



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 704 057**

⑮ Int. Cl.:

G21F 5/008 (2006.01)
G21F 5/10 (2006.01)
G21C 19/02 (2006.01)
G21C 19/07 (2006.01)
G21C 19/32 (2006.01)
G21H 1/10 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- ⑥ Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.06.2015 PCT/US2015/033892**
⑦ Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2016 WO16010642**
⑨ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.06.2015 E 15822126 (7)**
⑩ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.10.2018 EP 3170182**

⑮ Título: **Fuente de electricidad derivada de un barril blindado de combustible gastado**

⑩ Prioridad:

16.07.2014 US 201414332415

⑮ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.03.2019

⑯ Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC (100.0%)
1000 Westinghouse Drive Suite 141 Cranberry Township, PA 16066, US**

⑯ Inventor/es:

**DEDERER, JEFFREY T.;
STANSBURY, CORY A.;
LLOYD, TIMOTHY M.;
LU, BAOFU;
GULER, CENK y
TATLI, EMRE**

⑯ Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 704 057 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

Fuente de electricidad derivada de un barril blindado de combustible gastado

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

5 La solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente estadounidense No. 13/798,271 con el título "Una Fuente De Electricidad Derivada De Un Barril Blindado De Combustible Gastado", depositada el 13 de marzo de 2013.

Antecedentes

1. Campo

10 La presente invención se refiere, en general, a fuentes de energía que derivan su energía del calor de desintegración y, más concretamente, de dicha fuente de energía que deriva su energía de un barril blindado de almacenaje de combustible nuclear gastado que contiene combustible nuclear gastado.

2. Técnica relacionada

15 Los reactores nucleares de agua a presión son típicamente reabastecidos a lo largo de un ciclo de 18 meses. Durante el proceso de reabastecimiento, una porción de los conjuntos combustible irradiados dentro del núcleo son retirados y sustituidos por conjuntos combustible renovados que son recolocados alrededor del núcleo. Los

20 conjuntos combustible gastados retirados son típicamente transferidos a una instalación separada que aloja una piscina de combustible gastado en la cual estos conjuntos combustible radioactivos son almacenados. El agua de las piscinas de combustible gastado es lo suficientemente profunda para blindar la radiación hasta un nivel aceptable e impide que las varillas de combustible situadas dentro de los conjuntos combustible alcancen temperaturas que podrían romper el revestimiento de las varillas combustible, las cuales alojan de forma hermética el material combustible radioactivo y los productos de fisión. El enfriamiento continúa al menos hasta que el calor de desintegración existente dentro de los conjuntos combustible sea rebajado hasta un nivel en el que la temperatura de los conjuntos sea aceptable para su almacenamiento en seco. Típicamente, los conjuntos combustible gastados son almacenados en dichas piscinas durante un periodo de quince años durante el cual los conjuntos pueden ser enfriados mientras producen un calentamiento de desintegración que se desintegra exponencialmente con el tiempo.

25 Despues de quince años, el calor de desintegración ha decrecido en la medida suficiente para que los conjuntos puedan ser retirados de la piscina de combustible gastado y transferidos a unos bariles blindados de almacenamiento a largo plazo, cada uno de ellos típicamente capaz de contener 21 o más conjuntos. Estos bariles blindados son generalmente vueltos a situar en otra área sobre una zona de la planta nuclear y almacenados de manera indefinida.

30 Dado que los conjuntos combustible continúan produciendo calor de desintegración en los bariles blindados, un flujo de aire de convección natural se utiliza para conseguir la retirada del calor. Esto mantiene las temperaturas interiores del barril blindado en un nivel apropiado para los materiales utilizados. Cada barril blindado incorpora un contenedor cilíndrico interior de acero inoxidable que contiene los conjuntos combustible gastados. El contenedor está situado dentro del alojamiento estructural de los bariles blindados de almacenamiento que es una carcasa de hormigón gruesa cilíndrica reforzada que está revestida de acero inoxidable por su cara interior. En un diseño de este tipo hay un espacio libre radial de aproximadamente 8,89 cm entre el contenedor interior y los bariles blindados exteriores cuando están ensamblados. Esta disposición geométrica se muestra en las Figuras 1 y 2. La Figura 1 muestra la carcasa 10 de un barril blindado en la que se ha suprimido parte del contenedor interior instalado. La carcasa 10 del barril blindado típicamente comprende tres secciones concretas anulares, un segmento 12 inferior, un

35 segmento 14 intermedio y un segmento 16 superior, que están lateralmente constreñidos por juntas 18 de dilatación y son mantenidos en posición por unos tirantes 20. Un revestimiento 22 de acero rodea el interior de los segmentos 12, 14 y 16 y está tapado por un blindaje 24 térmico y un anillo 26 anular del blindaje. Unos raíles 28 de soporte se extienden verticalmente a lo largo del interior de los segmentos 12, 14 y 16 y guían el contenedor de acero inoxidable en posición y separan el contenedor de las paredes interiores del revestimiento 22 de acero. Unos tubos

40 30 de soporte dispuestos en el extremo inferior de la abertura 42 central en los segmentos 12, 14 y 16 exteriores, soportan el contenedor 36 interior de acero inoxidable mostrado en la Figura 2. Una entrada 32 de aire típicamente cubierta por una pantalla 34 canaliza el aire a través de la porción inferior del segmento 12 inferior de la carcasa 10 de hormigón a través del interior de la carcasa de hormigón hasta el paso anular dispuesto entre la carcasa 10 y el contenedor cilíndrico interior que se ajusta dentro de la abertura central de la carcasa 10 exterior de hormigón. El

45 aire que entra a través de la admisión 32 queda agotado a través de un paso 38 de salida de aire dispuesto en el segmento 16 superior de la carcasa 10 de hormigón que está cubierto por una pantalla 40. Típicamente, hay múltiples admisiones 32 de aire y pasos 38 de salida de aire separados en circunferencia alrededor de la cubierta 41 superior del barril blindado 10A exterior están cerrados herméticamente por unos pernos 43 que se extienden a través de la cubierta penetrando en el anillo 26 anular cerrado herméticamente para asegurar la cubierta y el contenedor 36 cilíndrico interior una vez que ha sido llenado con los conjuntos combustible y cargado dentro de la

55 abertura 42 central de la carcasa 10 de hormigón.

La Figura 2 muestra el contenedor 36 interior que se desliza por dentro de la carcasa 10 de hormigón exterior. El contenedor 36 interior presenta una carcasa 44 de acero exterior que está cerrada en el extremo inferior por una

- placa 46 terminal de fondo que cubre un tapón 48 de la carcasa del fondo que está cerrado herméticamente sobre una placa 50 de cierre del fondo. Unas placas 52 separadoras están dispuestas dentro de la carcasa 44 del contenedor interior en una disposición en tándem separada y presentan unas aberturas 56 cuadradas sustancialmente alineadas dentro de las cuales se sitúan los conjuntos combustible individuales. Las aberturas 56 alineadas mantienen una separación diseñada entre los conjuntos combustible. Las placas 52 de separación son mantenidas en posición por un conjunto de varillas 54 de soporte que se extienden a través de ellas alrededor del perímetro de las placas de separación. Un orificio 58 de drenaje y un orificio 60 de venteo franquean sustancialmente la longitud de la carcasa 44 del contenedor para evacuar agua dentro del contenedor. La parte superior del contenedor 36 está cerrada por un obturador 62 de blindaje superior que está cubierto por una placa 64 de cierre interior superior. La placa 64 de cierre interior superior incluye un orificio 66 para instrumentos que comunican con unos monitores de la radiación y la temperatura dispuestos dentro del contenedor para comunicar las señales correspondientes al exterior del contenedor 36. El conjunto del contenedor interior está cubierto por una placa 68 de cierre exterior superior fijada en posición por unos pernos circunferenciales e incluye un orificio 70 de comprobación de fugas para asegurar un cierre estanco sobre el contenedor interior.
- 15 El flujo del aire de enfriamiento entra en el conducto anular dispuesto en el fondo de la carcasa 10 del barril blindado a través de los pasos 32 de entrada radiales y el calentamiento que se produce en el interior del conducto anular entre el contenedor 36 interior y el revestimiento 22 de acero de la carcasa 10 de hormigón exterior induce una corriente natural de aire que se extingue a través de los pasos 38 de salida radiales situados en la parte superior del barril blindado. El calor residual de desintegración procedente del combustible gastado es con ello disipado a lo largo 20 del tiempo hasta el entorno circundante.

Un recipiente de almacenamiento del combustible gastado, según se define en la porción precaracterizadora de la reivindicación 1, se divulga en el documento EP 2 973 985 A2. Otras técnicas anteriores adicionales relevantes se encuentran en los documentos US 2013/0 111 927 A1, US 4 527 067 A y JP H07 120 591 A.

25 Es un objeto de la presente invención convertir el calor de desecho procedente del combustible nuclear gastado dentro de un barril blindado de almacenamiento de combustible nuclear gastado en trabajo útil.

Es un objeto adicional de la presente invención convertir dicho calor de desecho en una fuente de energía que pueda ser utilizada para enfriar en mayor medida el barril blindado de combustible gastado de manera que pueda disipar a mayor velocidad el calor procedente del combustible gastado.

30 Es un objeto adicional de la presente invención convertir dicho calor de desecho en energía mecánica o eléctrica que pueda ser empleada como fuente de energía auxiliar para la instalación en la cual el barril blindado está almacenado.

Sumario

Estos y otros objetivos se consiguen mediante un recipiente de almacenamiento de combustible nuclear gastado de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta un contenedor para almacenar combustible nuclear y un motor térmico en una relación de transferencia de calor con el contenedor para convertir un diferencial en calor entre el calor latente del combustible nuclear almacenado y un entorno ambiental, en energía eléctrica o mecánica. En una forma de realización, el recipiente de almacenamiento de combustible nuclear gastado incluye un barril blindado exterior que rodea el recipiente con un espacio anular entre ellos. Una admisión de aire se extiende a través de una porción 35 interior del barril blindado, y se extiende desde el exterior del barril blindado hasta el espacio anular. Una salida de aire a través de una porción superior del barril blindado, que se extiende desde el espacio anular hasta el exterior del barril blindado. De modo preferente, el motor térmico está en relación de transferencia de calor con el espacio anular. En una forma de realización, la relación de transferencia de calor se lleva a cabo a través de un medio de 40 transferencia de calor para transportar el calor desde el espacio anular hasta un exterior del barril blindado exterior. En una forma de realización de este tipo, el medio de transferencia de calor es un evacuador de calor y el motor térmico puede ser seleccionado entre un motor Rankine, un motor Stirling o un dispositivo termoeléctrico.

45 En otra forma de realización, el motor térmico incluye una salida eléctrica que está conectada a un sistema de circulación de líquido refrigerante operable para enfriar un líquido refrigerante. De modo preferente, el sistema de circulación se extiende a través del espacio anular entre el barril blindado exterior y el barril blindado interior y a través del barril blindado hasta su exterior, haciendo circular el sistema de circulación del líquido refrigerante un fluido refrigerante entre un interior del espacio anular y el exterior del barril blindado.

50 En otra forma de realización adicional, el recipiente de almacenamiento del combustible nuclear gastado incluye un sistema de circulación del líquido refrigerante que enfriá el líquido dentro de una piscina de combustible gastado de una planta de energía nuclear. De modo preferente, la energía eléctrica forma una fuente de energía auxiliar para la planta nuclear.

55 De acuerdo con la invención, el recipiente de almacenamiento de combustible nuclear gastado incluye un sistema de circulación de fluido que hace circular un fluido refrigerante sobre al menos una porción de una circunferencia del contenedor, presentando el sistema de circulación del fluido una entrada del fluido y una salida del fluido que se extiende a través de un barril blindado que rodea el contenedor. Un sistema deflector del fluido está dispuesto en

comunicación de fluido con la salida de fluido el cual es soportado sobre el barril blindado, con el motor térmico soportado, al menos en parte, en el sistema deflector del fluido en una relación de cambio de calor con el fluido agotado procedente de la salida de fluido. El sistema deflector de fluido es un paso sustancialmente anular que se ajusta alrededor del barril blindado. De modo preferente, el sistema deflector de fluido es soportado a partir de una porción superior del barril blindado y el sistema deflector de fluido presenta una entrada que sustancialmente está herméticamente cerrada a la salida de fluido.

En otra forma de realización adicional, el sistema de circulación de fluido presenta una pluralidad de salidas de fluido circunferencialmente separadas alrededor del barril blindado y el sistema deflector de fluido está en comunicación de fluido con al menos varias de las salidas de fluido. En esta última forma de realización, un tubo o placa perforado es soportado dentro del sistema deflector de fluido en comunicación de fluido con la salida de fluido, extendiéndose el tubo o la placa perforados al menos parcialmente a través del sistema deflector de fluido para distribuir el fluido sobre un trayecto de fluido a través del sistema deflector. De modo preferente, el motor térmico es una pluralidad de generadores termoeléctricos que son soportados por medio de un trayecto de fluido a través del sistema de deflector de fluido. De modo preferente, unas aletas se extienden sobre el exterior de la estructura de soporte de los deflectores para facilitar la transferencia de calor y el trayecto de fluido se extiende verticalmente en un curso en serpentina.

Breve descripción de los dibujos

Una compresión más acabada de la invención se puede obtener a partir de la descripción subsecuente de las formas de realización preferentes tomadas en combinación con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

- 20 La Figura 1 es una vista isométrica de la carcasa exterior de unos barriles de combustible gastado parcialmente en despiece ordenado para mostrar la cubierta superior retirada y parcialmente en sección dejando al descubierto su interior; la Figura 1 también muestra de forma esquemática varias formas de realización ilustrativas de la solicitud del calor de desecho procedente del combustible nuclear gastado para energizar diversas facetas de una instalación nuclear, que no forman parte de la presente invención.
- 25 La Figura 2 es una vista isométrica de un contenedor interior de un barril blindado de combustible nuclear gastado parcialmente en despiece ordenado y recortado para dejar al descubierto su interior que alberga los conjuntos combustible nucleares gastados;
- 30 La Figura 3 es una vista esquemática de un módulo termoeléctrico que puede ser utilizado como parte del sistema de generación de energía empleado en una forma de realización del barril blindado de combustible nuclear gastado de las Figuras 1 y 2;
- 35 La Figura 4 es una representación gráfica del perfil de la temperatura de la carcasa de hormigón exterior y de las superficies del contenedor exterior del barril blindado de combustible gastado de las Figuras 1 y 2;
- 40 La Figura 5 es una vista isométrica de un barril blindado de combustible gastado que muestra la carcasa de hormigón exterior con un contenedor interior parcialmente retirado;
- 45 La Figura 6 es una vista esquemática de una sección transversal de parte de una carcasa de hormigón de combustible gastado que muestra el trayecto del aire de enfriamiento que se extiende a su través de acuerdo con la presente invención; y
- 50 La Figura 7 es una representación gráfica de una salida de energía con respecto a un diferencial de temperatura a través de un ejemplo de un generador termoeléctrico que puede ser empleado con la presente invención.

Descripción de la forma de realización preferente

La presente invención proporciona un medio para convertir el calor de desecho procedente de un barril blindado de combustible gastado en energía eléctrica o mecánica que puede ser utilizada para desempeñar una multitud de funciones. En una forma de realización ilustrativa, que no forma parte de la presente invención, los generadores termoeléctricos están montados sobre la superficie exterior del contenedor interior de un barril blindado de combustible gastado. Los generadores termoeléctricos utilizan la diferencia de temperatura delta entre el contenedor interior que aloja el combustible nuclear y el flujo de aire de un espacio anular dispuesto entre el contenedor interior y la carcasa de hormigón exterior para producir energía. Típicamente, los dispositivos termoeléctricos comercialmente disponibles producirán una considerable energía cuando se produzca una T delta de 149° C o más esté situada de un lado a otro de los dispositivos. Un dispositivo termoeléctrico ejemplar se ilustra en la Figura 3 y se designa globalmente mediante la referencia numeral 72. El dispositivo 72 termoeléctrico en términos generales está compuesto por dos o más elementos de un material 74 semiconductor con aditivos de tipo N y P que están conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. El material tipo N incluye aditivos de manera que presentará una deficiencia de electrones (menos electrones de los necesarios para completar una estructura de red perfecta). Los electrones suplementarios del material N y los "agujeros" resultantes de la deficiencia de electrones en el material P son los portadores que desplazan la energía térmica desde una fuente 76 de calor a través del material

termoeléctrico hasta un sumidero 78 de calor el cual, en este caso, es un conducto anular dispuesto entre el revestimiento 22 sobre el interior de la carcasa 10 de hormigón y la carcasa 44 del contenedor interior. La electricidad que se genera por un módulo termoeléctrico como por ejemplo el mostrado en la Figura 3 es proporcional a la magnitud de la diferencia de temperatura entre cada lado del módulo. De acuerdo con esta forma de realización ilustrativa, el generador termoeléctrico estaría fijado alrededor de la circunferencia exterior del contenedor 36 cilíndrico interior en una banda situada aproximadamente a mitad de camino a lo largo de la altura axial del contenedor, la cual se sitúa típicamente entre 190,5 y 317,5 cm desde el fondo del contenedor, esto es, aproximadamente un cuarto del área de la superficie del contenedor. Este área de superficie se indica en la Figura 2 mediante la referencia numeral 80 y dicho generador termoeléctrico se ilustra de modo figurativo en la Figura 2 y se designa mediante la referencia numeral 82. El perfil de la temperatura dentro de los barriles blindados para los diferentes componentes se ofrece en la Figura 4. Como se puede apreciar, la temperatura de superficie del contenedor 36 en el área de elevación intermedia es de aproximadamente 243° C. La temperatura del aire necesariamente será mayor que el interior del alojamiento de hormigón y se puede encontrar a partir de un equilibrio energético sobre este componente. Utilizando de modo conservador la transferencia de calor convectiva al interior del alojamiento de hormigón permite una estimación de una temperatura del aire dentro del conducto anular. Utilizando un coeficiente de transferencia de calor de convección libre de $2,0 \times 1.730 \text{ kW}(\text{mK})$, la temperatura del aire se sitúa aproximadamente en diez grados más caliente que la superficie del alojamiento o con un máximo de 77° C. Así, existe una diferencia de temperatura de 149° C entre la carcasa 44 del contenedor y el flujo de aire en la porción central del conducto anular entre la carcasa 44 y la pared interior de la carcasa 10 exterior de hormigón.

La aplicación de elementos generadores termoeléctricos comercialmente disponibles dentro del área definida se traducirá en una producción de energía de hasta 10 kilovatios a partir de cada barril blindado. Dado que el calor de desintegración se ha desintegrado ya exponencialmente durante un mínimo de quince años antes de que los conjuntos combustible sean cargados dentro de los barriles blindados, los niveles de calor de desintegración restantes permanecen adecuadamente constantes, de manera que esta energía siempre está disponible en caso necesario. Una vez que una piscina de combustible está llena, cada descarga de reabastecimiento requiere tres barriles blindados de almacenamiento adicionales a largo plazo, de manera que un total de aproximadamente 30 kilovatios de energía potencial adicional se encuentran disponibles en cada dieciocho meses, esto es, el ciclo de reabastecimiento. Los elementos 72 generadores termoeléctricos actúan como baterías individuales y pueden estar conectadas eléctricamente en una combinación de disposiciones paralelas y en serie para proporcionar unos niveles de tensión y corriente para aplicaciones específicas. Esta energía generada pasivamente puede ser utilizada para muchas tareas importantes, por ejemplo, durante una pérdida de una energía sobre el terreno y fuera del terreno (apagón de la estación). Típicamente, durante dichas condiciones una planta debe únicamente hacer frente a sistemas de baterías de refuerzo para cargas esenciales de energía. Para la AP1000®, un diseño de planta nuclear pasiva ofrecida por Westinghouse Electric Company LLC, Cramberry, Township, Pennsylvania, esta capacidad de resolución dura al menos 72 horas, y para plantas existentes más antiguas, el periodo es mucho más corto. La energía generada a partir de cada barril blindado puede ser utilizada para mejorar las cargas de las baterías, el control de la iluminación del espacio, las necesidades del instrumental y la energía para enfriar una piscina de combustible gastado como el designado mediante la referencia numeral 84, esquemáticamente mostrado en la Figura 1, extendiendo de esta manera el tiempo de respuesta bajo condiciones de apagón de la estación.

La energía producida por cada barril blindado 86, mostrado parcialmente ensamblado en la Figura 5 con los haces de conjuntos combustibles dentro del contenedor 36 interior, puede ser utilizada para proporcionar una corriente de aire forzada en el conducto anular 90, incrementando de esta manera de manera considerable la capacidad de eliminación de calor de los barriles blindados 86. Con este fin, se muestra un elemento 82 generador termoeléctrico conectado por un cable 92 eléctrico a un soplador o ventilador 94 de aire que desplazará el aire desde la admisión 32 de aire hacia arriba a través del conducto anular 90 y expulsará el aire a través de la salida 38 de aire dispuesta en la porción superior de la carcasa 10 de hormigón. Como alternativa, el soplador o el ventilador 94 pueden estar situados por fuera de la carcasa 10 de hormigón y pueden estar conectados mediante una tubería a la admisión 32 y a la salida 38 al tiempo que son accionados por un elemento termoeléctrico dispuesto dentro del conducto anular 90 energizado a través de unos cables que se extienden a través de la carcasa 10 exterior de hormigón. Una u otra disposición para desplazar de manera forzada el aire a través del conducto anular 90 permite que los conjuntos combustible sean descargados de la piscina de combustible gastado en un momento anterior y reduce la carga de calor de desintegración sobre la piscina de combustible gastado. Esto presenta el resultado muy positivo de reducir las necesidades de enfriamiento de la piscina durante las condiciones del apagón de la estación y mejora la estrategia de respuesta de la planta.

Como alternativa, un tubo 96 térmico puede emplearse para extenderse a través del conducto anular 90 y a través de la carcasa 10 de hormigón exterior para conducir el calor generado en el conducto anular 90 o por dentro del contenedor 36 hasta el exterior donde puede ser empleado para accionar un motor térmico mecánico, como por ejemplo un motor Stirling o Rankine como se ilustra de modo figurativo, respectivamente, en las referencias numerales 98 y 100 de la Figura 1. Uno u otro de los motores Stirling o Rankine pueden ser empleados para accionar el soplador 94 para forzar el aire a través del conducto anular o accionar una bomba 102 que puede ser empleada para hacer circular el agua 106 de la piscina de combustible gastado a través de un cambiador de calor 104 donde puede ser enfriado y devuelto a la piscina 84 de combustible gastado. La operación tanto del motor

Rankine como del motor Stirling se describen con mayor detalle en la Solicitud con el Número de Serie No. 13/558,443, depositada el 26 de julio de 2012 (Expediente de agente No. CLS-UFS-001).

En algunos casos, puede no resultar práctico acceder al conducto anular entre el barril blindado 10 de la carcasa exterior de hormigón y el contenedor 44 interior después de que los conjuntos 88 combustible hayan sido cargados

5 y el barril blindado haya sido cerrado herméticamente. La presente invención contempla una forma de uso de un motor térmico, por ejemplo como tecnología de generador termoeléctrico para utilizar la energía procedente del combustible gastado sin necesidad de colocar cualquier tipo de hardware dentro del barril blindado.

Los elementos de generador termoeléctrico operan entre dos temperaturas, como ya se ha mencionado, y, en general, el rendimiento o la eficiencia de conversión de energía dependerá de la diferencia de temperatura. La

10 utilización de la superficie de la carcasa del contenedor interno proporciona una delta - T relativamente amplia entre la carcasa del contenedor y en el flujo de aire de enfriamiento que fluye a través del conducto anular. Sin embargo, hay también una delta - T suficiente, aunque más pequeña, disponible entre el aire de enfriamiento expulsado que ha absorbido aproximadamente un 92% de la energía de calor de desintegración y del aire ambiente en los

15 alrededores. Aceptando una eficiencia de conversión de energía más baja, es posible utilizar todavía la tecnología de generador termoeléctrico para producir una energía útil considerable sin necesidad de modificaciones del barril blindado interno.

Por consiguiente, la presente invención contempla la colocación de una estructura de soporte con tabiques deflectores que puede estar situada sobre la parte superior del barril blindado y soportada mediante la robusta

20 carcasa blindada exterior de hormigón. La configuración general de una forma de realización de esta disposición se muestra en la Figura 6. Los mismos caracteres de referencia son utilizados entre las diversas figuras para indicar unos correspondientes componentes. Para una carcasa 10 de un barril blindado circular la estructura de soporte con tabiques deflectores puede adoptar la forma de un cilindro 110 anular que se extienda alrededor del barril blindado y sea soportado por una brida 116 que descance sobre la parte superior del barril blindado y se extienda hacia abajo hasta la salida 38 de aire a través de la carcasa 10 blindada del barril de hormigón. El uso de una junta 118 por

25 debajo de la brida 116 de soporte y una junta 114 elastomérica alrededor del fondo de la estructura 110 de soporte entre la estructura de soporte y la carcasa 10 de hormigón impide las fugas del aire de flujo de escape antes de que entre en la zona de tabiques deflectores. Una serie de placas 122 deflectoras dirigen el flujo de expulsión desde la

30 salida 38 de aire en serpentina antes de ser liberado a la atmósfera. La superficie interior de las paredes de la estructura de soporte están revestidas con unos generadores 82 termoeléctricos individuales que están directamente expuestos al flujo de aire de expulsión calentado.

La superficie exterior de las paredes de la estructura de soporte está expuesta al aire ambiente de enfriamiento. El material de la estructura de soporte está fabricado a partir de una aleación con una conductividad térmica relativamente elevada, por ejemplo aluminio. Si es necesario unas aletas 108 se añaden a esta superficie exterior para facilitar la transferencia de calor entre el entorno ambiental y la estructura de soporte. Una placa 112 perforada

35 puede estar dispuesta en la entrada de la estructura de tabiques deflectores para distribuir la corriente de aire sobre las paredes de los tabiques deflectores. Dado que las salidas 38 de aire están típicamente separadas con referencia alrededor del barril blindado de hormigón en emplazamientos individualizados, la placa 112 perforada actúa para distribuir la corriente de aire alrededor del conducto anular dentro de la disposición de tabiques deflectores cilíndricos.

40 La cantidad de energía eléctrica que se puede derivar de un barril blindado de esta manera variará de acuerdo con el tipo de generador termoeléctrico utilizado, pero el rendimiento de un ejemplo representativo (modelo Tellurex 02-56-0375) se muestra en la Figura 7. La temperatura del aire que sale del barril blindado dependerá de las características locales de la transferencia de calor dentro del conducto anular del barril y del flujo de aire en masa.

45 Utilizando los datos térmicos proporcionados en el FSAR de Almacenamiento en Receptáculos W21 BNFL, la temperatura de salida de la corriente de aire que sale del barril blindado se calcula que se sitúa alrededor de 103 grados C. Con un ambiente de 25 a 30 grados C, la energía producida por un único elemento de generador termoeléctrico se observa que es de aproximadamente 2,5 Vatios.

50 Utilizando las áreas cilíndricas mostradas en la Figura 6 para el montaje de los elementos de un generador termoeléctrico, es posible generar aproximadamente 3 kW de energía de cc para cada 25 cm de altura. A medida

que la energía es distraída del aire, la temperatura decrecerá reduciendo la salida de energía de los elementos corriente abajo. Por cada 3 kW de energía del generador termoeléctrico, la temperatura de la corriente de aire se calcula que desciende hasta aproximadamente 10 grados C, de manera que el límite práctico sería dos áreas de los

55 elementos del generador termoeléctrico con una salida de energía total de aproximadamente 6 kW por barril blindado. Para una planta más antigua con quizás 20 de barriles blindados en posición, esto representa potencialmente 120 kW de energía de cc constante que se encuentra disponible todo el tiempo lo que puede ser muy significativo durante un escenario de apagón de la estación para el instrumental de alimentación eléctrica, ventiladores, pequeñas bombas u otro equipo necesario para mantener la seguridad de la planta. A modo de comparación, 72 horas del puesto de carga del apagón de la estación para la planta APIOOO®, la cual utilizaría los generadores energizados por diésel auxiliares sobre el terreno es de aproximadamente 35 Kw.

Así, la invención proporciona una forma muy práctica de producir de forma pasiva una energía eléctrica de cc en cualquier punto en que se haya almacenado barriles blindados de combustible gastado. Aunque se han descrito con detalle formas de realización específicas de la invención se debe apreciar por parte de los expertos en la materia que podrían desarrollarse diversas modificaciones y alternativas de esos detalles a la luz de las enseñanzas globales de la divulgación. Por consiguiente, las formas de realización concretas divulgadas pretenden ser únicamente ilustrativas y no limitativas, en cuanto el alcance de la invención queda definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1.- Un recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado, que comprende:

un contenedor (22) para almacenar combustible (88) nuclear irradiado;

5 un motor (82) térmico en relación de transferencia de calor con el contenedor (86) para convertir un diferencial en calor entre el calor latente del combustible (88) nuclear almacenado y un entorno ambiental en energía eléctrica o mecánica;

10 un sistema de circulación de fluido para hacer circular un fluido de enfriamiento a lo largo de al menos una porción de una circunferencia del contenedor (22), presentando el sistema de circulación de fluido una entrada (32) de fluido y una salida (38) de fluido que se extiende a través de un barril blindado (10) que rodea el contenedor; y

15 **caracterizado por** un sistema (122) deflector de fluido en comunicación de fluido con la salida (38) de fluido que es soportado sobre el barril blindado (10), en el que el motor (82) térmico es soportado, al menos en parte, en el sistema deflector de fluido en una relación de cambio de calor con el fluido expulsado por la salida de fluido y el sistema (122) deflector de fluido es un paso (120) sustancialmente anular que se ajusta alrededor del barril blindado (10).

2.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 1, que incluye:

un barril blindado (10) exterior que rodea el contenedor (22) con un espacio (90) anular entre ellos;

una admisión (32) de aire a través de un extremo inferior del barril blindado (10) que se extiende desde el exterior del barril blindado hasta el espacio (90) anular;

20 una salida (38) de aire a través de un extremo superior del barril blindado (10) que se extiende desde el espacio (90) anular hasta el exterior del barril blindado; y

en el que el motor (82) térmico está en una relación de transferencia de calor con el espacio (90) anular.

3.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 2, en el que la relación de transferencia de calor es puesta en práctica por medio de un medio de transferencia de calor para transportar calor desde el espacio anular hasta un exterior del barril blindado (10) externo.

4.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 3, en el que el medio de transferencia de calor es un tubo (96) de calor.

5.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 2, en el que el motor térmico se selecciona entre un motor Rankine (100), un motor Stirling (98) y un dispositivo termoeléctrico (82).

30 6.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 1, en el que el motor (82) térmico presenta una salida eléctrica que está conectada a un sistema de circulación de un líquido refrigerante operable para enfriar un líquido refrigerante.

7.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 1, en el que la energía eléctrica forma una fuente de energía auxiliar de emergencia para una planta (84) de energía nuclear.

35 8.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 1, en el que el sistema (122) deflector de fluido es soportado por una porción superior del barril blindado.

9.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 1, en el que el sistema de circulación de fluido incluye una pluralidad de salidas (38) de fluido separadas en circunferencia alrededor del barril blindado y el sistema (122) deflector de fluido está en comunicación de fluido con al menos varias de las salidas de fluido, incluyendo una placa (112) perforada soportada dentro del sistema deflector de fluido en comunicación de fluido con la salida de fluido, extendiéndose la placa perforada, al menos parcialmente, a través del sistema deflector de fluido para distribuir el fluido a lo largo de un trayecto de fluido a través del sistema deflector.

45 10.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 1, en el que el motor (82) térmico es una pluralidad de generadores termoeléctricos que son soportados a través de un trayecto de fluido a través del sistema deflector de fluido.

11.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 10, en el que unas aletas se extienden sobre el exterior del sistema (122) deflector de fluido para facilitar la transferencia de calor.

50 12.- El recipiente (86) de almacenamiento de combustible nuclear gastado de la Reivindicación 1, en el que el sistema (122) deflector de fluido presenta una trayectoria de fluido que se extiende verticalmente en un recorrido en serpentina.

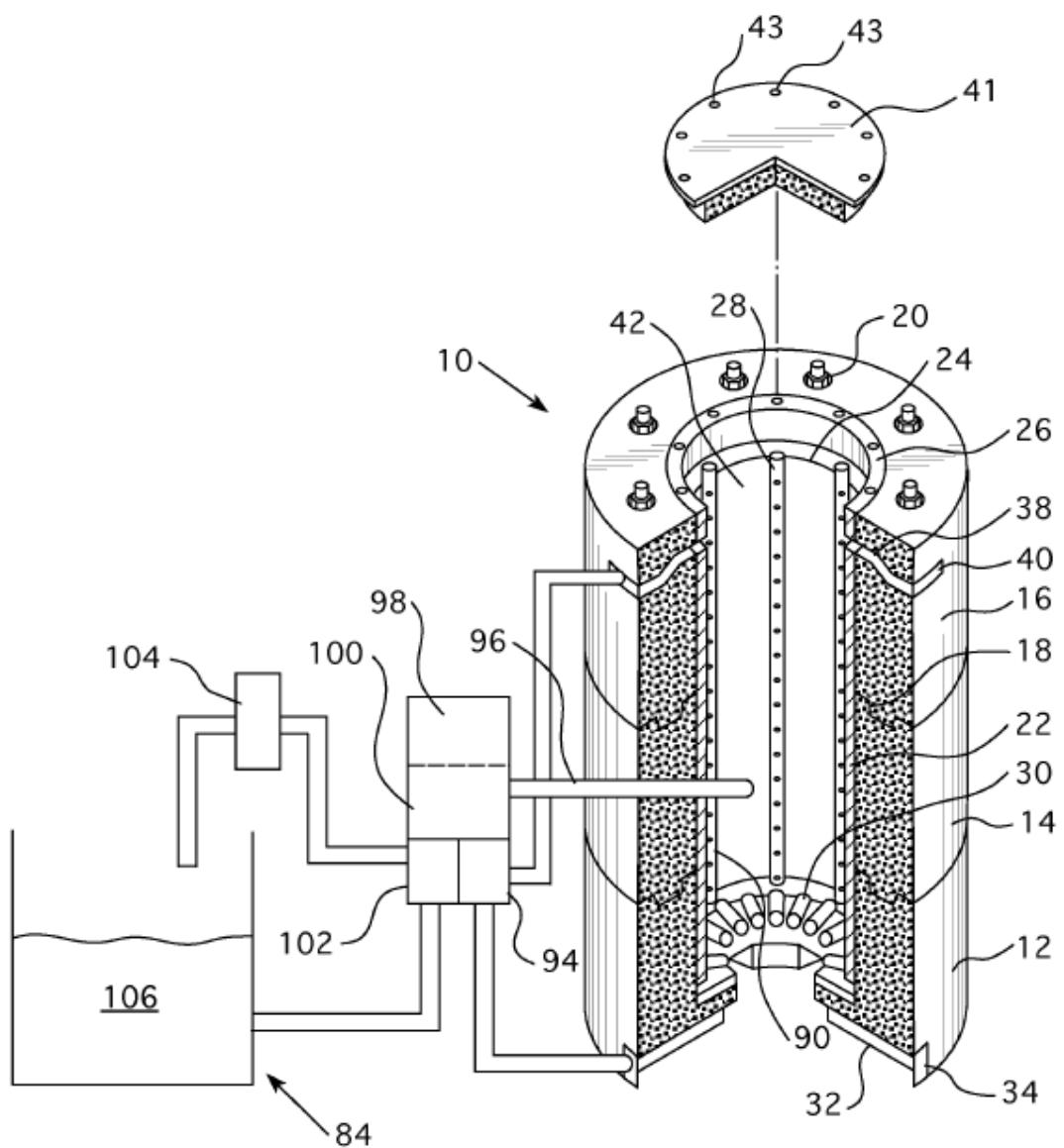


FIG. 1

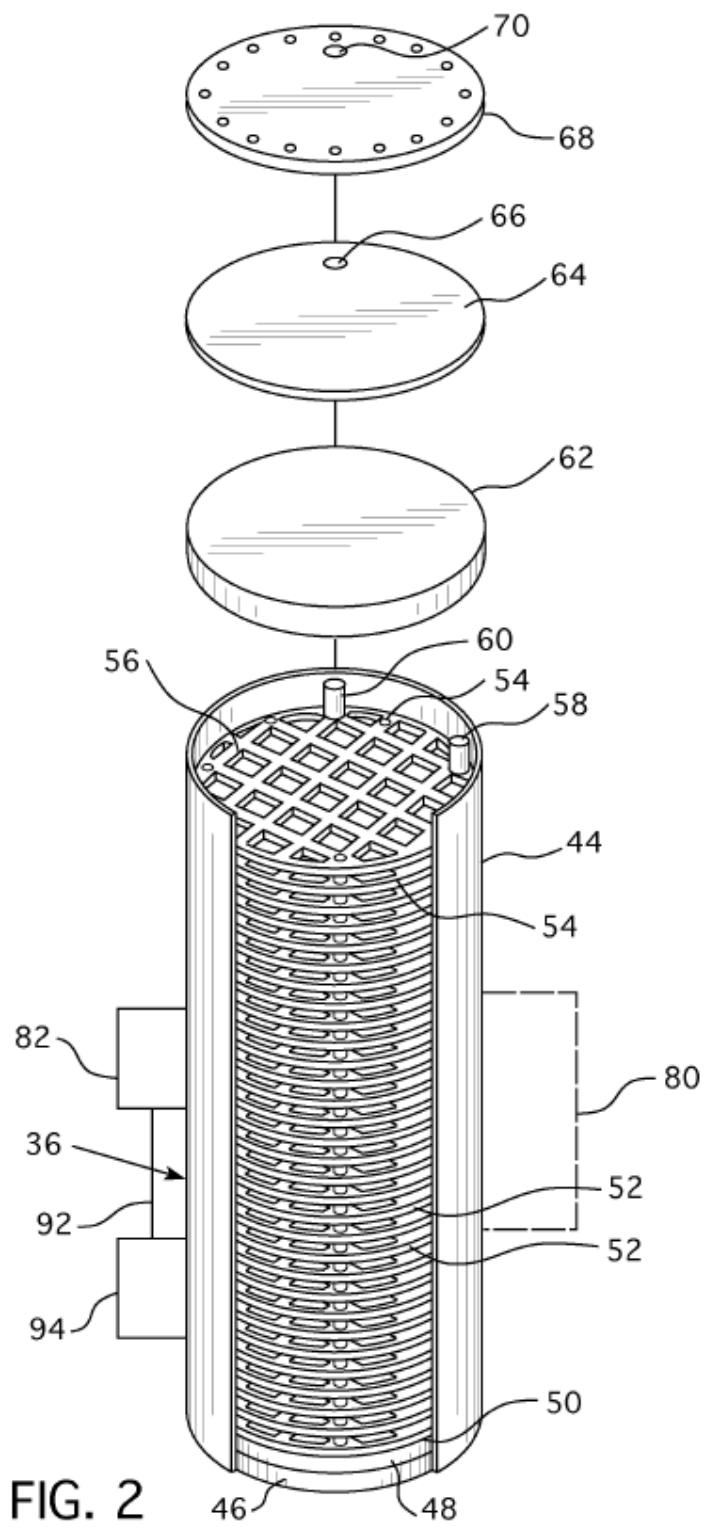


FIG. 2

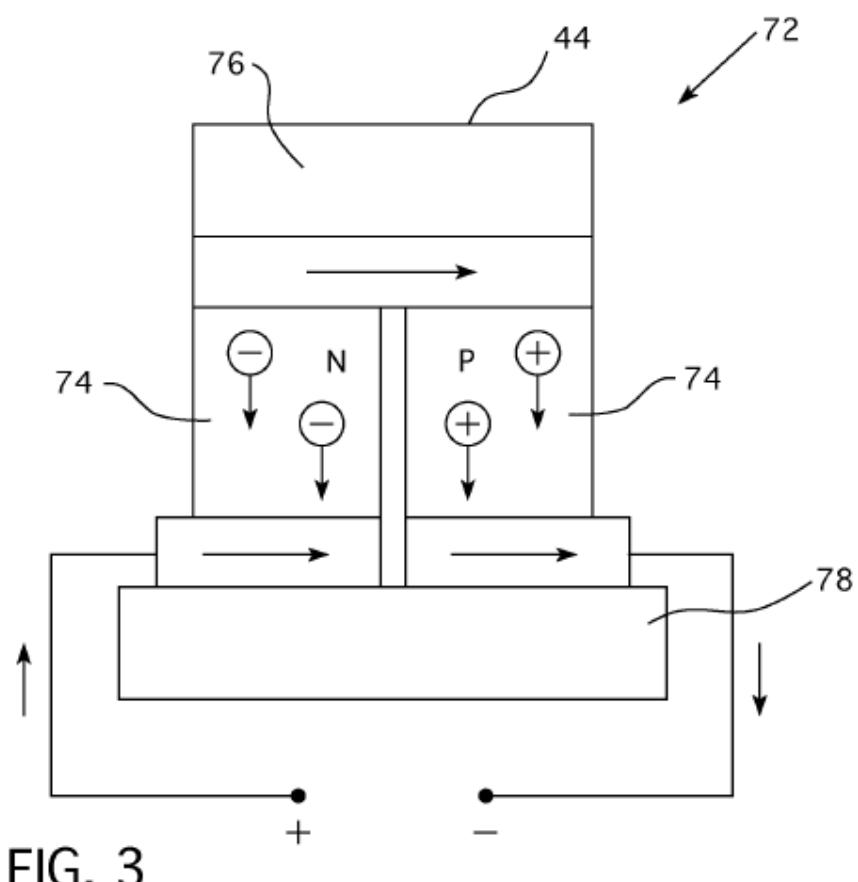


FIG. 3

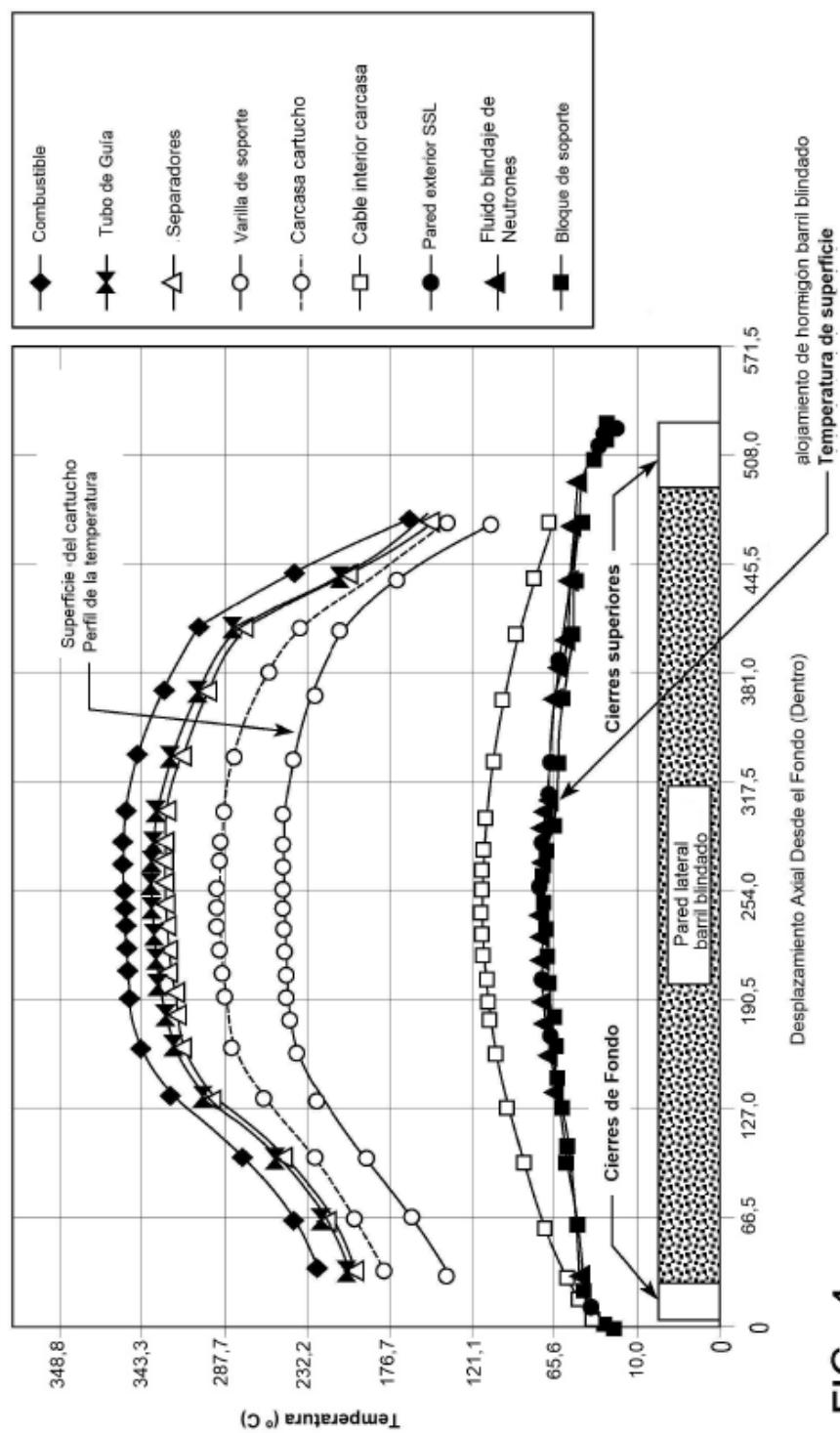


FIG. 4

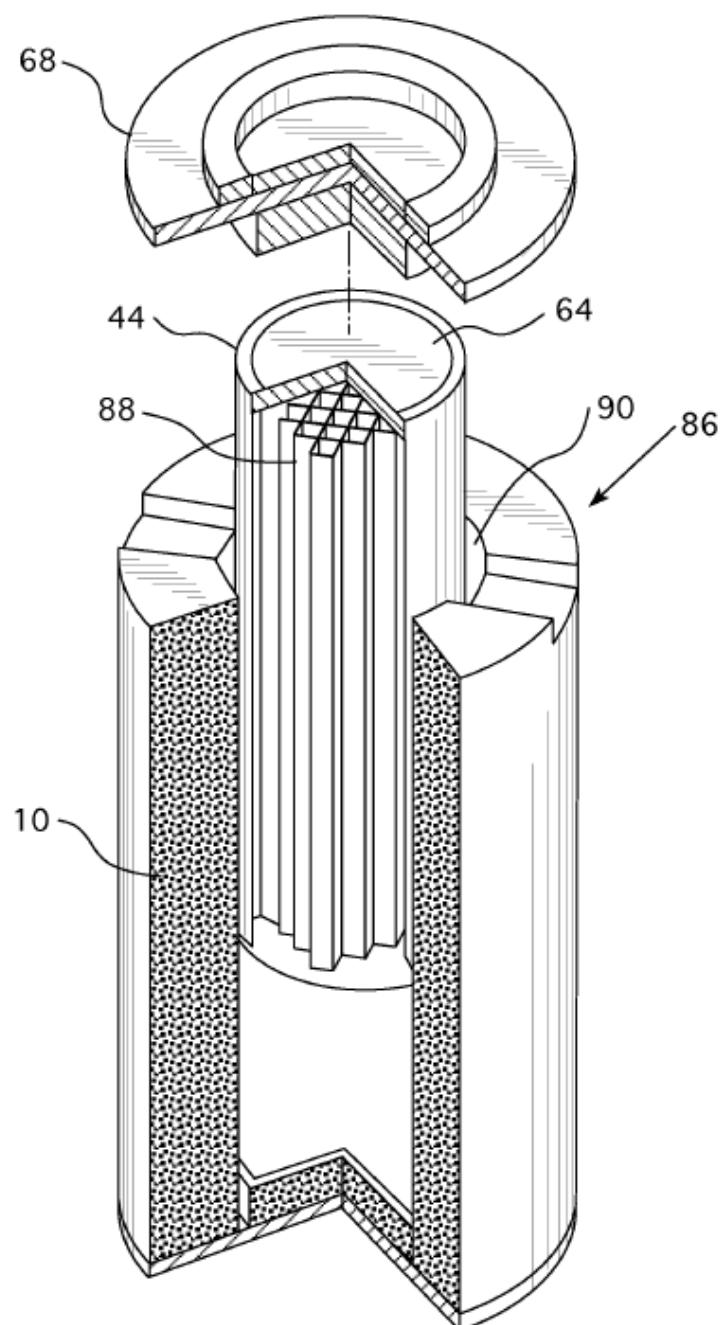


FIG. 5

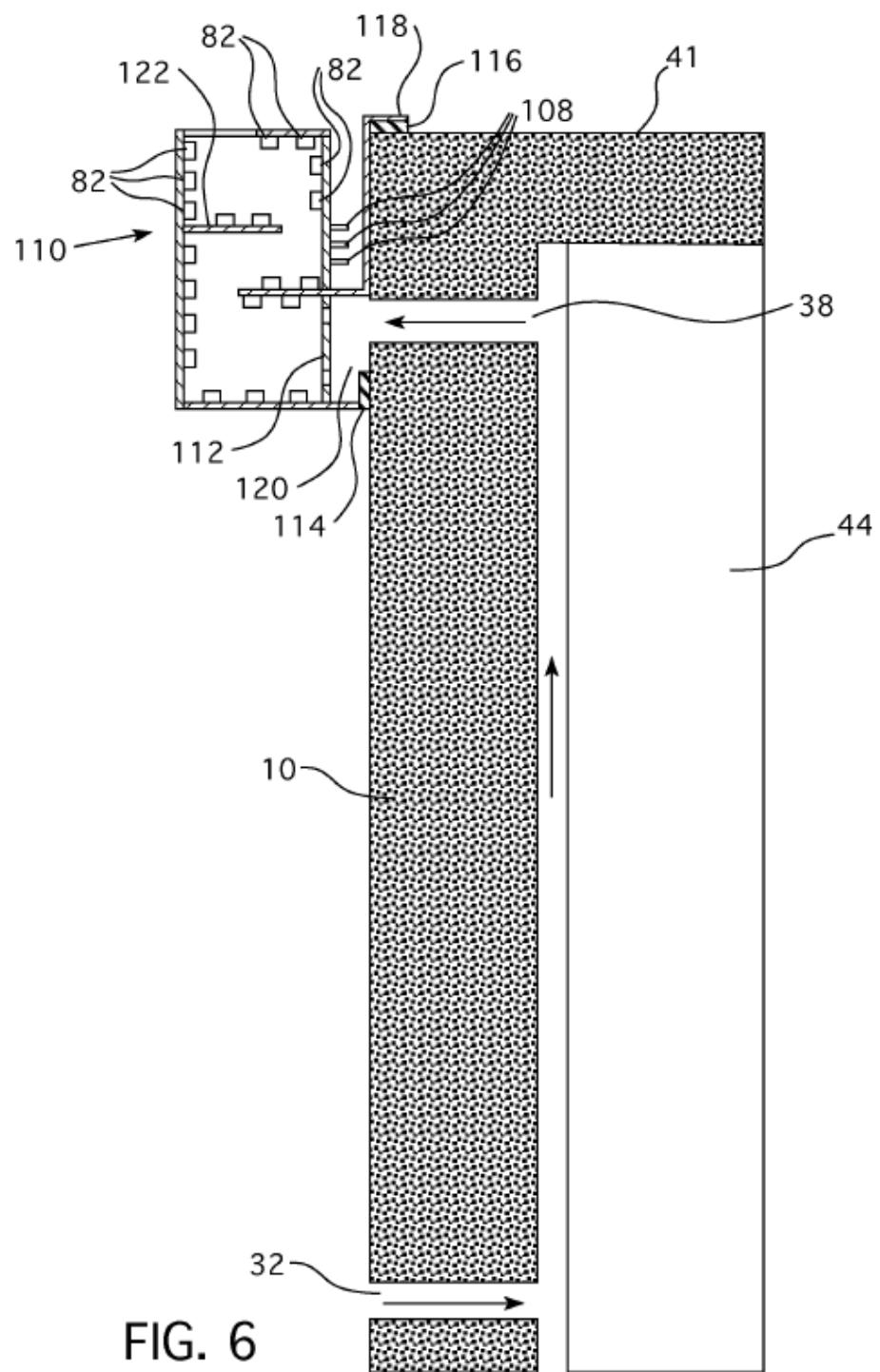


FIG. 6

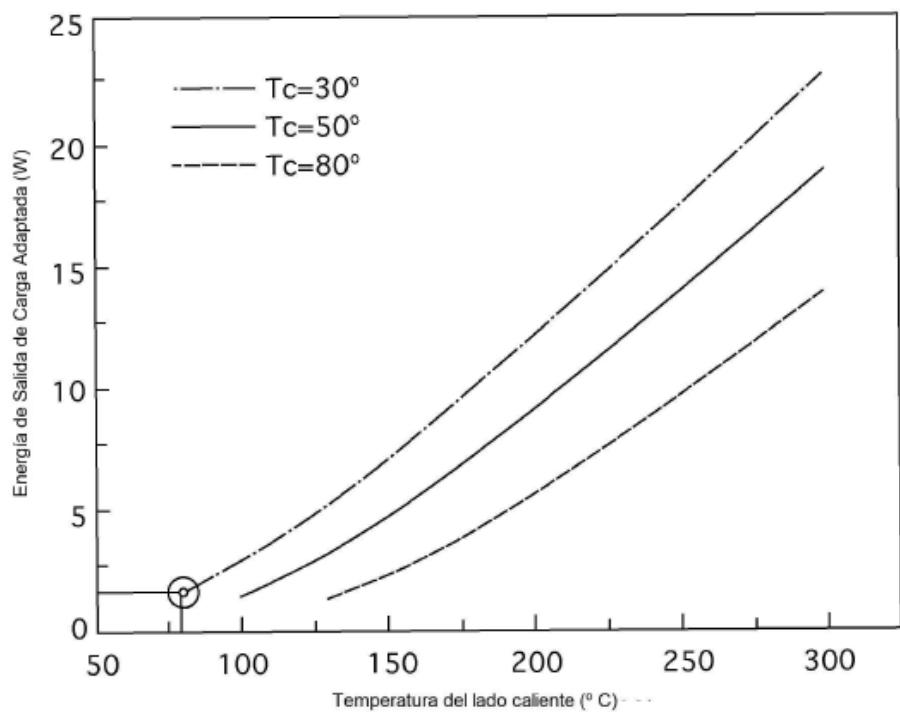


FIG. 7