico sin partes móviles aplicado a la energía geotérmica

Campo técnico

La invención pertenece a los sectores de la energía geotérmica de roca caliente seca, y al seguimiento y monitorización de la actividad volcánica. En particular, se refiere a un dispositivo para convertir energía geotérmica en energía eléctrica utilizable a partir de generadores termoeléctricos basados en efecto Seebeck.

Antecedentes de la invención

La denominada energía geotérmica de roca caliente seca dispone de los recursos geotérmicos más comunes y abundantes. Por ejemplo, en Estados Unidos, representan el 99% de todos los yacimientos existentes. Sin embargo, la generación eléctrica a partir de los mismos tiene una gran complejidad, ya que no cuentan ni con el reservorio ni con el fluido de trabajo necesarios para la generación convencional basada en el ciclo Rankine con turbinas de vapor. Por tanto, los reservorios han de ser contruidos de manera artificial mediante un proceso consistente en el bombeo a alta presión de un fluido para provocar la fractura hidráulica de la roca caliente. Con el reservorio creado, se inyecta de manera cíclica un fluido de trabajo de tal manera que absorba parte del calor que contienen las rocas y se procede a la generación eléctrica mediante el turbinado del fluido vaporizado, dando lugar a lo que se conoce como sistema geotérmico estimulado. El procedimiento de fractura hidráulica presenta inconvenientes muy importantes, como las sismicidades inducidas, que son especialmente graves en los yacimientos ligados al vulcanismo reciente. A estos inconvenientes hay que añadir que los equipos empleados en los ciclos Rankine, como turbinas, bombas, torres de refrigeración, etc., son complejos, costosos y de elevado coste de mantenimiento y operación. Esta serie de problemas técnicos provoca que sean muchos los yacimientos geotérmicos de roca caliente seca que, a pesar de las altas temperaturas que presentan, no se encuentran actualmente en explotación.

Frente a la tecnología basada en el ciclo de Rankine con turbinas de vapor, se han descrito también sistemas basados en la extracción del calor del subsuelo por medio de "heat pipes" (tubos de calor). Muchos de ellos tienen por finalidad el aprovechamiento del calor obtenido con fines de calefacción, sin ninguna relación con la generación de electricidad por medio de módulos termoeléctricos; por tanto se refieren a un problema técnico diferente que la presente invención. Es el caso de los documentos de patentes o modelos de utilidad WO201481911A2, CN206637706U, CN201145446Y y CN101832673B. Se han identificado también algunos documentos que describen la extracción del calor por medio de "heat pipes" que en su parte condensadora ceden el calor a módulos termoeléctricos, como la patente coreana KR20090130910A, que utiliza "heat pipes" recubiertos de material aislante, o la solicitud china CN105656353A, que también utiliza un "heat pipe" recubierto de una capa aislante térmica.

Se observan diferencias técnicas entre la citada KR20090130910 y la presente propuesta: en la primera se utiliza un único módulo termoeléctrico acoplado al tubo de calor, y la disipación final del calor desde el lado frío del módulo termoeléctrico se logra mediante aletas o radiadores, mientras que en la presente invención se dispone de al menos dos módulos termoeléctricos que a su vez disipan el calor desde su lado frío por medio de sus respectivos termosifones de cambio de fase.

La solicitud CN105656353A describe la aplicación de la electricidad obtenida a la generación de luz y da importancia a la transmisión del calor a larga distancia, incluyendo en su "heat pipe" módulos intermedios de intercambio de calor, innecesarios en la presente invención.

Los termosifones y los tubos de calor son dispositivos pasivos que funcionan utilizando el calor latente de un fluido interno, denominado fluido de trabajo, para transferir grandes cantidades de calor con diferencias de temperaturas mínimas. Estos intercambiadores de calor de alta conductancia térmica están divididos en tres secciones: evaporador, sección adiabática y condensador. El funcionamiento de estos dispositivos comienza con un flujo de calor aplicado al evaporador, causando la vaporización del fluido de trabajo. El vapor circula a través de la región adiabática hasta el condensador, en donde éste condensa cediendo su calor de cambio de fase y retorna al evaporador para absorber de nuevo un flujo de calor, logrando de esta manera funcionar continuamente. Es en el retorno del líquido en donde los termosifones difieren claramente de los tubos de calor ("Heat pipes: theory, design and applications", David Reay, Ryan McGlen, Peter Kew, 2014). Los tubos de calor necesariamente disponen de un material poroso en su interior que emplea la capilaridad para mover el líquido desde el condensador hasta el evaporador. En el caso de los termosifones, el retorno de los condensados se realiza por efecto de la gravedad, y por ello necesariamente el evaporador debe colocarse en la parte baja del dispositivo.

Una característica única de este tipo de intercambiadores es que el evaporador puede situarse a una gran distancia del condensador sufriendo una diferencia mínima de temperatura. Es por ello que los tubos de calor se han utilizado para transportar el calor geotérmico desde varios metros de profundidad a la superficie. Sin embargo, al ser necesario el uso de un material poroso en su interior, los tubos de calor son difíciles y costosos de fabricar, además de presentar una mayor resistencia térmica debida a dicho material poroso.

En prácticamente todos los volcanes existentes en el mundo se realiza un seguimiento tanto por satélite, como terrestre mediante estaciones remotas equipadas con sondas para la detección de movimientos sísmicos, análisis de gases y

medidas de flujo de calor. Los datos registrados por dichas sondas son enviados mediante sondas de radio a un centro de tratamiento de datos donde se procesan.

Este sistema de detección y registro de variables del que constan las estaciones remotas de vigilancia volcánica, necesita de un aporte de energía para poder funcionar, que alimente eléctricamente tanto a las sondas como al sistema de emisión de la señal. Este consumo de energía varía en función del número de sondas y su frecuencia de emisión de datos, pero se puede cifrar entre 1 y 5 Wh/día.

Lógicamente la gran mayoría de las estaciones de vigilancia volcánica están situadas en zonas de difícil acceso y sin posibilidad de conexión a la red eléctrica, de modo que necesitan de un sistema de aporte energético autónomo. En algunos de los emplazamientos donde se sitúan estas estaciones, la instalación de un panel fotovoltaico realiza esa función de suministro de energía. No obstante, con este sistema se hace necesaria la presencia de una batería que, dependiendo de la climatología y la presencia de cenizas volcánicas, puede llegar a ser de un tamaño importante. Además, existen muchas localizaciones de las estaciones de vigilancia volcánica, que por su altitud registran inviernos duros con un largo periodo de tiempo con importantes nevadas, que inhabilitan el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos. En estos casos son necesarias importantes baterías que deben de ser cambiadas cada cierto tiempo, normalmente en helicóptero. O la pérdida de la emisión de datos durante periodos invernales.

Por tanto, existe un problema tecnológico derivado de la pérdida de la emisión de datos en periodos invernales y de la necesidad de la utilización de baterías, que periódicamente deben de ser cambiadas, con la dificultad y coste que ello acarrea.

Sumario de la invención

El objeto de la presente invención es el de proporcionar un generador termoelectrico aplicado a la energía geotérmica que resuelva los problemas técnicos descritos en el apartado anterior. Para ello, el dispositivo objeto de la invención está basado en generadores termoelectricos de efecto Seebeck asociados con intercambiadores de calor de tipo termosifón y cambio de fase. Esto reduce considerablemente sus necesidades de mantenimiento y alargan su vida útil, ya que no contienen partes móviles, además de presentar un reducido impacto ambiental y buena integración con el entorno, debido a su pequeño tamaño y la no necesidad de fractura de la roca. En comparación con los dispositivos que incorporan tubos de calor, son menos costosos y presentan mejor conductancia térmica, ya que se elimina la resistencia de conducción del material poroso. Este hecho permite que, al transportar el calor desde el foco caliente (en el suelo a profundidad) hasta el dispositivo generador termoelectrico, la diferencia de temperatura entre ambos focos sea menor, aumentando el rendimiento de la generación eléctrica. Los tubos de calor tienen además limitaciones en la potencia calorífica a disipar, debido al material poroso. Por lo tanto, las ventajas del uso de termosifones respecto de "heat pipes" son su mayor simplicidad y menor coste de fabricación, y su mejor eficiencia en la transmisión de calor a través de su pared, lo cual representa una ventaja para el fin perseguido en la presente invención. En cambio, la limitación de los termosifones de cambio de fase respecto de los tubos de calor consiste en que su posición necesariamente ha de situar el evaporador en la parte inferior y el condensador en la parte alta, para que el retorno del fluido condensado se produzca por acción de la gravedad. Sin embargo, esta limitación no impide los usos previstos para la generación de electricidad a partir de la roca caliente que, lógicamente, suele encontrarse en posición inferior respecto a la atmósfera donde termina la disipación del calor del dispositivo. Asimismo, se trata de una tecnología totalmente escalable, lo que facilita en gran medida la instalación y aplicación de la invención tanto a la baja como alta potencia. La invención encuentra una aplicación especialmente práctica en estaciones de vigilancia volcánica. Así, la invención propone un generador termoelectrico aplicado a la energía geotérmica que comprende un termosifón bifásico denominado del lado caliente, destinado a ser introducido hacia abajo en la roca, al menos dos módulos termoelectricos en contacto la parte del condensador del termosifón del lado caliente y al menos dos termosifones bifásicos situados respectivamente en el lado frío de cada módulo termoelectrico para disipar la potencia calorífica no aprovechable. Los termosifones del lado frío, a cada lado de los módulos termoelectricos, pueden tener distinto tamaño o estar formados por un número variable de tubos. Opcionalmente están provistos de aletas para mejorar la disipación.

Breve descripción de las figuras

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención y para complementar esta descripción, se acompañan como parte integrante de la misma las siguientes figuras, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo:

- La figura 1 muestra el principio de funcionamiento de la invención, que consiste en termosifones bifásicos a ambos lados de los módulos termoelectricos.
- La figura 2 muestra con mayor detalle un posible diseño de la invención propuesta.
- La figura 3 muestra las bajas resistencias térmicas que se consiguen con la invención.
- La figura 4 representa una gráfica de la producción de energía con un sistema según la invención.

Descripción detallada

El dispositivo de la invención comprende un termosifón bifásico, cuya parte inferior o evaporador está destinada a ser introducido en la roca (y al que a partir de ahora se le denominará termosifón del lado caliente), al menos dos módulos termoelectricos en contacto con el termosifón anterior en su parte superior o condensador y al menos dos intercambiadores de calor del tipo termosifón bifásico en el lado frío de los módulos termoelectricos para disipar la potencia calorífica no aprovechable, y asegurar así la diferencia de temperatura entre las dos caras de cada módulo termoelectrico, de la que depende la generación de electricidad. Los módulos termoelectricos transforman el calor del lado del condensador en electricidad gracias al efecto Seebeck. Este efecto describe la aparición de una fuerza electromotriz en un circuito formado por dos conductores de distinto material unidos por sus extremos cuando estas uniones se mantienen a distinta temperatura. Dicha fuerza depende del coeficiente Seebeck de cada uno de los materiales y de la diferencia de temperatura entre los dos conductores.

El funcionamiento del dispositivo se puede apreciar en la figura 1 donde, en una puesta en práctica particular, los módulos termoelectricos 2a y 2b y los termosifones del lado frío 3a y 3b están dispuestos de manera simétrica alrededor del condensador del termosifón del lado caliente 1. Este termosifón estará en contacto con el foco caliente del suelo, a determinada profundidad, para absorber calor de éste y transmitirlo a los módulos termoelectricos que están situados por encima de la superficie del suelo, quienes convierten parte de éste flujo calorífico en energía eléctrica. El resto del calor no convertido es evacuado al ambiente mediante los termosifones bifásicos colocados entre la cara fría de los módulos termoelectricos y el aire exterior. El fluido de trabajo es preferentemente agua.

El caso particular que se presenta en la Figura 1 muestra una puesta en práctica particular, en la que se tiene en el lado caliente un termosifón bifásico 1 formado por un único tubo. En la parte del condensador de este termosifón, se han colocado dos módulos termoelectricos 2a y 2b para transformar el calor proveniente de las rocas en energía eléctrica. Para disipar la energía que no se ha transformado en electricidad, se tiene un termosifón bifásico (denominado del lado frío) por cada módulo. El número de módulos termoelectricos es variable dependiendo del diámetro del termosifón del lado caliente, pero son al menos dos. El diámetro y longitud del termosifón del lado caliente dependerán del yacimiento en particular. Los termosifones de cambio de fase que extraen el calor del lado frío de los módulos termoelectricos, pueden estar provistos de aletas para aumentar el área de intercambio con el ambiente de manera que dicha disipación se produzca por la convección natural. También pueden estar formados por más de un tubo (figura 2).

Con todo, se tiene un generador termoelectrico robusto, sin partes móviles ni consumo auxiliar, totalmente escalable y con un impacto medioambiental mínimo debido a su pequeño tamaño y a que no es necesaria la fractura hidráulica de la roca.

En la figura 3 se muestran los resultados experimentales obtenidos con los dos tipos de termosifones que integran la presente invención: a) termosifón del lado frío, b) termosifón del lado caliente. El parámetro mostrado en la figura y que representa el comportamiento térmico de los dispositivos es la resistencia térmica R cuya expresión viene dada por:

$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}}$$

Donde: ΔT es el salto de temperatura entre focos. Diferencia entre la temperatura de la roca caliente y la cara caliente del módulo termoelectrico, para el caso del termosifón del lado caliente; y diferencia entre la cara fría del módulo termoelectrico y el ambiente para el caso del termosifón del lado frío, $\dot{Q}$ el flujo de calor que se absorbe de la roca caliente en el caso del termosifón del lado caliente y el flujo de calor que expulsa a la atmósfera en el caso termosifón del lado frío.

En definitiva, este parámetro es básicamente el inverso de la conductancia térmica e indica la resistencia que este dispositivo ofrece al flujo del calor. Así, una resistencia térmica baja significa que el dispositivo es capaz de transmitir el calor con poca caída de temperatura entre los focos. En concreto, el termosifón del lado frío desarrollado en esta invención ofrece valores inferiores a 0,23 K/W, lo que significa que para transportar 50W de calor, la caída de temperatura será sólo de 11,5K.

Así mismo el termosifón del lado caliente ofrece valores de resistencias térmicas también muy buenos, inferiores a 0,32 K/W, lo que indica que transportando 200W de calor desde la roca caliente hasta el módulo termoelectrico, la caída de temperatura será de 64K.

Estos bajos valores de resistencia térmica que se obtienen en esta invención, aseguran un mayor salto de temperaturas entre caras de los módulos termoelectricos, puesto que la temperatura de la cara caliente del módulo estará cercana a la de la roca caliente y la de la cara fría cercana a la del ambiente, lo cual proporciona elevados rendimientos de conversión de energía térmica a eléctrica, con la particularidad de hacerlo sin ninguna parte móvil y sin emplear material poroso.

Cabe indicar que tanto la resistencia térmica del termosifón caliente como del frío mejoran cuando aumenta la potencia calorífica intercambiada, debido fundamentalmente a los coeficientes de convección en cambio de fase y en convección natural.

En cuanto a generación eléctrica, se han conseguido generar 3,2 W eléctricos netos por cada módulo termoelectrico de 40x40mm, para una temperatura del foco caliente de 200°C, tal como se puede ver en la figura 4. Es decir que para esta puesta en práctica que lleva dos módulos termoelectricos, la generación eléctrica neta ha sido de 6.4W.

La invención tiene una especial aplicación práctica en estaciones de vigilancia volcánica.

- 5 Los generadores termoelectricos que se plantean en esta patente pueden aprovechar la emisión de calor de estas zonas volcánicas (normalmente en forma de fumarolas o bien directamente en forma de roca caliente) para suministrar energía eléctrica de manera continua a las estaciones de vigilancia volcánica, resolviendo así el mencionado problema tecnológico y mejorando su funcionamiento incluso en condiciones climatológicas adversas ya que se maximiza el salto de temperatura disponible.
- 10 A la vista de esta descripción y figuras, el experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes, sin exceder el objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.

REIVINDICACIONES

1. Generador termoeléctrico aplicado a la energía geotérmica que comprende un
5 termosifón bifásico (1) denominado del lado caliente, cuya parte inferior está destinada a ser introducida en el
 subsuelo caliente, al menos dos módulos termoeléctricos (2a, 2b)
 en contacto con la parte superior del termosifón (1) del lado caliente
 situada en contacto con la atmósfera,
 caracterizado porque el generador termoeléctrico comprende además al menos dos termosifones bifásicos
10 (3a, 3b) situados respectivamente en el lado frío de cada módulo termoeléctrico (2a, 2b) para disipar la potencia
 calorífica no aprovechable y asegurar la diferencia de temperaturas entre las dos caras de cada módulo
 termoeléctrico (2a, 2b).
2. Generador termoeléctrico aplicado a la energía geotérmica según la reivindicación 1, **caracterizado porque** los
 módulos termoeléctricos (2a, 2b), en número de dos o más, están dispuestos en posiciones simétricas respecto del
 eje longitudinal del termosifón caliente (1).
3. Generador termoeléctrico aplicado a la energía geotérmica según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque**
15 el fluido de trabajo de los termosifones bifásicos es agua.
4. Generador termoeléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los
 termosifones bifásicos (3a, 3b) del lado frío tienen aletas.
5. Generador termoeléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los
 termosifones bifásicos (3a, 3b) comprenden una pluralidad de tubos.
- 20 6. Uso de un generador termoeléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores como sistema de
 suministro de energía eléctrica *in situ* en estaciones de vigilancia y monitorización volcánica.

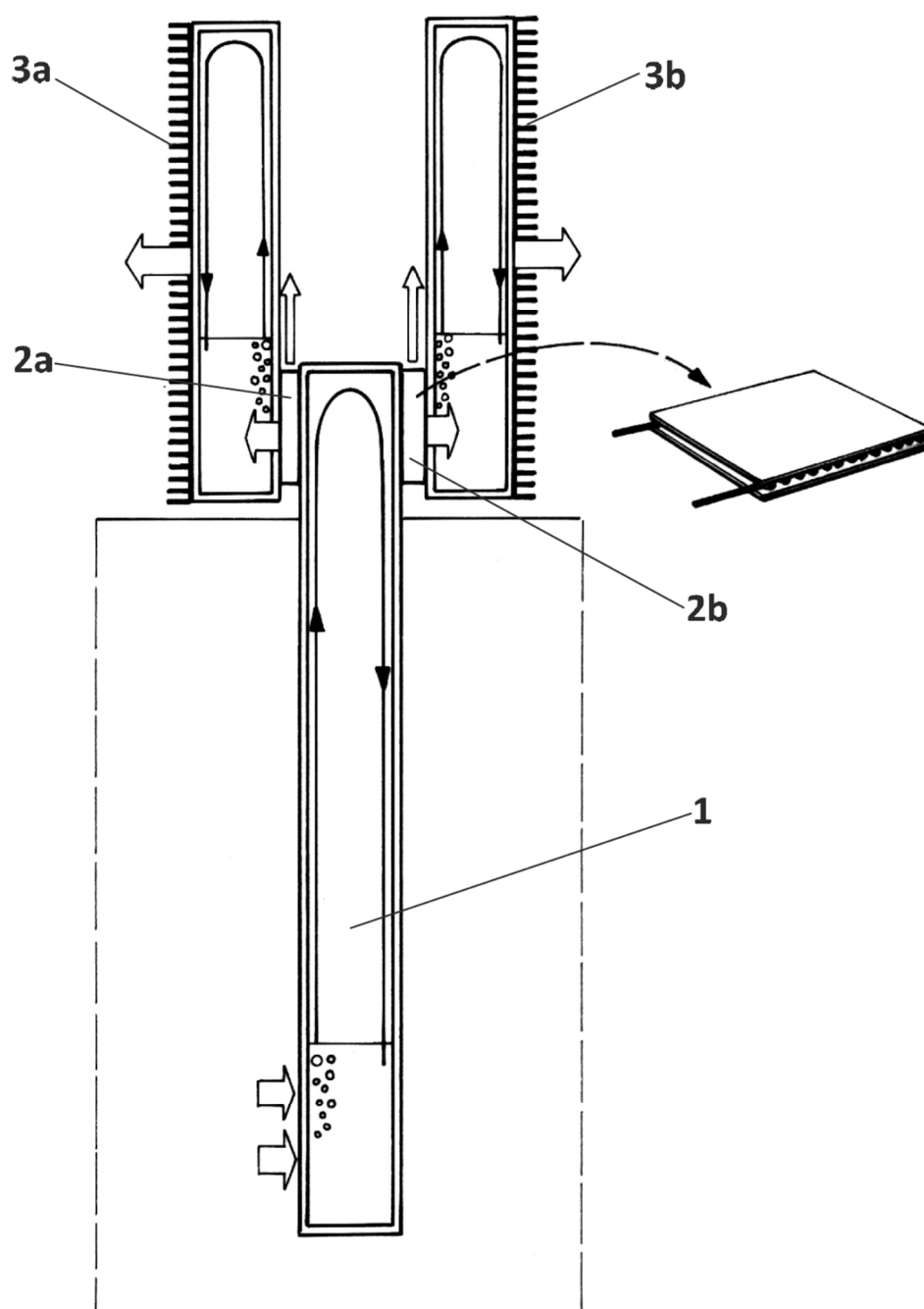
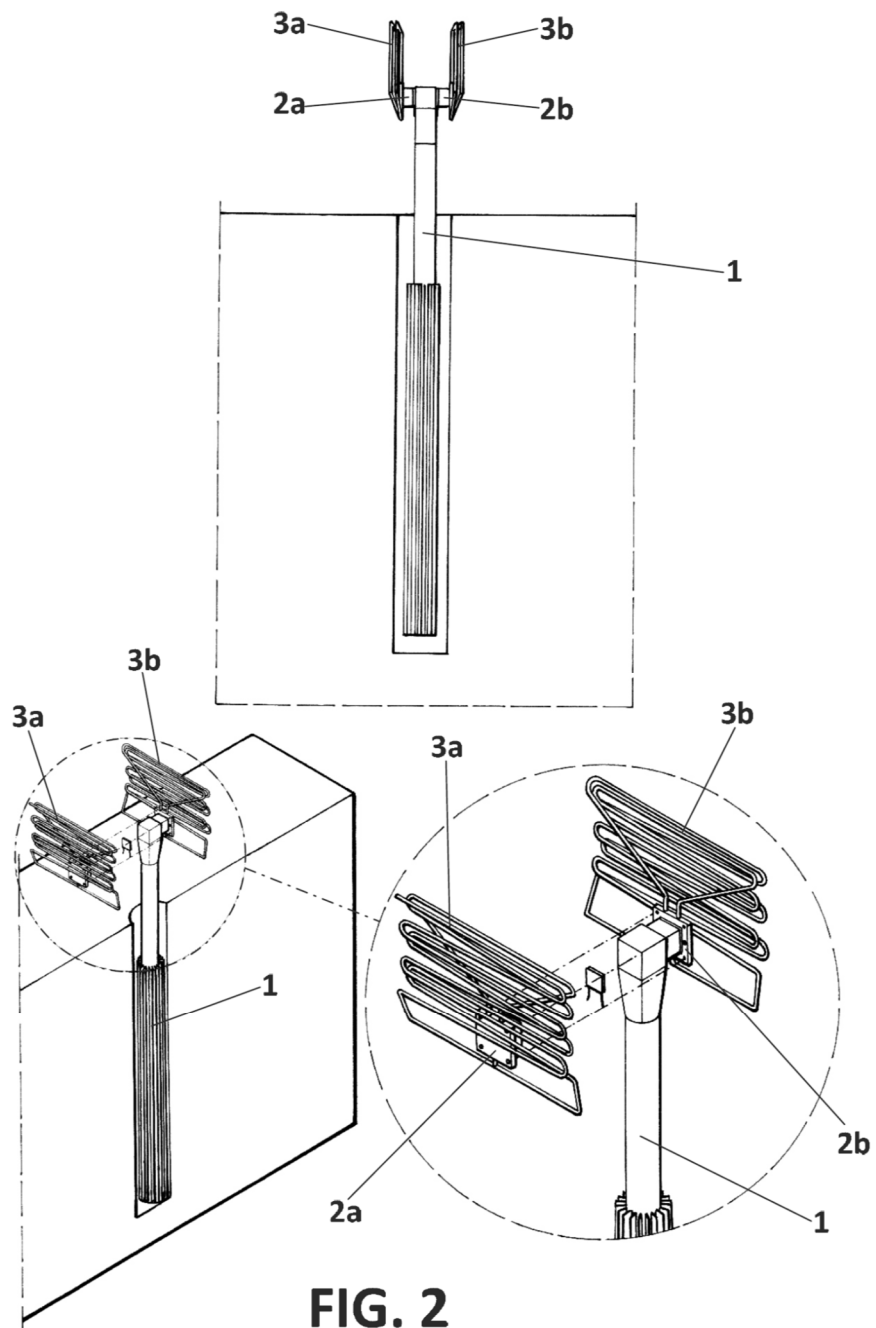


FIG. 1



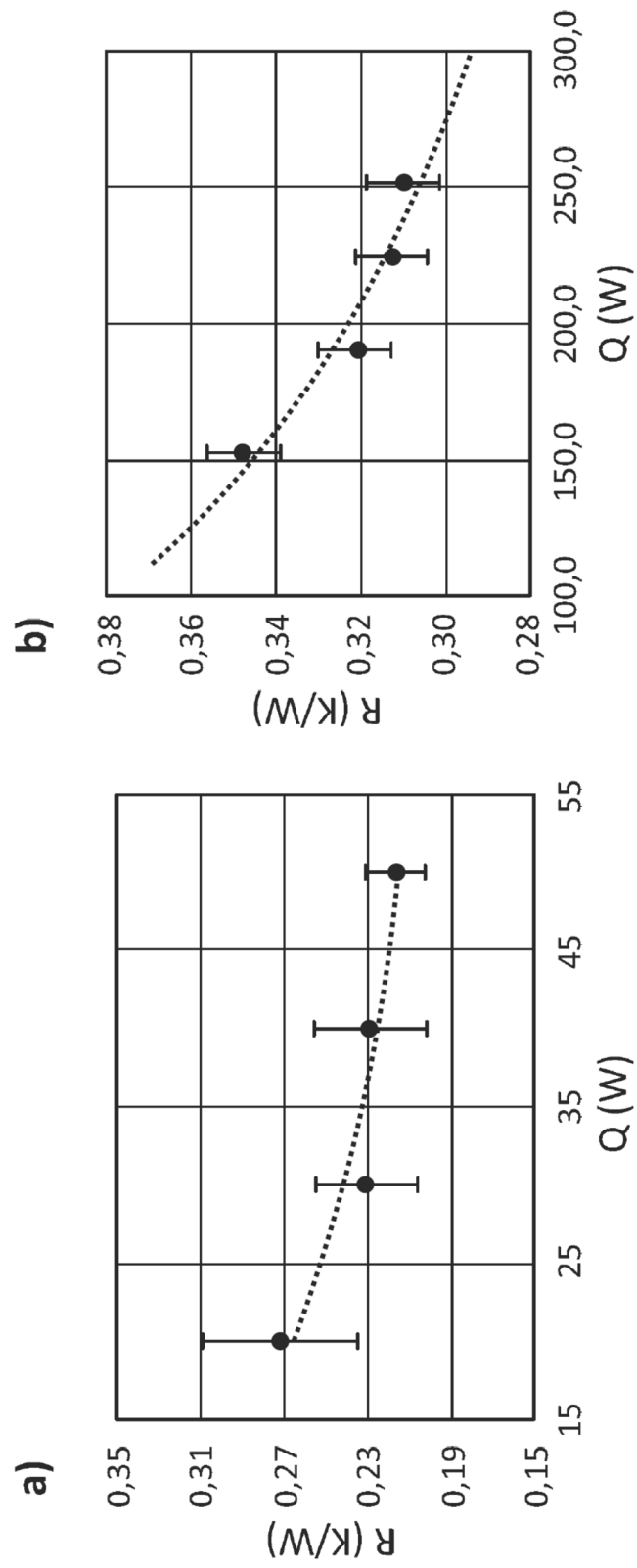


FIG. 3

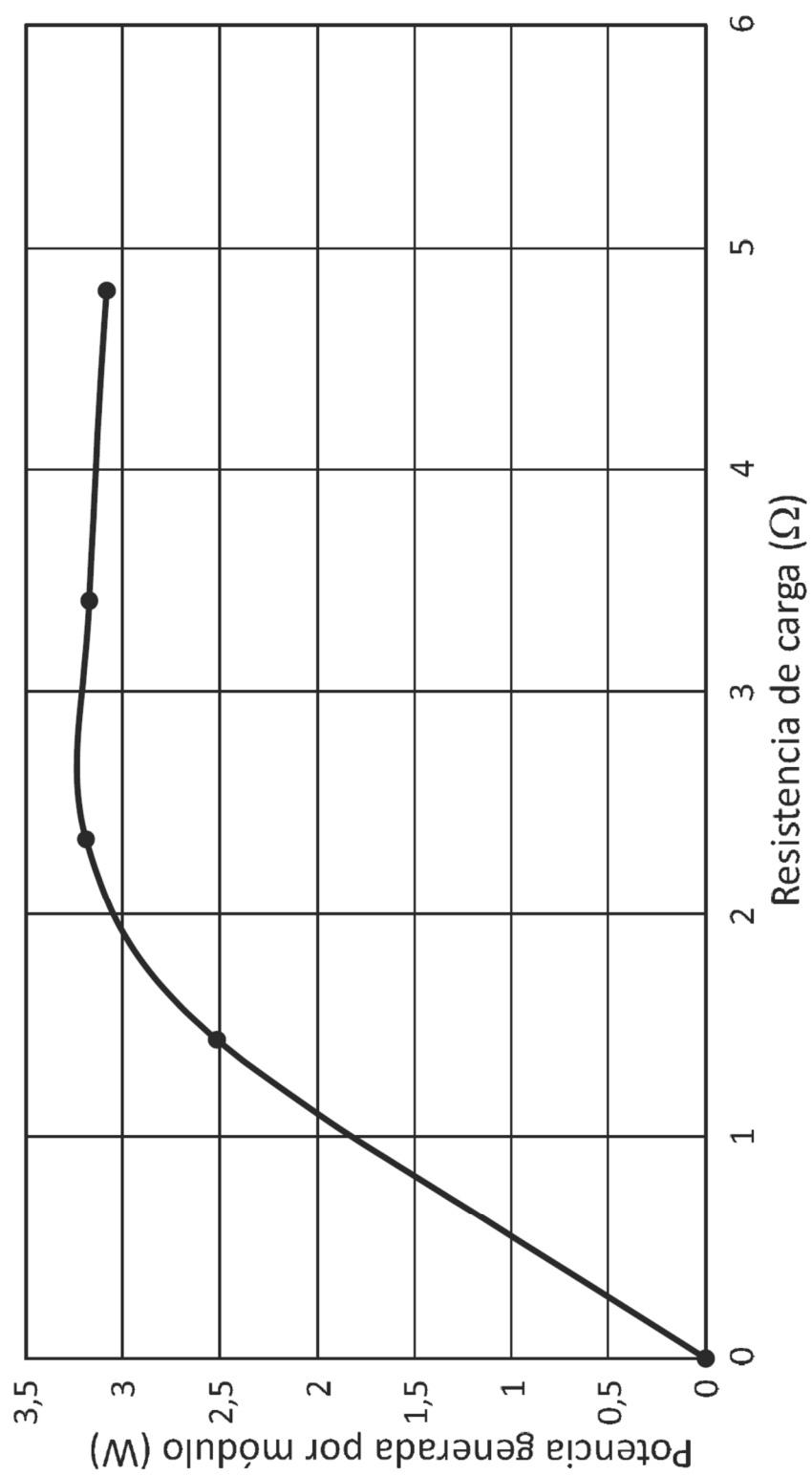


FIG. 4