

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 976**

51 Int. Cl.:

G21C 15/18 (2006.01)

G21C 15/26 (2006.01)

G21D 3/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.07.2013 PCT/US2013/049627**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.01.2014 WO14018247**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2013 E 13822576 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2018 EP 2877997**

54 Título: **Producción de energía pasiva durante un apagón de una estación nuclear**

30 Prioridad:

24.07.2012 US 201261674878 P
12.02.2013 US 201313764804

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.04.2018

73 Titular/es:

WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)
1000 Westinghouse Drive
Cranberry Township, Pennsylvania 16066, US

72 Inventor/es:

DEDERER, JEFFREY, T y
PEREGO, CATHERINE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 664 976 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

Producción de energía pasiva durante un apagón de una estación nuclear

Referencia cruzada a solicitud relacionada

Esta solicitud reivindica la prioridad bajo 35 USC § 119 (e) de la Solicitud Provisional n.º de serie 61/674.878, titulada "Producción de energía pasiva durante SBO con generación termoeléctrica", presentada el 24 de julio de 2012.

Antecedentes**1. Campo**

La presente invención se refiere en general a centrales nucleares y, más particularmente, a aparatos activados pasivamente para proporcionar energía auxiliar a equipos de seguridad en una planta de energía nuclear bajo condiciones de parada de emergencia en las que hay una pérdida de energía eléctrica convencional interna y externa.

2. Técnica relacionada

Un reactor nuclear, tal como un reactor de agua a presión, circula refrigerante a alta presión a través de un circuito de refrigeración que atraviesa un recipiente a presión del reactor que contiene el combustible nuclear para calentar el refrigerante y un generador de vapor que puede funcionar para extraer energía del refrigerante para un trabajo útil. Generalmente, se proporciona un sistema de eliminación de calor residual para eliminar el calor de decaimiento del recipiente a presión durante la parada. En caso de pérdida de refrigerante, se proporcionan medios para agregar refrigerante adicional al sistema. Una pérdida de refrigerante puede implicar solo una pequeña cantidad, por lo que se puede inyectar refrigerante adicional a partir de un suministro de agua de reposición de alta presión relativamente pequeño, sin despresurizar el circuito de refrigerante del reactor. Si se produce una pérdida importante de refrigerante, es necesario agregar refrigerante de un suministro de baja presión que contenga una gran cantidad de refrigerante. Dado que es difícil usar bombas para superar la presión sustancial del circuito refrigerante del reactor, por ejemplo, 2250 psi o 150 bar, el circuito de refrigerante del reactor se despresuriza automáticamente en el caso de una pérdida importante de refrigerante para que se pueda agregar agua refrigerante desde un tanque de almacenamiento de agua de reabastecimiento de contención, a la presión ambiente dentro de la carcasa de la contención del sistema del reactor nuclear.

El circuito primario de un sistema 22 de reactor nuclear AP1000® (que se muestra en la figura 1), ofrecido por la Westinghouse Electric Company LLC, Cranberry Township, PA, del cual la presente invención es una parte, utiliza un sistema de reducción de presión por etapas para despresurizar el circuito de refrigerante primario, que se ilustra en las figuras 1 y 2. Una serie de válvulas 72 acoplan la salida 56 del reactor (también conocida como la "rama caliente" del circuito de refrigerante primario) al interior de la carcasa 54 de contención a través de burbujeadores 74 en el tanque 50 de almacenamiento de agua de reabastecimiento, que ventilan y disipan la energía del refrigerante de la rama caliente en el agua de reabastecimiento en el tanque. Cuando el tanque se calienta y emite vapor, el vapor se condensa en el interior de la carcasa de contención. Cuando se inicia inicialmente la despresurización, el circuito 46 de refrigerante y el tanque de almacenamiento de agua de reabastecimiento se acoplan mediante las válvulas 72 de despresurización a través de uno o más conductos 76 pequeños a lo largo de la trayectoria de flujo con una contrapresión no insustancial. A medida que disminuye la presión en el circuito de refrigeración, se abren conductos adicionales mediante un accionamiento adicional de las válvulas 72 de despresurización en etapas, abriendo cada etapa una trayectoria de flujo más grande y/o más directa entre el circuito 46 de refrigerante y la carcasa 54 de contención.

Las etapas de despresurización inicial acoplan un tanque 80 presurizador que está conectado por conductos a la rama 56 caliente del circuito de refrigerante y a burbujeadores 74 en un tanque 50 de suministro de agua de reabastecimiento de contención. Los burbujeadores 74 comprenden conductos que conducen a pequeños orificios de chorro sumergidos en el tanque, proporcionando así presión de retorno y permitiendo que el agua se condense del vapor emitido por los burbujeadores al tanque 50. Las etapas de despresurización sucesivas tienen diámetros interiores del conducto progresivamente más grandes. Una etapa final tiene un conducto 84 grande que acopla la rama caliente directamente en la carcasa 54 de contención, por ejemplo, en un compartimiento 40 de bucle de refrigerante principal a través del cual pasa la rama 56 caliente del circuito 46 de reactor. Esta disposición reduce la presión en el circuito de refrigerante rápidamente, sustancialmente a la presión atmosférica, sin carga hidráulica repentina de los respectivos conductos del reactor. Cuando la presión es suficientemente baja, se agrega agua al circuito de refrigerante por flujo de gravedad desde el tanque 50 de almacenamiento de agua de reabastecimiento en la contención.

La despresurización automática en el sistema reactor Asp1000® es una salvaguarda pasiva que asegura que el núcleo del reactor se enfría, incluso en el caso de una pérdida importante accidental de refrigerante tal como una gran brecha en el circuito de refrigerante del reactor. En la medida en que el tanque de almacenamiento de agua de reabastecimiento en el tanque se drena por gravedad, no se requieren bombas. Drenando el agua en la parte inferior del edificio de contención donde se encuentra el recipiente del reactor, se desarrolla una presión de fluido de agua

5 en la contención suficiente para forzar el agua en el circuito de refrigerante despresurizado sin depender de elementos activos tales como bombas. Una vez que el circuito de refrigerante está a presión atmosférica y la contención se inunda, el agua continúa siendo forzada hacia el recipiente del reactor, donde la ebullición del agua enfría el combustible nuclear. El agua en forma de vapor que escapa del circuito refrigerante del reactor se condensa en las paredes interiores de la carcasa de contención, y se drena nuevamente dentro del tanque de almacenamiento de agua de reabastecimiento para ser inyectada de nuevo en el circuito refrigerante del reactor.

10 La planta de energía nuclear AP 1000® ha sido diseñada de manera tal que, en caso de un apagón de la estación, es decir, la pérdida total de energía tradicional interna y externa, la planta puede pararse de manera segura y lograr una condición de parada de seguridad utilizando solo sistemas pasivos. Por la energía tradicional interna y externa, nos referimos a la energía eléctrica generada convencionalmente a partir de fuentes internas y externas. Algunas válvulas simples alinean los sistemas de seguridad pasiva cuando se activan automáticamente. En la mayoría de los casos, estas válvulas son "a prueba de fallos". Requieren energía para mantenerse en su posición normal y cerrada. La pérdida de energía hace que se abran en su alineación segura. En todos los casos, su movimiento se realiza utilizando energía almacenada de muelles, gas comprimido o baterías. La planta está diseñada para mantener esta condición sin intervención durante al menos 72 horas, después de lo cual se necesita alguna acción del operador para extender el período de adaptación. Durante el período inicial de 72 horas, los bancos de baterías se utilizan para alimentar cualquier equipo necesario y la instrumentación de monitorización de la planta, etc. Es deseable explorar medios pasivos adicionales para extender este tiempo de afrontamiento más allá de 72 horas utilizando energía disponible dentro de la planta en el momento de y después de la parada.

20 El documento US 2010/0260 309 A1 describe una planta de energía nuclear que tiene un reactor con un refrigerante que circula dentro de un núcleo nuclear fisible para transportar el calor generado dentro del núcleo a un circuito de utilización para crear trabajo útil que incluye un circuito de eliminación de calor residual de refrigerante de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

25 El documento JP 2009 115 571 da a conocer una planta de energía nuclear similar en la que un semiconductor termoeléctrico está montado en la rama fría del reactor nuclear que disipa el calor después de la parada.

El documento US 4 699 754 describe una planta de energía nuclear similar en la que un elemento termoeléctrico está montado dentro de un conducto de derivación de un ciclo de refrigerante primario de la planta de energía nuclear para disipar el calor de parada.

30 El documento WO 2007/024 569 A2 describe una planta de energía nuclear con un sistema de refrigeración que se forma como un ciclo de Rankine que es capaz de disipar el calor de parada. El documento US6 234 244 D1 divulga una camisa de refrigerante de intercambio de calor para aplicar fluido a un tubo de conducto del sistema. El documento US 2005/0 028 858 A1 divulga un módulo termoeléctrico.

35 El documento WO 2008/042 073 A2 describe un generador termoeléctrico que genera energía eléctrica a partir de diferenciales de calor para su uso en dispositivos de campo de energía en sistemas de control y control de procesos industriales, teniendo el generador termoeléctrico una brida de unión caliente, una brida de unión fría y una salida de energía termoeléctrica.

Por consiguiente, es un objeto de esta invención usar los recursos dentro de la planta para mantener la planta de manera segura más allá de las 72 horas sin la intervención del operador o la asistencia de energía externa.

40 Es un objeto adicional de esta invención para extender así el período de afrontamiento sin alterar la operación de los sistemas de la planta existentes.

Sumario

45 Para lograr los objetivos anteriores, esta invención proporciona una planta de energía nuclear tal como se define en la reivindicación 1. La planta de energía nuclear tiene un reactor con refrigerante que circula dentro de un núcleo nuclear fisiónable para llevar el calor generado dentro del núcleo a un circuito de utilización para crear un trabajo útil. La planta de energía nuclear incluye un circuito de eliminación de calor residual del refrigerante para disipar el calor residual generado en el núcleo después de que el reactor ha sido apagado, especialmente en el caso improbable de que se encuentre una condición de operación anormal. El circuito de eliminación de calor residual incluye un conducto de eliminación de calor residual para transportar un volumen de refrigerante desde el núcleo del reactor a través del circuito de eliminación de calor residual, en el que el conducto de eliminación de calor residual incluye una sección no aislada. El circuito de eliminación de calor residual también incluye un motor térmico que tiene una primera parte componente en relación de intercambio de calor con la sección no aislada del conducto de eliminación de calor residual y una segunda parte componente en relación de intercambio de calor con el entorno que rodea la sección no aislada. El motor térmico responde a una diferencia de temperatura entre el conducto de eliminación de calor residual y el entorno que rodea la sección no aislada para generar energía eléctrica o mecánica como fuente de alimentación auxiliar para ayudar a la gestión de la condición de operación anormal. En una realización, el motor térmico es un generador termoeléctrico preferiblemente fijado a una superficie exterior del conducto de eliminación de calor residual con una abrazadera conductora de calor. El generador termoeléctrico está soportado dentro de un rebaje en la abrazadera; y preferiblemente, el rebaje está en la superficie externa de la abrazadera.

De acuerdo con una realización alternativa, que no forma parte de la presente invención, el motor térmico es o bien un motor de ciclo Rankine o un motor de ciclo Sterling. Preferiblemente, el circuito de eliminación de calor residual incluye un intercambiador de calor pasivo de eliminación de calor residual que tiene un cabezal de canal y la sección no aislada está en una sección de tubería que conduce al cabezal del canal y/o en el cabezal del canal.

- 5 Típicamente, la planta de energía nuclear incluye una eliminación de calor y un sistema de control para la gestión de una parada de la central nuclear en el caso poco probable de la condición de operación anormal. De acuerdo con otra realización de esta invención, uno o más de los sistemas de eliminación de calor y monitorización es operado al menos en parte por una fuente de alimentación activada pasivamente, independiente, interna, en la que la fuente de alimentación auxiliar está conectada para extender la vida operativa de la fuente de poder activada pasivamente, independiente del sitio. Deseablemente, la fuente de energía auxiliar solo está activa cuando se ha iniciado el flujo de refrigerante a través del circuito de eliminación de calor residual.

Breve descripción de los dibujos

Una comprensión adicional de la invención se puede obtener a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferidas cuando se lee conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

- 15 La figura 1 es una vista isométrica de los principales componentes de un sistema de enfriamiento de núcleo pasivo que puede beneficiarse de esta invención;
La figura 2 es una representación esquemática de una porción no aislada de una sección de la tubería de entrada del intercambiador de calor de eliminación de calor residual pasivo con una serie de paneles generadores termoeléctricos suspendidos a partir de la misma.
- 20 La figura 3 es una sección transversal de un cabezal de canal de un intercambiador de calor de eliminación de calor pasivo residual;
La figura 4 es una vista en planta de la cara inferior del cabezal de canal del intercambiador de calor de eliminación de calor pasivo residual que se muestra en la figura 5;
- 25 La figura 5 es un esquema de un elemento termoeléctrico que puede usarse como una fuente de energía auxiliar para operar los componentes empleados para mantener el sistema del reactor en una condición segura en el caso de un apagón de la estación;
La figura 6 es una representación gráfica de una energía en función del tiempo para un elemento generador termoeléctrico;
- 30 La figura 7 es una representación gráfica de la energía total del conjunto de generador termoeléctrico; y
La figura 8 es una vista en perspectiva de una abrazadera de montaje para instalar los elementos generadores termoeléctricos en una sección de tubería circular.

Descripción de la realización preferida

- A partir de la figura 1, se puede apreciar que el sistema 98 de retirada de calor residual incluye un conducto 58 conectado a la rama caliente de la tubería 56 de refrigerante del reactor que está *conectado* al intercambiador 14 de calor de eliminación de calor residual pasiva (PRHR), que es sumergido en el tanque 50 de almacenamiento de agua de reabastecimiento de contención (IRWST). La tubería 12 de intercambiador de calor de PRHR de salida está conectada al cabezal de canal de un generador 30 de vapor y el flujo de refrigerante es dirigido hacia la tubería 36 de rama fría donde es devuelto al recipiente 60 de reactor. Cuando se activa este sistema de enfriamiento pasivo, el flujo ocurrirá a través del circuito mencionado anteriormente bajo la acción de la circulación natural solamente, llevando refrigerante del reactor caliente al intercambiador de calor PRHR donde puede disipar una porción de esa energía al agua en el IRWST. El refrigerante a temperatura reducida se devuelve luego al recipiente del reactor. La diferencia de temperatura entre el refrigerante en la rama caliente y el refrigerante en la rama fría da como resultado una diferencia de densidad correspondiente que hace que el flujo se produzca pasivamente. Una porción de la tubería 58 de entrada PRHR se deja sin aislar intencionadamente. Como resultado, cuando el refrigerante caliente fluye a través de la tubería 58, la superficie de la tubería alcanza una temperatura cercana a la temperatura del refrigerante caliente. En la presente invención, un motor térmico que incluye una matriz de generadores termoeléctricos está unido a la superficie exterior de la tubería 58 y produce energía operando entre la temperatura de la tubería y la temperatura de contención 54 ambiental.

- 50 Esta invención convierte el calor latente eliminado del reactor como parte del sistema de retirada de calor residual pasivo, en una fuente de energía auxiliar que se puede utilizar para alimentar muchas de las funciones críticas de la planta durante una condición de apagón de la estación para mantener la planta en un estado seguro. De acuerdo con una realización de esta invención, ilustrada esquemáticamente en la figura 2, los generadores termoeléctricos están montados en una parte de la tubería 12 que está conectada a la entrada del intercambiador 14 de calor de eliminación de calor residual pasivo que se encuentra en el tanque 50 de almacenamiento de agua de reabastecimiento de contención. El intercambiador 14 de calor de eliminación de calor residual pasivo está conectado a la tubería de refrigerante del reactor de tal manera que la eliminación de calor decaído del núcleo puede lograrse por medio de un flujo impulsado por circulación natural después del apagón de la estación. Una porción 13 de la tubería 12 que está unida al cabezal 16 del canal de entrada del intercambiador 14 de calor de eliminación de calor pasivo residual se deja sin aislar intencionadamente (se muestra en la figura 2) con la boquilla de entrada del intercambiador de calor de eliminación de calor pasiva, que está conectada a la entrada tubería, que se muestra

como 12 en las figuras 3 y 4. Además, la superficie del cabezal 16 del canal también está sin aislamiento. Parte del área superficial disponible de estos componentes se muestra en las figuras 2, 3 y 4. Cuando este intercambiador 14 de calor se pone en servicio durante un apagón de la estación, la porción 13 no aislada de la tubería 12 de entrada y el cabezal 16 del canal se suministrarán con agua caliente del sistema de refrigerante del reactor que inicialmente estará a aproximadamente 316 °C (600 °F), y permanecen a aproximadamente 177 °C (350 °F) durante el primer período de 72 horas. Los generadores termoeléctricos son más eficientes cuando tienen una gran diferencia de temperatura entre los dos lados del generador termoeléctrico (comúnmente denominado "lado caliente" y "lado frío").

Un dispositivo termoeléctrico de ejemplo se ilustra en la figura 5 y se designa generalmente mediante el carácter de referencia 10. El dispositivo 10 termoeléctrico generalmente consiste en dos o más elementos de material 18 semiconductor dopado con un tipo N y P que están conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. El material de tipo N está dopado de modo que tendrá un exceso de electrones (más electrones que los necesarios para completar una estructura reticular molecular perfecta) y el material de tipo P está dopado de modo que tendrá una deficiencia de electrones (menos electrones que son necesarios para completar una estructura de celosía perfecta). Los electrones extra en el material N y los "agujeros" resultantes de la deficiencia de electrones en el material P son los portadores que mueven la energía térmica de una fuente 20 de calor a través del material termoeléctrico a un disipador 24 de calor que, en este caso, es el entorno que rodea la tubería pasiva de eliminación de calor residual y/o la cabeza del canal sobre la que está montado el generador termoeléctrico. La electricidad que se genera mediante un módulo termoeléctrico, que puede comprender uno o más elementos termoeléctricos conectados en serie o en paralelo, tal como el elemento ilustrado en la figura 5, es proporcional a la magnitud de la diferencia de temperatura entre cada lado del elemento 10. Una serie de generadores termoeléctricos están montados en la tubería 12 del sistema de eliminación de calor residual pasivo o el cabezal 16 del canal experimentaría una gran temperatura delta entre la superficie de la tubería caliente y la temperatura ambiente dentro del contenedor y tiene la capacidad de generar energía significativa. La figura 6 muestra la salida de energía típica de un único elemento generador termoeléctrico en función del tiempo (ya que la temperatura caliente disminuye con el tiempo) y la figura 7 muestra la energía total producida si toda el área superficial disponible del tubo y el cabezal del canal utilizado. La utilización completa del área disponible en un diseño de planta nuclear AP1000® alojará 2.130 paneles de generadores termoeléctricos. Como se puede ver, la energía total producida es significativa, comenzando en más de 25 kilovatios y permaneciendo por encima de 5 kilovatios durante al menos las primeras 24 horas. Esta energía se puede utilizar para recargar baterías o directamente alimentar el equipo según sea necesario. Esto es valioso para los operadores de servicios públicos de una planta nuclear, ya que esta energía generada pasivamente se puede utilizar para extender el período de adaptación para la planta al reducir la demanda en los bancos de baterías existentes.

Típicamente, los generadores termoeléctricos más eficientes disponibles en el mercado se fabrican como paneles relativamente pequeños (5,1-7,6 cm (2-3 pulgadas) cuadrados). Sin embargo, estos paneles cuadrados no se ajustan bien a la circunferencia de una tubería. Una forma de resolver este problema es utilizar una abrazadera que se ajuste alrededor de la tubería o se extienda alrededor de la sección circular del intercambiador de calor de eliminación de calor pasivo residual, es decir, el cabezal del canal superior en el área de la lámina de tubo. Tal abrazadera 138 se muestra en la figura 8. La abrazadera comprende dos secciones 140 semicirculares que se encuentran alrededor de la tubería en un extremo y están acopladas entre sí mediante una bisagra 142 y en el otro extremo mediante pestañas 144 de fijación que pueden atornillarse juntas. Alternativamente, la bisagra 142 puede reemplazarse por pestañas coincidentes tales como las mostradas en 144. La abrazadera 138 se construye a partir de un material altamente conductor de la temperatura, tal como una aleación de aluminio, y tiene rebajes 146 mecanizados o fundidos alrededor de la circunferencia que encajan en los cuadrados del generador termoeléctrico y tienen un buen contacto térmico. Estas abrazaderas maximizarían el área de superficie del lado caliente, permitiendo la mayor generación de energía. Cada uno de los generadores termoeléctricos se puede conectar a los otros en una matriz, y las matrices se pueden conectar en serie, en paralelo, o una combinación de ambos, para producir los niveles de tensión y corriente necesarios. La abrazadera 138, como se muestra en la figura 8, puede realizarse como un diseño de concha de almeja para facilitar la unión a la tubería existente incorporando la articulación 142 de bisagra y una brida 144 atornillada opuesta a la bisagra, o dos pestañas atornilladas respectivamente ubicadas en lados opuestos de la abrazadera. Este concepto de montaje puede extenderse a cualquier superficie curva incluyendo el cabezal 16 del canal del intercambiador de calor de eliminación de calor residual pasivo, con puntos de unión utilizados según sea necesario para asegurar el hardware de montaje del generador termoeléctrico a la superficie.

De acuerdo con una realización alternativa, que no forma parte de la presente invención, un motor de ciclo Sterling o un motor de ciclo de Rankine puede estar conectado en relación de intercambio térmico con la tubería 12 y/o la cabeza de canal 16 para convertir la diferencia de temperatura delta entre esas superficies y el entorno circundante en energía mecánica que se puede utilizar para impulsar directamente las bombas o impulsar un generador para crear la energía eléctrica auxiliar que puede ser necesaria para operar las válvulas y la instrumentación. Tal disposición alternativa se ilustra figurativamente en la figura 2 con el bloque 148 representando el Ciclo de Rankine o el Motor de Ciclo Sterling en comunicación de calor con la tubería 12 a través de una tubería 150 de calor.

Por consiguiente, las realizaciones descritas en este documento proporcionan un verdadero medio pasivo para generar energía para una planta nuclear desde una fuente independiente separada de la fuente de energía convencional de la estación nuclear, después de un apagón de la estación. Los motores térmicos, es decir, los

5 generadores termoeléctricos o el ciclo Rankine o el Motor de Ciclo Sterling, están inactivos en condiciones normales debido a que la tubería y/o el cabezal del canal al que están unidos están fríos, pero se activan automáticamente cuando el fluido caliente pasa por la tubería, como es el caso cuando comienza el flujo impulsado por circulación natural. Estos dispositivos también pueden estar provistos de revestimientos protectores que les permiten operar en un entorno de vapor que puede estar presente dentro de la contención a medida que se evapora el agua del tanque de almacenamiento de agua de recarga de contención.

10 Aunque realizaciones específicas de la invención se han descrito en detalle, se apreciará por parte de los expertos en la técnica que diversas modificaciones y alternativas a esos detalles podrían desarrollarse a la luz de las enseñanzas globales de la divulgación. De acuerdo con ello, las realizaciones particulares divulgadas pretenden ser solo ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención, que está definido en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una planta (22) de energía nuclear que tiene un reactor (60) con un refrigerante que circula dentro de un núcleo nuclear fisionable para llevar el calor generado dentro del núcleo a un circuito de utilización para crear trabajo útil, que incluye;
- 5 un circuito (98) de eliminación de calor residual del refrigerante para disipar el calor residual generado en el núcleo después de que el reactor (60) se haya apagado en el improbable caso de que se encuentre una condición de operación anormal, incluyendo el circuito de eliminación de calor residual del refrigerante:
- 10 un conducto (12) de eliminación de calor residual para transportar un volumen de un refrigerante desde el núcleo del reactor a través del circuito (98) de eliminación de calor residual, en el que el conducto de eliminación de calor residual incluye una sección (13) no aislada; y
- 15 un motor (10) térmico que tiene una primera parte componente en relación de intercambio de calor con la sección (13) no aislada y una segunda parte componente en relación de intercambio de calor con el entorno que rodea la sección no aislada y sensible a una diferencia de temperatura entre el conducto (12) de eliminación de calor residual y el entorno que rodea la sección no aislada para generar energía eléctrica o mecánica como fuente de energía auxiliar para ayudar en la gestión de la condición de operación anormal;
- 20 **caracterizada porque** el motor térmico es un generador (10) termoeléctrico fijado a una superficie exterior del conducto (13) de recuperación con una abrazadera (138) conductora de calor, con el generador (10) termoeléctrico soportado dentro de un rebaje (146) de la abrazadera (138).
2. La planta (22) de energía nuclear de la reivindicación 1, en la que el rebaje (146) está en una superficie exterior de la abrazadera (138).
3. La planta (22) de energía nuclear de la reivindicación 1, en la que el circuito (98) de eliminación de calor residual incluye un intercambiador (14) de calor en comunicación de fluido con el conducto (12) de eliminación de calor residual que tiene un cabezal (16) de canal y la sección (13) no aislada está en una sección (12) de tubería que conduce al cabezal del canal y/o en el cabezal del canal.
4. La planta (22) de energía nuclear de la reivindicación 1, que incluye un sistema de eliminación de calor y de monitorización para gestionar la parada de la central nuclear en el improbable caso de una condición de operación anormal en la que uno o más de los sistemas de eliminación de calor y de monitorización son al menos en parte operados por una fuente de energía activada pasivamente, independiente, interna, en la que la fuente (148) de energía auxiliar está conectada a y que extiende la vida operativa de la fuente de energía activada pasivamente, independiente, interna.
5. La planta (22) de energía nuclear de la reivindicación 1, en la que la fuente (148) de energía auxiliar solo está activa cuando se ha iniciado el flujo de refrigerante a través del circuito (98) de eliminación de calor residual.

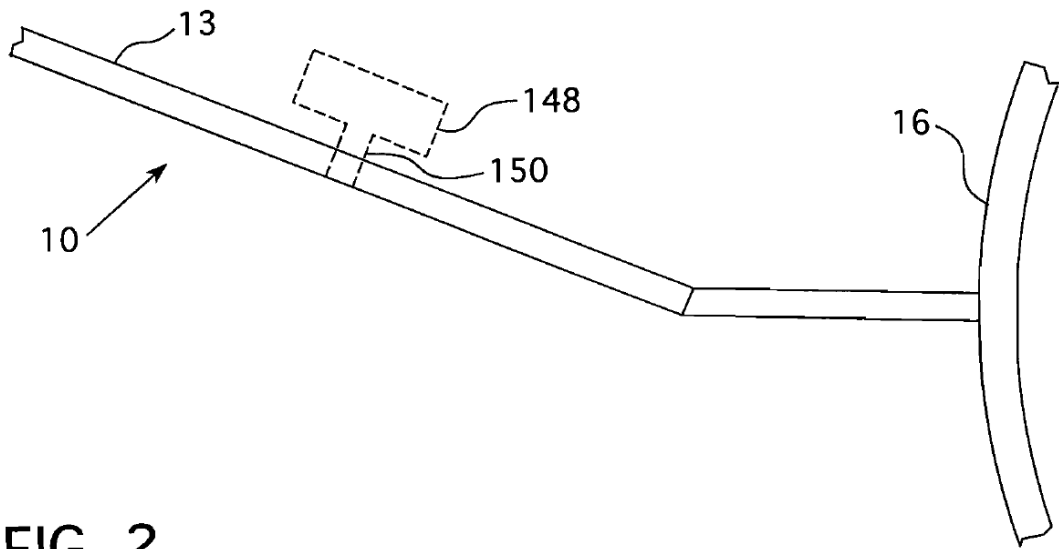


FIG. 2

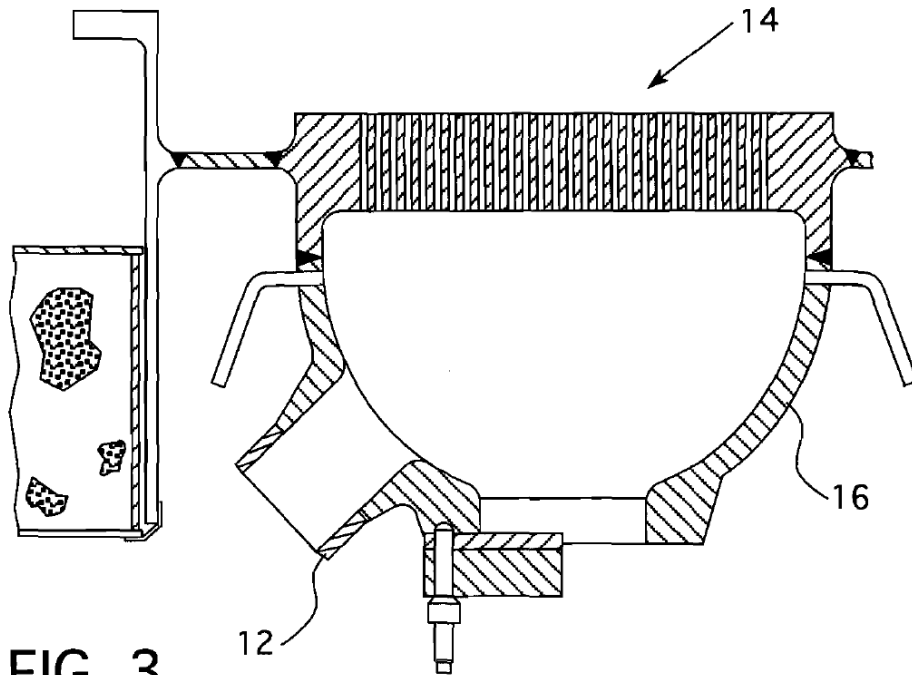


FIG. 3

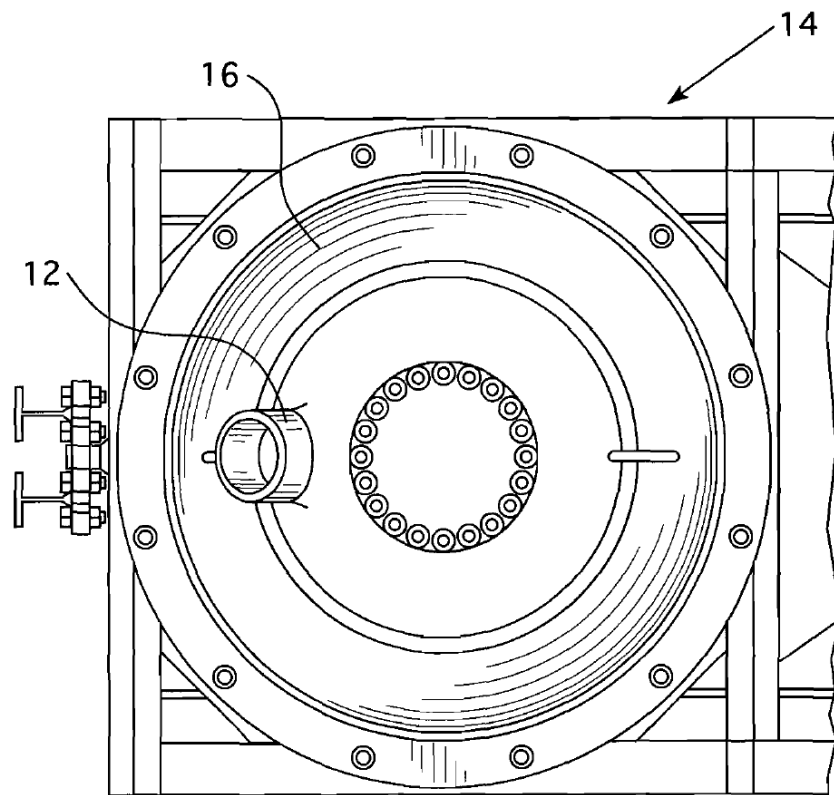


FIG. 4

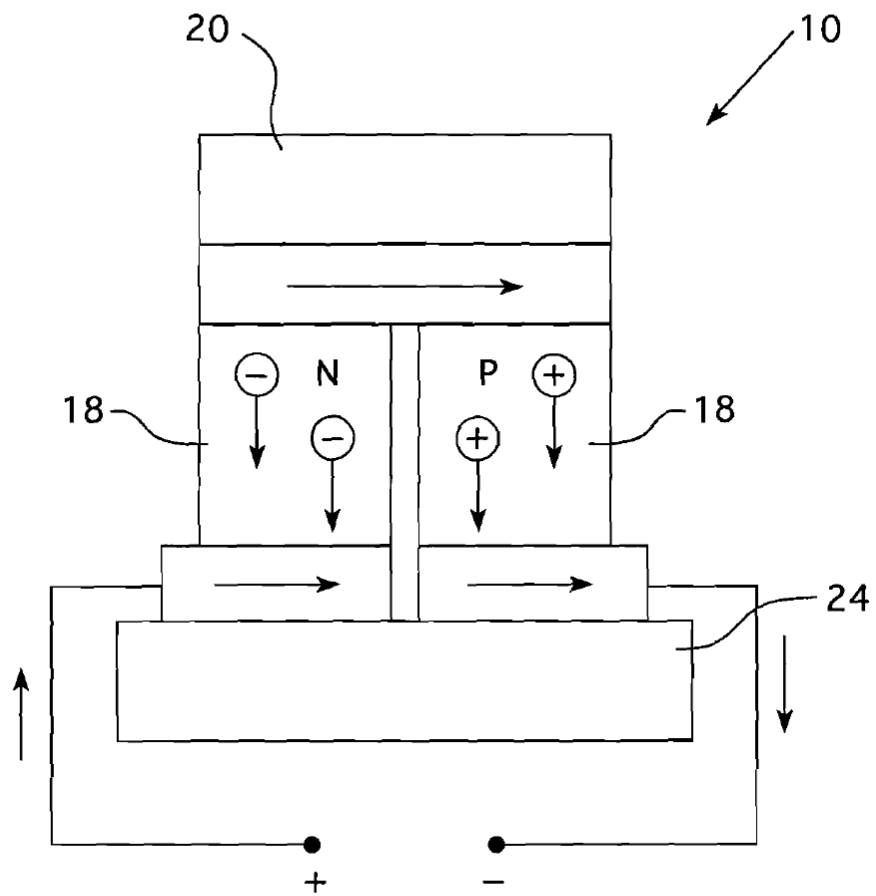


FIG. 5

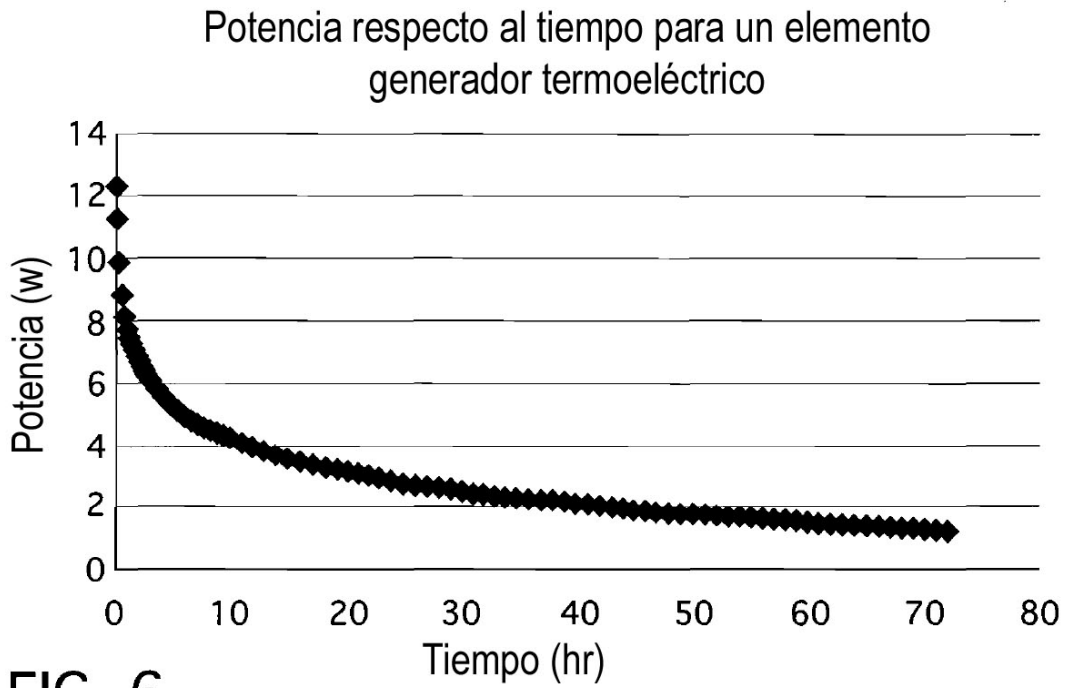


FIG. 6

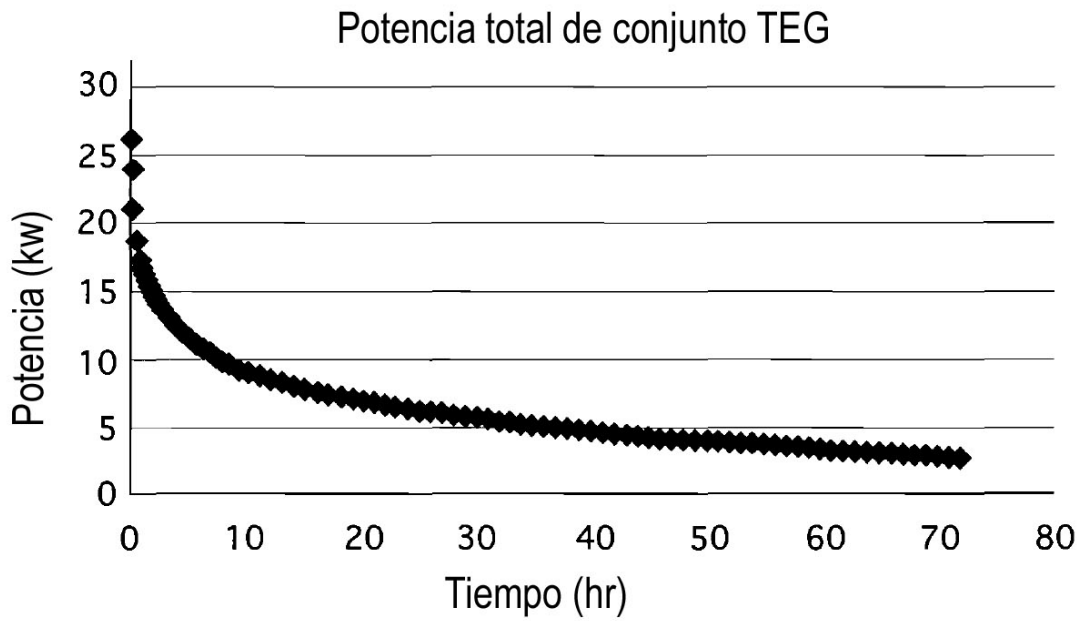


FIG. 7

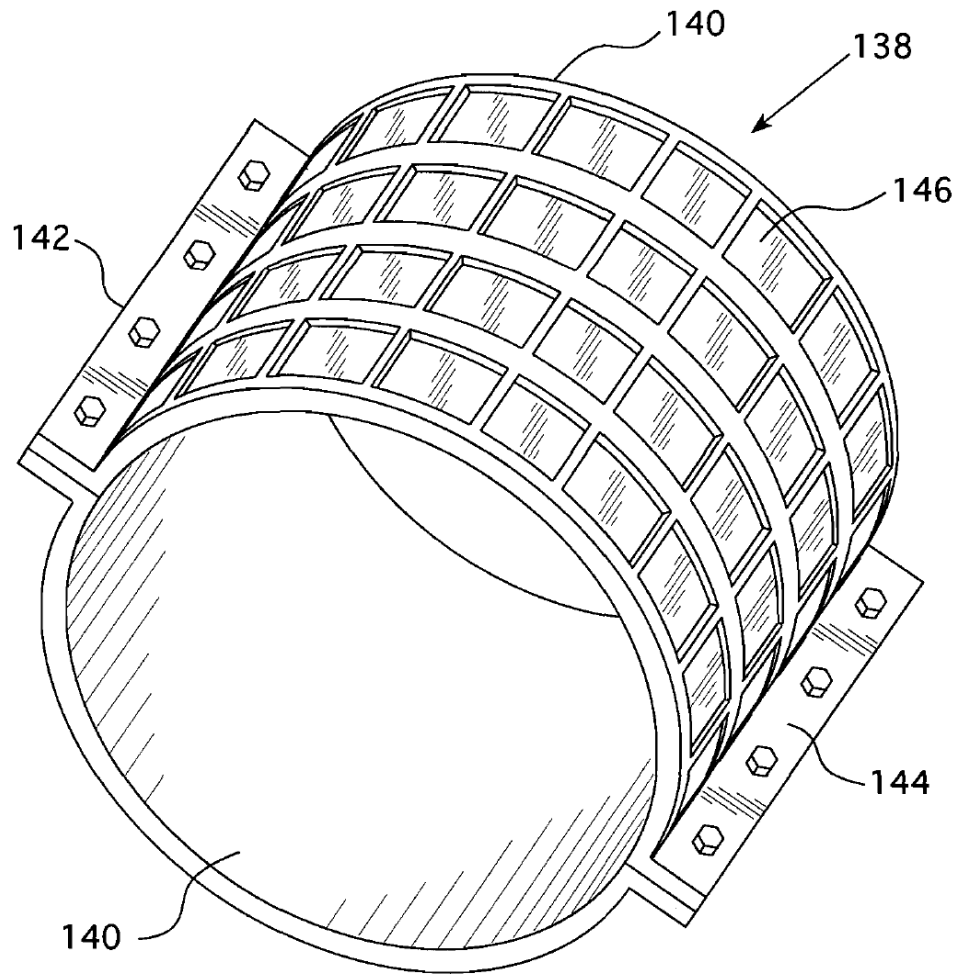


FIG. 8