

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 805 130**

51 Int. Cl.:

F26B 3/00 (2006.01)
G21F 9/36 (2006.01)
G21C 19/00 (2006.01)
F26B 21/08 (2006.01)
F26B 21/14 (2006.01)
F26B 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2006 E 18198190 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020 EP 3441707**

54 Título: **Procedimiento y aparato para deshidratar residuos de alta actividad basándose en mediciones de temperatura de punto de rocío**

30 Prioridad:

06.06.2005 US 145785

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.02.2021

73 Titular/es:

**HOLTEC INTERNATIONAL, INC. (100.0%)
One Holtec Boulevard
Camden, NJ 08104, US**

72 Inventor/es:

SINGH, KRISHNA P.

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 805 130 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

Procedimiento y aparato para deshidratar residuos de alta actividad basándose en mediciones de temperatura de punto de rocío

5

Campo de la invención

La presente invención se refiere en general al campo de almacenamiento de residuos de alta actividad ("HLW", por sus siglas en inglés), y específicamente al campo de secado de HLW para su almacenamiento y/o transporte en "estado seco".

10

Antecedentes de la invención

El almacenamiento, manejo y transferencia de HLW, tal como combustible nuclear gastado, requiere cuidados especiales y garantías de procedimiento. En la operación de los reactores nucleares, los tubos huecos de zircaloy rellenos de uranio enriquecido, conocidos como conjuntos de combustible, se queman dentro del núcleo del reactor nuclear. Es habitual retirar del reactor estos conjuntos de combustible después de que su energía se haya agotado hasta un nivel predeterminado. Una vez agotado y luego retirado, este combustible nuclear gastado ("SNF", por sus siglas en inglés) sigue siendo altamente radiactivo y produce un calor considerable, lo que exige tener un gran cuidado en su posterior embalaje, transporte y almacenamiento. Específicamente, el SNF emite neutrones y fotones gamma extremadamente peligrosos. Es imperativo que estos neutrones y fotones gamma estén contenidos en todo momento después de la extracción del núcleo del reactor.

15

20

Cuando se descarga el combustible de un reactor nuclear, es algo común extraer el SNF del reactor y colocar el SNF bajo el agua, en lo que generalmente se conoce como almacenamiento de combustible gastado en piscinas o estanques. El agua de la piscina facilita el enfriamiento del SNF y proporciona una protección adecuada contra la radiación. El SNF se almacena en la piscina durante un período lo suficientemente largo como para permitir que el calor y la radiación decaigan hasta un nivel suficientemente bajo para que el SNF pueda ser transportado con seguridad. Sin embargo, debido a los condicionamientos de seguridad, de espacio y económicos, el uso de la piscina únicamente no es satisfactorio cuando se precisa almacenar el SNF durante un período de tiempo considerable. Por lo tanto, cuando se requiere el almacenamiento a largo plazo de SNF, es una práctica estándar en la industria nuclear almacenar el SNF en un estado seco después de un breve período de almacenamiento en la piscina de combustible gastado, es decir, almacenar el SNF en una atmósfera de gas inerte seco dentro de una estructura que proporcione un blindaje adecuado contra la radiación. Una estructura habitual que se utiliza para almacenar SNF en estado seco durante largos períodos de tiempo es un barril de almacenamiento.

25

30

35

Los barriles de almacenamiento tienen una cavidad del tamaño adecuado para recibir una cápsula de SNF y están diseñados como estructuras grandes y pesadas fabricadas en acero, plomo, hormigón y un material hidrogenado adecuado para el medio ambiente. Normalmente, los barriles de almacenamiento pesan aproximadamente 150 toneladas y tienen una altura superior a 4,57 m. Un problema común asociado a los barriles de almacenamiento es que son demasiado pesados para ser levantados por la mayoría de las grúas de las centrales nucleares. Otro problema común es que los barriles de almacenamiento son generalmente demasiado grandes para ser colocados en piscinas de combustible gastado. Por lo tanto, para almacenar el SNF en un barril de almacenamiento después de haberlo enfriado en la piscina, hay que retirar el SNF de la piscina, prepararlo en un área de preparación y transportarlo al barril de almacenamiento. Se necesita un blindaje adecuado contra la radiación en todas las etapas de este procedimiento de transferencia.

40

45

Como resultado de la necesidad de retirar el SNF de la piscina de combustible gastado y transportarlo adicionalmente a un barril de almacenamiento, habitualmente se sumerge una cápsula abierta en la piscina de combustible gastado antes de extraer el SNF del núcleo del reactor. Después se coloca directamente el SNF en la cápsula abierta que está sumergida en el agua. Sin embargo, incluso después del sellado, la cápsula sola no proporciona una contención adecuada de la radiación del SNF. Una cápsula cargada no puede retirarse de la piscina de combustible gastado ni transportarse sin un blindaje adicional contra la radiación. Por lo tanto, se han desarrollado aparatos y procedimientos que proporcionan un blindaje adicional contra la radiación durante el transporte del SNF. El blindaje adicional contra la radiación se logra habitualmente colocando las cápsulas en grandes recipientes cilíndricos, denominados barriles de transferencia, mientras están sumergidos dentro de la piscina. Al igual que los barriles de almacenamiento, los barriles de transferencia están adecuadamente dimensionados para recibir la cápsula y están diseñados para blindar el entorno frente a las radiaciones emitidas por el SNF contenido en la misma.

50

55

En las instalaciones que utilizan barriles de transferencia para transportar cápsulas cargadas, primero se coloca una cápsula vacía en la cavidad de un barril de transferencia abierto. La cápsula y el barril de transferencia se sumergen en la piscina de combustible gastado. El SNF descargado previamente de los reactores, ubicado en almacenamiento húmedo, se lleva a la cápsula sumergida (que se encuentra dentro del barril de transferencia y está llena de agua). Después se pone la tapa a la cápsula cargada, encerrando el SNF y el agua de la piscina que están dentro de la cápsula. Luego la cápsula y el barril de transferencia cargados son retirados de la piscina con una grúa y colocados en un área de preparación para preparar la cápsula cargada con SNF para su almacenamiento o transporte en

60

65

condiciones secas. Para que una cápsula cargada con SNF esté adecuadamente preparada para el almacenamiento o el transporte en seco, la Comisión Reguladora Nuclear ("NRC") de los Estados Unidos requiere que el SNF y el interior de la cápsula sean adecuadamente secados antes de sellar la cápsula y transferirla al barril de almacenamiento. Específicamente, las regulaciones de la NRC exigen que la presión de vapor ("vP") dentro de la cápsula sea igual o inferior a 399,97 Pa (3 Torr) antes de que la cápsula sea rellena con un gas inerte y sellada. La presión de vapor es la presión del vapor sobre un líquido en equilibrio, estando definido el equilibrio como la condición en la que el número de moléculas que se transforman de la fase líquida a la fase gaseosa es igual al de las moléculas que se transforman de la fase gaseosa a la fase líquida. El requisito de una vP baja de 399,97 Pa (3 Torr) o inferior garantiza un espacio adecuadamente seco en el interior de la cápsula, apropiado para el almacenamiento a largo plazo o el transporte de SNF.

Actualmente, las instalaciones nucleares cumplen con los requisitos de la NRC de una vP igual o inferior a 399,97 Pa (3 Torr) efectuando un proceso de secado al vacío. Al efectuar este proceso, en primer lugar se drena de la cápsula el grueso del agua que está dentro de la cápsula. Una vez drenado el grueso del agua líquida, se acopla un sistema de vacío a la cápsula y se activa para crear una condición de presión subatmosférica dentro de la cápsula. La condición subatmosférica dentro de la cápsula facilita la evaporación del agua líquida restante mientras que el vacío ayuda a eliminar el vapor de agua. La vP dentro del recipiente se comprueba empíricamente mediante un procedimiento de creación y mantenimiento de vacío. Si es necesario, se repite el procedimiento de creación y mantenimiento de vacío hasta que el aumento de presión durante una duración prescrita de la prueba (30 minutos) se limite a 399,97 Pa (3 Torr). Una vez que el secado al vacío ha pasado la prueba de aceptación, se rellena la cápsula con un gas inerte y se sella la cápsula. Luego se transporta el barril de transferencia (con la cápsula en su interior) hasta una posición sobre un barril de almacenamiento y se transfiere la cápsula cargada de SNF al barril de almacenamiento para su almacenamiento a largo plazo.

Los procedimientos actuales para satisfacer los requisitos de la NRC de una vP igual o inferior a 399,97 Pa (3 Torr) son largos, manualmente intensivos y propensos a errores por fugas en tuberías y válvulas. Cada vez que haya que acercarse físicamente a la cápsula para monitorizar el vacío y hacer pruebas de sequedad, existe el riesgo de exponer al personal de mano de obra a altas radiaciones. Además, la creación de condiciones subatmosféricas en la cápsula requiere un costoso equipo de vacío y puede causar problemas complicados en el equipo.

Los documentos JP 2002156488 A, JP 2004340814 A, JP 2005140536 A y EP1429344 A2 divulgan diferentes procedimientos para secar residuos radiactivos.

Sumario de la invención

Por lo tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento y un sistema para secar una cápsula cargada con HLW.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un sistema para secar una cápsula cargada con HLW sin acceder físicamente al contenido de la cápsula para asegurar que se ha alcanzado un nivel aceptable de sequedad dentro de la cápsula.

Otro objeto más de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un sistema para secar una cápsula cargada con HLW sin someter el interior de la cápsula a condiciones subatmosféricas.

Aún otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un sistema para secar una cápsula cargada con HLW sin utilizar un equipo de vacío costoso.

Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un sistema para preparar una cápsula cargada con SNF para almacenamiento en seco que sea fácil de implementar y/o eficiente en el tiempo.

Un objeto adicional más de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un sistema para preparar una cápsula cargada con HLW para almacenamiento en seco de una manera más rentable.

Estos objetos y otros objetos son alcanzados por la presente invención, que consiste en el procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1. Otras realizaciones opcionales que también pertenecen a la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

Al garantizar que el gas no reactivo que sale de la cavidad tenga una temperatura de punto de rocío igual o inferior a la temperatura de punto de rocío predeterminada durante el período de tiempo predeterminado, se garantiza que la cavidad esté adecuadamente seca (es decir, que la vP del gas no reactivo dentro de la cavidad esté por debajo de un nivel deseado sin necesidad de medir físicamente la vP en la misma).

El caudal de gas no reactivo a través de la cavidad determina el tiempo predeterminado para un nivel de secado específico (es decir, una temperatura de punto de rocío predeterminada). La temperatura de punto de rocío predeterminada y el tiempo predeterminado para una cápsula con un volumen de cavidad de cualquier tamaño se

pueden determinar mediante experimentación o simulación.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La Figura 1 es una vista en perspectiva de una realización de una cápsula abierta, que puede usarse junto con la presente invención, representada parcialmente en sección y vacía.
- La Figura 2 es una vista en perspectiva de un barril de transferencia, parcialmente en sección, con la cápsula de la Figura 1 sellada y ubicada en el barril de transferencia.
- 10 La Figura 3 es un diagrama esquemático de un sistema en circuito cerrado para realizar el procedimiento de acuerdo con la presente invención.
- La Figura 4 es un diagrama de flujo de una primera realización de un procedimiento para secar una cápsula cargada con SNF de acuerdo con la presente invención y usando el sistema de la Figura 3.
- La Figura 5 es un gráfico que representa la relación entre la temperatura de punto de rocío y la presión de vapor para el gas helio que se puede usar para determinar la temperatura de punto de rocío objetivo de acuerdo con una realización de la presente invención.
- 15 La Figura 6 es un gráfico que representa la relación entre la temperatura de punto de rocío dentro de una cápsula y el tiempo cuando es sometida a un flujo de gas helio de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción detallada de los dibujos

20 La Figura 1 ilustra una cápsula 20 que es adecuada para el uso con la presente invención. La presente invención no se limita a geometrías, estructuras o dimensiones específicas de la cápsula, y es aplicable a cualquier tipo de vasija envolvente utilizada para transportar, almacenar o retener elementos radiactivos. Aunque la realización ejemplificada de la invención se describirá en términos de su uso para secar una cápsula de combustible nuclear gastado ("SNF"), los expertos en la técnica apreciarán que los sistemas y procedimientos descritos en el presente documento se pueden usar para secar residuos radiactivos de otras formas y en una variedad de diferentes estructuras de contención, según se desee.

30 La cápsula 20 comprende una placa inferior 22 y una pared cilíndrica 24 que forman una cavidad 21. Tal como se usa en este documento, el extremo 25 de la cápsula 20 que está más cerca de la placa inferior 22 se denominará fondo de la cápsula 20, mientras que el extremo 26 de la cápsula 20 que está más alejado de la placa inferior 22 se denominará parte superior de la cápsula 20. La cavidad 21 tiene una rejilla alveolar 23 colocada en su interior. La rejilla alveolar 23 comprende una pluralidad de cajas rectangulares adaptadas para recibir barras de combustible nuclear gastado ("SNF"). La invención no está limitada por la presencia de la rejilla alveolar.

35 La cápsula 20 comprende adicionalmente un tubo de drenaje con un fondo abierto (no ilustrado) ubicado en o cerca del fondo de la cápsula 20 que proporciona un paso sellable desde el exterior de la cápsula 20 hasta el interior de la cavidad 21. Si se desea, la abertura del drenaje puede estar ubicada en la placa inferior 22 o cerca de la parte inferior de la pared del recipiente. El tubo de drenaje se puede abrir o sellar herméticamente usando tapones convencionales, válvulas de drenaje o procedimientos de soldadura.

45 Tal como se ilustra en la Figura 1, la cápsula 20 está vacía (es decir, la cavidad 21 no tiene barras de SNF colocadas en la rejilla alveolar 23) y la parte superior 26 de la cápsula 20 está abierta. Al utilizar la cápsula 20 para transportar y almacenar barras de SNF, la cápsula 20 se coloca dentro de un barril 10 de transferencia (Figura 2) mientras la cápsula 20 está abierta y vacía. El barril 10 de transferencia abierto, que sostiene la cápsula 20 abierta, se sumerge luego en una piscina de combustible gastado que hace que el volumen de la cavidad 21 se llene de agua. Las barras de SNF que se han retirado del reactor nuclear se desplazan entonces bajo el agua de la piscina de combustible gastado y se colocan dentro de la cavidad 21 de la cápsula 20. De preferencia, se coloca un solo haz de barras de SNF en cada caja rectangular de la rejilla alveolar 23. Una vez que la cavidad 21 está completamente cargada con las barras de SNF, se coloca la tapa 27 de la cápsula (Figura 2) encima de la cápsula 20. La tapa 27 de la cápsula tiene una pluralidad de orificios 28 de la tapa, que pueden sellarse, que forman un paso hacia la cavidad 21 desde el exterior de la cápsula 20 cuando están abiertos. Después, el barril 10 de transferencia (que tiene la cápsula 20 cargada en su interior) es levantado de la piscina de combustible gastado con una grúa y colocado verticalmente en un área de preparación (tal como se muestra en la Figura 2) para que pueda prepararse adecuadamente la cápsula 20 para su almacenamiento en seco. Esta preparación para el almacenamiento en seco incluye secar el interior de la cápsula 20 y sellar la tapa 27 a la misma.

60 Haciendo referencia ahora a la Figura 2 exclusivamente, cuando está en el área de preparación, la cápsula 20 (que contiene las barras de SNF y el agua de la piscina) se encuentra dentro del barril 10 de transferencia. Tanto la cápsula 20 como el barril 10 de transferencia están en posición vertical. Una vez en el área de preparación, se utiliza el tubo de drenaje unido a la tapa 27 de la cápsula (no ilustrado), con una abertura inferior en o cerca del fondo 25 de la cápsula 20, para expulsar el grueso del agua que queda atrapada en la cavidad 21 de la cápsula 20 utilizando un gas de purga (generalmente helio o nitrógeno). A pesar de drenar el grueso del agua de la cavidad 21, en la cavidad 21 y en las barras de SNF queda humedad residual. Sin embargo, antes de que la cápsula 20 pueda ser sellada permanentemente y transportada a un barril de almacenamiento para su transporte o almacenamiento a largo plazo, se debe asegurar que la cavidad 21 y las barras de SNF contenidas en la misma estén adecuadamente secas. Debido

a que una baja presión de vapor ("vP") dentro de un recipiente indica que hay un bajo nivel de humedad, la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos ("NRC") exige el cumplimiento de la especificación de una presión de vapor ("vP") igual o inferior a 399,97 Pa (3 Torr) dentro de la cavidad 21 de los barriles que contengan HLW.

5 La Figura 3 es un esquema de una realización de un sistema 300 de secado en circuito cerrado capaz de secar la cavidad 21 hasta los niveles aceptables por la NRC sin la necesidad de medir de manera intrusiva la vP resultante dentro de la cavidad 21. Una vez que el barril 10 de transferencia, que aloja la cápsula 20, está colocado en el área de preparación y se ha drenado el grueso del agua de la cavidad 21, se conecta el sistema 300 de secado a la entrada 28 y a la salida 29 de la cápsula 20 para formar un sistema en circuito cerrado. Más específicamente, la línea 325 de alimentación de gas es conectada de manera fluida a la entrada 28 de la cápsula 20 mientras que la línea 326 de escape de gas es conectada de manera fluida a la salida 29 de la cápsula 20. La entrada 28 y la salida 29 de la cápsula son meros agujeros en la cápsula 20. Si se desea, pueden incorporarse a la entrada y salida 28, 29 las conexiones, juntas y/o válvulas adecuadas.

15 El sistema 300 de secado comprende un depósito 310 de gas no reactivo, una bomba 320 de alimentación, una válvula 321 de caudal, un higrómetro 330 de temperatura de rocío, un enfriador 340, una bomba 360 de recirculación y un sistema 350 de control que incluye un microprocesador 351 programado, un medio informático 352 de memoria, un temporizador 353 y una alarma 370. Aunque la realización ilustrada del sistema 300 de secado está automatizada a través del sistema 350 de control, ni el procedimiento ni el sistema de la presente invención están limitados a ello. Si se desea, las funciones que lleva a cabo el sistema 350 de control pueden ser realizadas manualmente y/u omitidas en algunos casos.

25 El depósito 310 de helio, la cápsula 20 y el enfriador 340 están conectados de manera fluida, de modo que un gas no reactivo, tal como el helio, pueda fluir a través del sistema 300 de secado en circuito cerrado sin escapar al ambiente externo. Más específicamente, la línea 325 de alimentación de gas conecta de manera fluida el depósito 310 de helio a la cápsula 20, la línea 326 de escape de gas conecta de manera fluida la cápsula 20 al enfriador 340, y la línea 345 de recirculación conecta de manera fluida el enfriador 340 al depósito 310 de helio, formando así un camino de circulación de gas en circuito cerrado. Todas las líneas 325, 326 y 345 de gas pueden estar formadas por tubos o tuberías adecuados. Las tuberías y los tubos se pueden construir con conductos flexibles o no flexibles. Los conductos pueden estar formados por cualquier material adecuado, tal como metales, aleaciones, plásticos, caucho, etc. Todas las conexiones herméticas pueden formarse mediante el uso de conexiones roscadas, sellos, abrazaderas de anillo y/o juntas.

35 El depósito 310 de gas helio se utiliza para almacenar gas helio. Si bien el gas helio es el gas no reactivo preferido para usar en la presente invención, se puede usar cualquier gas no reactivo junto con el sistema 300 y para su operación. Por ejemplo, otros gases no reactivos adecuados incluyen, sin limitación, nitrógeno, dióxido de carbono, gases de hidrocarburos ligeros tales como metano o cualquier gas inerte, incluidos, entre otros, los gases nobles (helio, argón, neón, radón, criptón y xenón).

40 La bomba 320 de alimentación está funcionalmente acoplada a la línea 325 de alimentación de gas. Cuando se activa, la bomba 320 de alimentación aspira gas helio del depósito 310 de helio e introduce el gas helio en la cavidad 21 de la cápsula 20 a través de la línea 325 de alimentación de gas. El gas helio continúa fluyendo a través de la cápsula 20 y penetra en el enfriador 340 por la línea 326 de escape de gas. La bomba 360 de recirculación está funcionalmente acoplada a la línea 345 de recirculación. Cuando está activada, la bomba 360 de recirculación extrae del enfriador 340 el gas helio que ha sido deshidratado y devuelve el gas helio seco al depósito 310 de helio para una nueva recirculación a través de la cápsula 20. Aunque se han ilustrado dos bombas 320, 360 incorporadas al sistema 300 de secado, la invención no está limitada a ello y se puede usar cualquier número de bombas. El número exacto de bombas estará dictado basándose en el diseño de cada caso, considerando factores tales como las necesidades de caudal, las caídas de presión en el sistema, el tamaño del sistema y/o la cantidad de componentes del sistema. La dirección del flujo de gas helio a través del sistema 300 está indicada por las flechas en las líneas de fluido.

55 Una válvula 321 de caudal está funcionalmente acoplada a la línea de alimentación de gas corriente abajo de la bomba 320 de alimentación. La válvula 321 se utiliza para controlar el caudal del gas helio hacia y a través de la cavidad 21 de la cápsula 20 y en todo el sistema 300 de secado. La válvula 321 puede ser una válvula de caudal ajustable. En otras realizaciones de la invención, el caudal del gas helio a través del sistema 300 de secado puede controlarse alternativamente incorporando un controlador de caudal másico. Al igual que con las bombas, se puede incorporar cualquier número de válvulas en todo el sistema 300, según se desee. Además, la invención no está limitada a ninguna colocación específica de la(s) válvula(s) o bomba(s) a lo largo del circuito de flujo en bucle cerrado.

60 El higrómetro 330 de temperatura de punto de rocío está funcionalmente acoplado a la línea 326 de escape de gas, de modo que pueda medirse la temperatura de punto de rocío del gas helio que sale de la cavidad de la cápsula 20. Los medios adecuados para medir la temperatura de punto de rocío incluyen dispositivos sensores de humedad directos, tales como higrómetros, y otros medios tales como cromatografía de gases o espectroscopia de masas. El higrómetro 330 incluye de preferencia una señal digital en algunas realizaciones. El higrómetro 330 de temperatura de punto de rocío mide repetidamente la temperatura de punto de rocío del gas helio que sale de la cavidad 21. No hay ningún requisito en cuanto a la tasa de muestreo para las mediciones repetitivas. Por ejemplo, el higrómetro 330

de temperatura de punto de rocío puede medir la temperatura de punto de rocío del gas helio varias veces por segundo o solo una vez cada pocos minutos. En algunas realizaciones, los intervalos de tiempo entre mediciones repetitivas serán tan pequeños que las mediciones parecerán ser esencialmente continuas. Los intervalos de tiempo se determinarán en función del diseño de cada caso, teniendo en cuenta factores tales como los requisitos de

5

La entrada 342 del enfriador 340 está acoplada a la línea 326 de escape de gas mientras que la salida 343 está acoplada de manera fluida a la línea 345 de recirculación. El enfriador 340 sirve para deshidratar adecuadamente el gas helio húmedo que sale de la cavidad 21 de la cápsula 20 para que pueda recircularse nuevamente el gas helio, devolviéndolo al depósito 320 de gas helio para su uso posterior en el secado de la cavidad 21. Al enfriar

10

15

suficientemente el gas helio humedecido que sale de la cavidad 21 de la cápsula 20, el vapor de agua en el gas helio se condensará y separará del gas helio en el enfriador 340 y se eliminará en forma líquida a través del drenaje 341. La temperatura exacta a la que se enfriará el gas helio humedecido dependerá del nivel deseado de sequedad. Cuanto mayor sea el nivel de sequedad deseado, más baja será la temperatura. En una realización de la invención, puede ser deseable enfriar el gas helio humedecido a una temperatura de $-3,89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($25\text{ }^{\circ}\text{F}$) o inferior. Una vez deshidratado en el enfriador 340, el gas helio seco será recirculado al depósito 310 para su uso posterior.

20

Si bien en la realización ilustrada del sistema 300 de secado el gas helio humedecido se deshidratado usando un enfriador 340, si se desea se pueden usar otros aparatos y procedimientos de deshidratación en lugar o además del enfriador 340. Por ejemplo, se puede usar un condensador o un congelador. En otra realización, el gas helio humedecido puede exponerse a un desecante adecuado, tal como gel de sílice, que absorberá el vapor de agua de la corriente de gas helio humedecido. El desecante se puede secar según sea necesario mediante calentamiento, exposición a rayos UV u otro proceso de secado convencional y se puede reutilizar posteriormente.

25

En realizaciones de la presente invención que no recirculan el gas helio, no será necesario deshidratar el gas helio humedecido. Por lo tanto, se omitirá el enfriador 340 u otro módulo de secado.

El sistema 300 de secado comprende además un sistema 350 de automatización. El sistema 350 de automatización comprende una CPU 351, un medio informático 352 de memoria, un temporizador 353 y una alarma 370. La CPU 351 es un adecuado controlador lógico programable basado en microprocesador, un ordenador personal o similar. El medio informático 352 de memoria puede ser un disco duro que tenga memoria suficiente para almacenar todos los códigos informáticos, algoritmos y datos necesarios para la operación y el funcionamiento del sistema 300 de secado, tales como el tiempo predeterminado, la temperatura de punto de rocío predeterminada, las temperaturas de enfriamiento deseadas, los caudales y similares. El temporizador 353 es un mecanismo informático de temporización estándar, interno o digitalizado. La alarma 370 puede ser una sirena, una luz, un LED, un módulo de pantalla, un altavoz u otro dispositivo capaz de generar estímulos visuales y de audio. Aunque se ilustra y describe una alarma 370, se puede utilizar cualquier instrumento, dispositivo o aparato que informe a un operador de que el sistema 300 de secado ha completado un proceso de secado. Por ejemplo, una pantalla de ordenador puede simplemente indicar que la cápsula está seca mediante texto o imágenes.

30

35

40

La CPU 351 incluye varios puertos de entrada/salida utilizados para proporcionar conexiones a los diversos componentes 320, 321, 330, 340, 360, 370, 352, 353 del sistema 300 de secado que necesitan ser controlados y/o comunicados. La CPU 351 está funcionalmente acoplada a estos componentes a través de cables eléctricos, líneas de fibra óptica, cables coaxiales u otras líneas de transmisión de datos. Estas conexiones están indicadas por las líneas de puntos en la Figura 3. La CPU 351 puede comunicarse con cualquiera y con todos los diversos componentes del sistema 300 de secado a los que esté funcionalmente conectada para controlar el sistema 300 de secado tal como: (1) activando o desactivando las bombas 320, 360; (2) abriendo, cerrando y/o ajustando la válvula 321 de caudal; (3) activando o desactivando el enfriador 340; y (3) activando o desactivando la alarma 370.

45

50

La CPU 351 (y/o la memoria 352) también está programada con los algoritmos adecuados para recibir señales de datos del higrómetro 330 de punto de rocío, analizar las señales de datos entrantes, comparar los valores representados por las señales de datos entrantes con los valores y rangos almacenados y hacer un seguimiento del tiempo en donde los valores representados por las señales de datos entrantes están en o por debajo de los valores almacenados. El tipo de CPU utilizada depende de las necesidades exactas del sistema en donde esté incorporada.

55

Refiriéndose a la Figura 4, se ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento para secar una cavidad cargada con SNF de acuerdo con una realización de la presente invención. El procedimiento se describirá en relación con el sistema 300 de secado de la Figura 3 para facilitar la descripción y comprensión. Sin embargo, el procedimiento no se limita a ninguna estructura o sistema específicos, y puede ser llevado a cabo por otros sistemas y/o aparatos.

60

En la etapa 400 se sitúa el barril 10, que contiene la cápsula 20 cargada con SNF, en un área de preparación después de haber sido retirado de la piscina o estanque de enfriamiento. Tal como se discutió anteriormente, en este momento la cavidad 21 de la cápsula 20 se llena con agua de la piscina. El grueso del agua se drena de la cavidad 21 de la cápsula 20 a través de un drenaje colocado correctamente, completando así la etapa 400.

65

A pesar de haberse drenado el grueso del agua de la cavidad 21 de la cápsula 20, el interior de la cavidad 21 y el SNF siguen teniendo humedad y necesitan una deshidratación adicional para su almacenamiento a largo plazo. Para seguir secando la cavidad 21 y el SNF, se utiliza el sistema 300 de secado. La cápsula 20 permanece en el barril 10 durante la operación de secado. En la etapa 410, se acopla de manera fluida la línea 325 de alimentación de gas a la entrada 28 de la cápsula 20, mientras que la línea 326 de escape de gas se acopla de manera fluida a la salida 29 de la cápsula 20. Como resultado, se forma un circuito de fluido en bucle cerrado en donde la cavidad 21 de la cápsula 20 forma parte del circuito de fluido.

Una vez que el sistema 300 de secado está correctamente conectado a la cápsula 20, la respuesta al bloque de decisión 420 es SÍ y el operador activa el sistema 300 de secado. El sistema 300 de secado se puede activar manualmente arrancando el equipo o de manera automática mediante la CPU 351. Cuando se activa de manera automatizada, un operador activará el sistema 300 de secado introduciendo un comando de activación del sistema en un dispositivo de entrada de usuario (no ilustrado), tal como un teclado, ordenador, interruptor, botón o similar, que esté funcionalmente acoplado a la CPU 351. Al recibir la correspondiente señal de activación del sistema procedente del dispositivo de entrada de usuario, la CPU 351 envía las señales de activación apropiadas a las bombas 320, 360, el enfriador 340, el higrómetro 330 y la válvula 321 de caudal.

La activación de la bomba 320 de alimentación y la bomba 360 de recirculación provoca que el gas helio sea aspirado del depósito 310 de helio y fluya a través del circuito de fluido en bucle cerrado (que incluye la línea 325 de alimentación de gas, la cápsula 20, la línea 326 de escape de gas, el enfriador 340 y la línea 345 de recirculación). El caudal de gas helio a través del sistema 300 de secado se controla mediante la válvula 321 de caudal, que de preferencia es una válvula ajustable. En una realización de la presente invención, la CPU 351 abre la válvula de caudal para que el gas helio fluya a través de la cápsula 20 con un caudal de aproximadamente 181,4 kg/h (400 lb/h). Sin embargo, la invención no está limitada a ello y se pueden usar otros caudales. El caudal exacto que se utilizará en cualquier operación particular de secado se determinará caso por caso, considerando factores tales como el volumen abierto de la cavidad de la cápsula, el nivel de sequedad objetivo dentro de la cavidad del recipiente, el contenido de humedad inicial dentro de la cavidad de la cápsula, el contenido en humedad del gas helio mantenido dentro del depósito, el número deseado de volúmenes renovados por hora para la cápsula, etc.

El enfriador 340 también es activado por la CPU 351, de modo que el gas helio humedecido que sale de la cápsula 20 pueda ser deshidratado antes de ser recirculado nuevamente al depósito 310 de helio. En una realización, la CPU 351 activa el enfriador 340 de manera que el gas helio se enfríe hasta una temperatura de -3,89 °C (25 °F) o inferior. Sin embargo, el enfriador 340 se puede usar para enfriar el gas helio a cualquier temperatura deseada que deshidrate adecuadamente el gas helio. Tal como se discutió anteriormente, en algunas realizaciones de la invención se pueden usar otros aparatos de deshidratación, tales como los que utilizan un desecante para secar el gas helio humedecido, en lugar del enfriador 340.

Al activarse, la bomba 320 de alimentación extrae gas helio seco del depósito 310 de helio e introduce el gas helio seco en la cavidad 21 húmeda de la cápsula 20 a través de la entrada 28. Al entrar en la cavidad 21, el gas helio seco absorbe agua del SNF y de las superficies internas de la cavidad 21 en forma de vapor de agua. El gas helio cargado de humedad sale entonces de la cavidad 21 a través de la salida 29. A medida que el gas helio húmedo sale de la cavidad 21, el higrómetro 330 mide repetidamente su temperatura de punto de rocío. Según mide el higrómetro 330 la temperatura de punto de rocío del gas helio humedecido, genera señales de datos indicativas de los valores de temperatura de punto de rocío medidos y transmite estas señales de datos a la CPU 351 a través de la conexión eléctrica, completando así la etapa 440.

Al recibir las señales de datos indicativas de los valores de temperatura de punto de rocío medidos, la CPU 351 compara los valores medidos con un valor predeterminado de temperatura de punto de rocío que está almacenado en el medio 352 de memoria. De este modo, se completa la etapa 450. La temperatura de punto de rocío predeterminada se selecciona de modo que sea indicativa de que el interior de la cavidad 21 y el SNF están suficientemente secos para el almacenamiento a largo plazo. En una realización, la temperatura de punto de rocío predeterminada se selecciona para que corresponda a una presión de vapor en la cavidad 21 que sea indicativa de un nivel aceptable de sequedad, tal como, por ejemplo, 399,97 Pa (3 Torr) o inferior. En tales realizaciones, la temperatura de punto de rocío predeterminada se puede seleccionar utilizando correlaciones ya sea experimentales o simuladas.

Haciendo referencia a la Figura 5, se describirá una realización ejemplar de cómo se selecciona la temperatura de punto de rocío predeterminada. Tal como puede verse a partir de la curva delineada en la Figura 5, la presión de vapor de agua de los gases, tales como el helio, está correlacionada con la temperatura de punto de rocío. Por lo tanto, utilizando esta curva puede determinarse la temperatura de punto de rocío predeterminada una vez conocida la presión de vapor objetivo. Por ejemplo, si la presión de vapor objetivo es 399,97 Pa (3 Torr), esto corresponde a una temperatura de punto de rocío de aproximadamente -5,06 °C (22,9 °F). Esta posición está indicada por el punto A de la curva. La presión de vapor objetivo puede ser exigida por un gobierno u otra organización reguladora y puede variar mucho. En algunas realizaciones, es preferible que la temperatura de punto de rocío predeterminada se encuentre aproximadamente entre -6,67 y -3,33 °C (20 a 26 °F), y más preferiblemente alrededor de -5,06 °C (22,9 °F). La invención, sin embargo, no está limitada a ningún valor específico del punto de rocío. La temperatura de punto de rocío exacta del gas helio humedecido que corresponda a un estado adecuadamente seco dentro de la cavidad 21

será determinada caso por caso, considerando factores tales como las regulaciones gubernamentales, los factores de seguridad obligatorios, el tipo de HLW que se almacene, el período de almacenamiento, etc.

5 Haciendo referencia de nuevo a la Figura 4, después de que la CPU 351 haya comparado la temperatura de punto de rocío medida con la temperatura de punto de rocío predeterminada, la CPU 351 determina si la temperatura de punto de rocío medida es menor o igual que la temperatura de punto de rocío predeterminada, por lo que se efectúa el bloque de decisión 460. Esta comparación se efectúa para cada señal recibida por la CPU 351.

10 Si se determina que la temperatura de punto de rocío medida del gas helio humedecido que sale de la cápsula está por encima de la temperatura de punto de rocío predeterminada, la respuesta en el bloque de decisión 460 es NO y la CPU 351 pasará al bloque de decisión 490. En el bloque de decisión 490, la CPU 351 determina si el temporizador 353 se ha activado (lo que se hace en la etapa 470). Si el temporizador 353 está activado, la respuesta en el bloque de decisión 490 es SÍ y la CPU 351 desactiva el temporizador 353 y regresa a la etapa 440. Si el temporizador 353 no está activado, la respuesta en el bloque de decisión 490 es NO y la CPU 351 regresa directamente a la etapa 440. De cualquier manera, si se determina que la temperatura de punto de rocío medida del gas helio humedecido que sale de la cápsula está por encima de la temperatura de punto de rocío predeterminada, el sistema 300 de secado continúa haciendo circular el gas helio seco hacia y a través de la cavidad 21 de la cápsula 20.

20 Sin embargo, si se determina que la temperatura de punto de rocío medida del gas helio humedecido que sale de la cápsula es igual o inferior a la temperatura de punto de rocío predeterminada, la respuesta en el bloque de decisión 460 es SÍ y la CPU 351 continuará hasta la etapa 470. En la etapa 470, la CPU 351 activa/inicia el temporizador 353. El temporizador 470 está programado para ejecutarse durante un tiempo predeterminado. La selección y el propósito del tiempo predeterminado se tratarán con mayor detalle a continuación.

25 Una vez que el temporizador se ha activado en la etapa 470, la CPU 351 pasa al bloque de decisión 480 para determinar si el temporizador 353 ha expirado (es decir, ha transcurrido el tiempo predeterminado). Si la respuesta en el bloque de decisión 480 es NO, la CPU 351 regresa a la etapa 440 y el sistema 300 de secado continúa haciendo circular gas helio a través de la cavidad 21 de la cápsula 20 y repite las operaciones de las etapas 440-470 hasta que expire el tiempo predeterminado. En otras palabras, el proceso de secado continúa hasta que la temperatura de punto de rocío medida del gas helio humedecido que sale de la cápsula caiga por debajo (o sea igual a) la temperatura de punto de rocío predeterminada, y permanezca así durante el tiempo predeterminado (sin elevarse posteriormente por encima de la temperatura de punto de rocío predeterminada).

35 Al exigir que la temperatura de punto de rocío medida del gas helio humedecido que sale de la cápsula no solo alcance, sino que permanezca en, o por debajo de, la temperatura de punto de rocío predeterminada durante el tiempo predeterminado, se garantiza que la cavidad 21 y el SNF contenido en la misma estén suficientemente secos dentro de un factor de seguridad aceptable. Esto, junto con los medios para seleccionar el tiempo predeterminado, se describirá a continuación con respecto a la Figura 6.

40 Con referencia a la Figura 6, se ejemplifica el efecto sobre la temperatura de punto de rocío si continúa el flujo de gas helio a través de la cápsula 20, a lo largo del tiempo. Los datos del gráfico se simularon asumiendo un flujo de helio seco de 181,4 kg/h (400 lb/h), una presión de 344,7 kPa (50 psia), un nivel de humedad de 133,3 Pa (1 mm Hg) dentro del gas helio seco, una capacidad del volumen de la cápsula para contención de helio de 4,54 kg (10 lb) y un nivel inicial de humedad de la cápsula de 13,33 kPa (100 mm Hg). Como puede verse en el gráfico, en el momento ("t") = 0,1 horas (es decir, 6 minutos), se puede estimar que la temperatura de punto de rocío dentro de la cavidad 21 está aproximadamente a -5,06 °C o 22,9 °F (que según la Figura 5 corresponde a una presión de vapor de aproximadamente 399,9 Pa o 3 Torr), indicada en el gráfico como punto B. A medida que el flujo de gas helio a través de la cavidad 21 continúa a lo largo del tiempo, la temperatura de punto de rocío continuará disminuyendo hasta alcanzar una presión de vapor en equilibrio, que en el ejemplo del gráfico es de aproximadamente $t = 0,36$ horas (es decir, aproximadamente 22 min), indicada en el gráfico como punto C. Si se desea, el flujo de gas helio a través de la cavidad puede continuar aún más, pero no dará lugar a una disminución significativa adicional de la temperatura de punto de rocío dentro de la cavidad 21.

55 Tomando los puntos B y C como puntos de referencia, el tiempo predeterminado para este ejemplo es de aproximadamente 16 minutos (es decir, entre 6 minutos y 22 minutos). Sin embargo, si se desea, el tiempo predeterminado puede ser inferior o superior a los 16 minutos del ejemplo. El tiempo predeterminado exacto para cualquier situación se determinará según el diseño de cada caso, considerando factores tales como el volumen del recipiente abierto, el caudal, la sequedad deseada dentro de la cavidad, los factores de seguridad deseados u obligatorios, etc. En algunas realizaciones de la invención, el tiempo predeterminado estará de preferencia comprendido entre 20 y 40 minutos, de mayor preferencia estará comprendido entre 25 y 35 minutos, y de la máxima preferencia será aproximadamente de 30 minutos.

65 Haciendo referencia de nuevo a la Figura 4, una vez que el tiempo predeterminado haya expirado y la temperatura de punto de rocío medida permanezca igual o inferior que la temperatura de punto de rocío predeterminada durante todo el tiempo predeterminado, la CPU 351 llega de nuevo al bloque de decisión 480. Sin embargo, ahora la respuesta es SÍ y la CPU 351 continúa hasta la etapa 510. En la etapa 510, la CPU 351 genera señales de parada que se transmiten

ES 2 805 130 T3

a las bombas 320, 360. Al recibir las señales de parada, las bombas 320, 360 se desactivan y se interrumpe el flujo de gas helio a través del sistema de secado. Alternativamente, la CPU 351 puede interrumpir el flujo de helio cerrando la válvula 321.

5 Una vez que las bombas 320, 360 hayan sido desactivadas, la CPU 351 genera y transmite una señal de activación a la alarma 370, completando así la etapa 520. Al recibir la señal de activación, la alarma 370 se activa. Dependiendo del tipo de dispositivo que se use como alarma 370, la respuesta de la alarma 370 a la señal de activación puede variar mucho. Sin embargo, se prefiere que la respuesta de la alarma 370 sea algún tipo de estímulos visuales y de audio que informen al operador de que la cápsula 20 está seca. Por ejemplo, la activación de la alarma 370 puede
10 generar un sonido, mostrar una representación visual en la pantalla de un ordenador, iluminar un LED u otra fuente de luz, etc.

Al ser informado por la alarma 370 de que la cavidad 21 de la cápsula 20 y el SNF están suficientemente secos, el operador desconecta de la cápsula 20 el sistema de secado y sella la cápsula 20 para su almacenamiento,
15 completando así la etapa 530.

En algunas realizaciones, el procedimiento de secado de la invención se puede llevar a cabo manualmente. En tal realización, las bombas y todos los demás equipos serán activados/controlados manualmente. Las lecturas del higrómetro pueden ser observadas visualmente por el operador y las operaciones en secuencia de tiempo pueden
20 realizarse manualmente.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para secar una cavidad (21) cargada con residuos nucleares de alta actividad que comprende:

- 5 a) hacer fluir un gas no reactivo a través de la cavidad (21);
- b) medir repetidamente la temperatura de punto de rocío del gas no reactivo que sale de la cavidad (21);

estando el procedimiento **caracterizado por que** comprende adicionalmente:

- 10 c) tras haber medido la temperatura de punto de rocío del gas no reactivo que sale de la cavidad (21) siendo igual o inferior a una temperatura de punto de rocío predeterminada, activar un temporizador (353) establecido durante un período de tiempo predeterminado;
- d) continuar midiendo repetitivamente la temperatura del punto de rocío del gas no reactivo que sale de la cavidad (21) mientras el temporizador (353) está activado;
- 15 e) en donde si durante la realización de la etapa d) la temperatura del punto de rocío del gas no reactivo se mide aumentada por encima de la temperatura predeterminada del punto de rocío antes de que expire el periodo de tiempo predeterminado, desactivar y reiniciar el temporizador (353) y volver a la etapa b); y
- f) en donde si durante la realización de la etapa d) el periodo de tiempo predeterminado expira sin medirse la temperatura del punto de rocío del gas no reactivo aumentada por encima de la temperatura predeterminada del punto de rocío, interrumpir el flujo del gas no reactivo y sellar la cavidad (21).
- 20

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la etapa (a) comprende hacer fluir el gas no reactivo a través de la cavidad (21) con un caudal predeterminado.

25 3. El procedimiento de la reivindicación 2, en donde la cavidad (21) tiene un volumen y el caudal predeterminado se elige de modo que el volumen de la cavidad sea renovado de 25 a 50 veces por hora.

4. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la temperatura de punto de rocío predeterminada se selecciona para que se corresponda con una presión de vapor deseada dentro de la cavidad (21).

30 5. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la temperatura de punto de rocío predeterminada está comprendida entre -6,67 y -3,33 °C (20 a 26 °F), y el tiempo predeterminado está comprendido entre 25 y 35 minutos.

35 6. El procedimiento de la reivindicación 5, en donde la temperatura de punto de rocío predeterminada es de -5,06 °C (22,9 °F) y el tiempo predeterminado es de 30 minutos.

7. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la etapa a) comprende secar el gas no reactivo que sale de la cavidad (21) después de haber medido la temperatura de punto de rocío; y hacer recircular el gas no reactivo seco a través de la cavidad.

40 8. El procedimiento de la reivindicación 7, en donde la etapa a) comprende secar el gas no reactivo con un desecante.

9. El procedimiento de la reivindicación 7, en donde la etapa a) comprende secar el gas no reactivo enfriando el gas no reactivo.

45 10. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde el gas no reactivo es nitrógeno, dióxido de carbono, gases de hidrocarburos ligeros, o un gas noble seleccionado del grupo que consiste en helio, argón, neón, radón, criptón y xenón.

50 11. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la temperatura de punto de rocío predeterminada se selecciona para que se corresponda con una presión de vapor igual o inferior a 399,97 Pa (3 Torr) en la cavidad.

55 12. El procedimiento de la reivindicación 1, en donde la etapa a) comprende secar el gas no reactivo que sale de la cavidad (21) después de haber medido la temperatura de punto de rocío; hacer recircular el gas no reactivo seco a través de la cavidad; en donde se selecciona la temperatura de punto de rocío predeterminada para que se corresponda con una presión de vapor de 399,97 Pa (3 Torr) o inferior a en la cavidad; y hacer fluir el gas no reactivo a través de la cavidad (21) con un caudal predeterminado que da como resultado que el volumen de la cavidad sea renovado de 25 a 50 veces por hora; en donde el gas no reactivo es helio; en donde la cavidad está formada por una cápsula (20) y está cargada con combustible nuclear gastado, estando la cápsula situada en un barril (10).

60

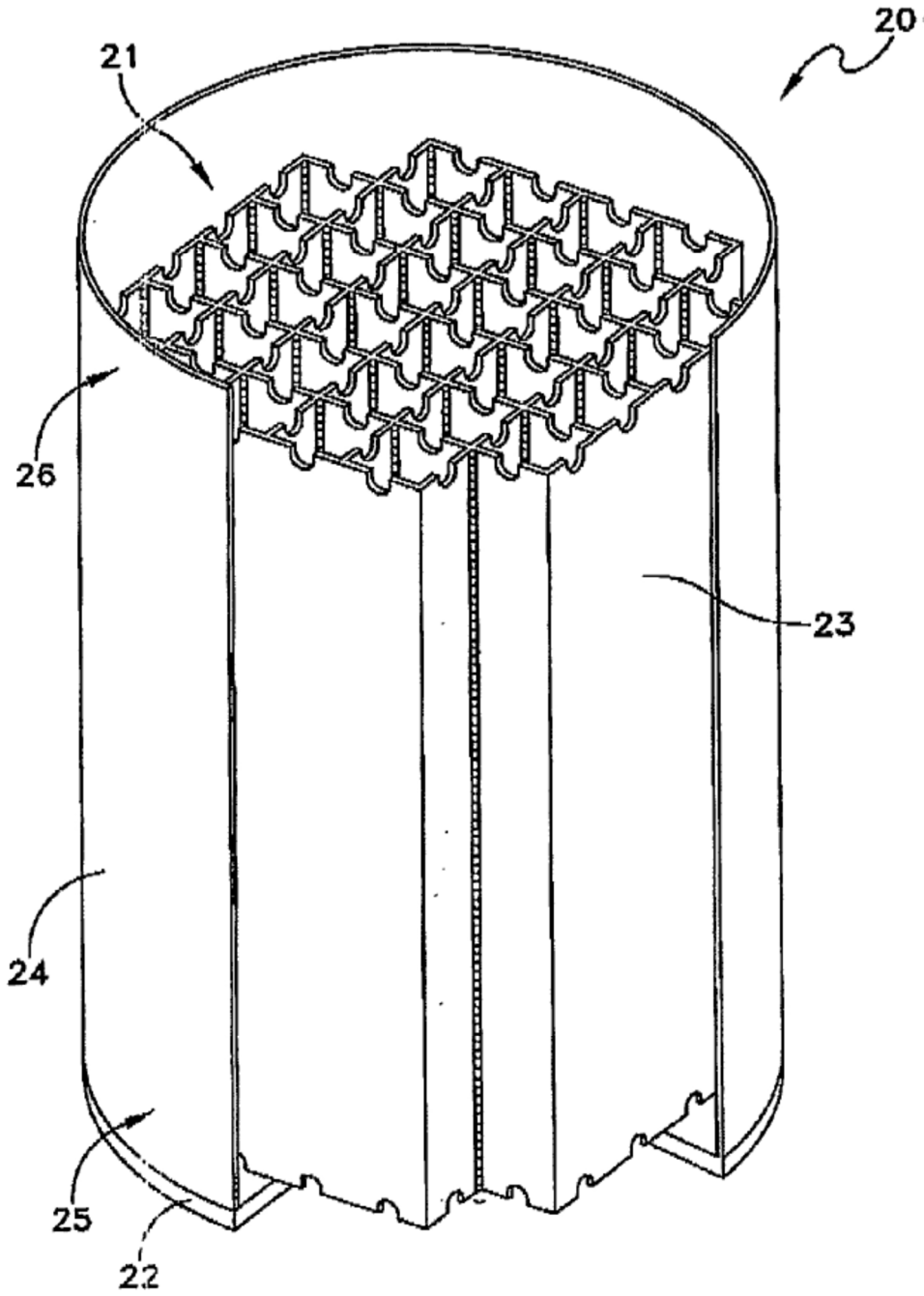


FIGURA 1

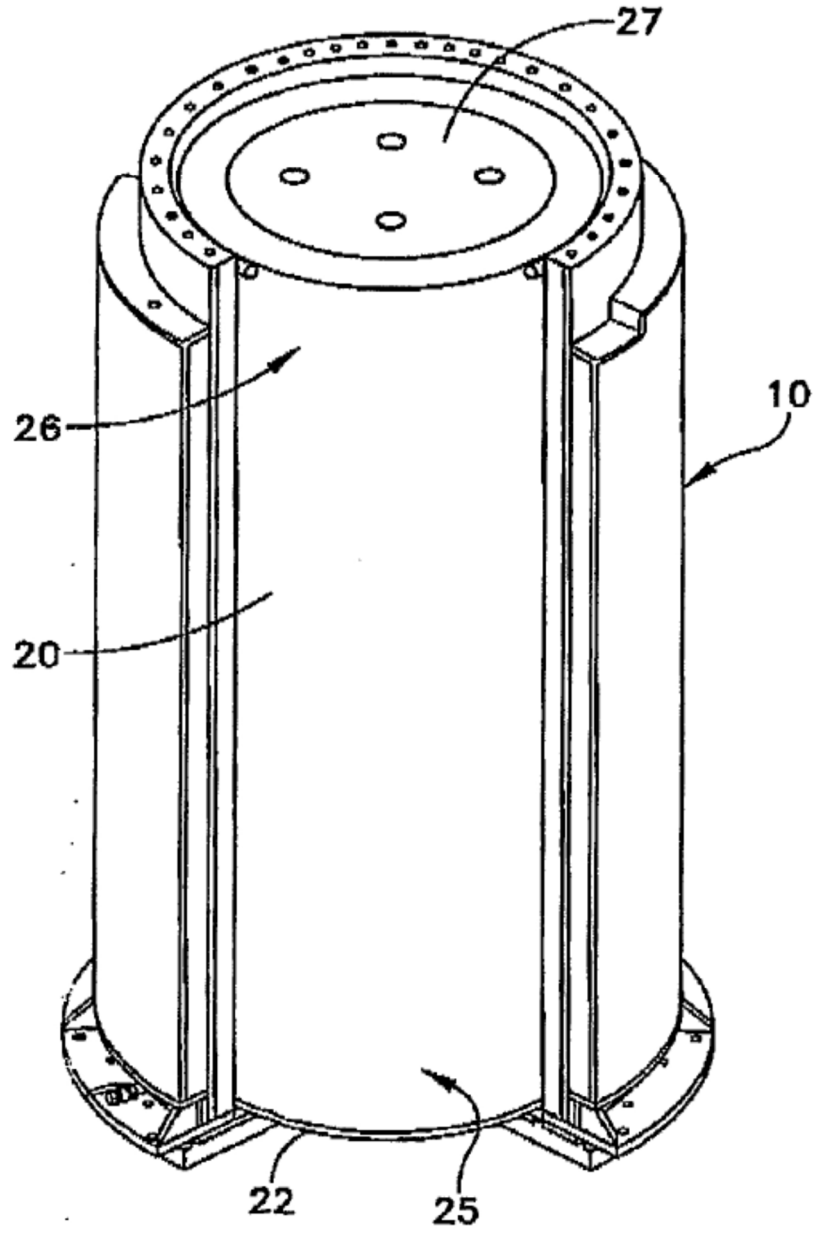


FIGURA 2

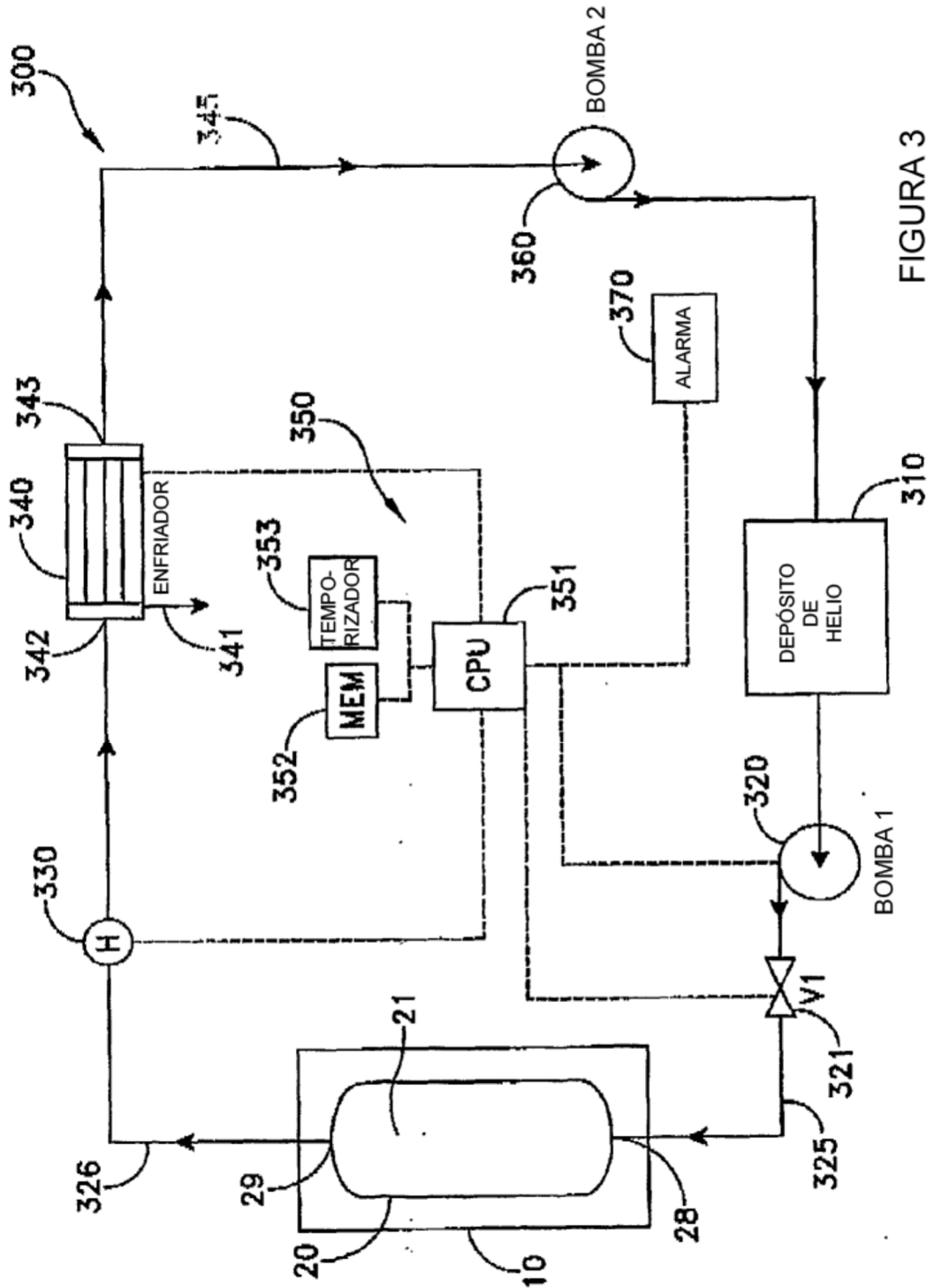


FIGURA 3

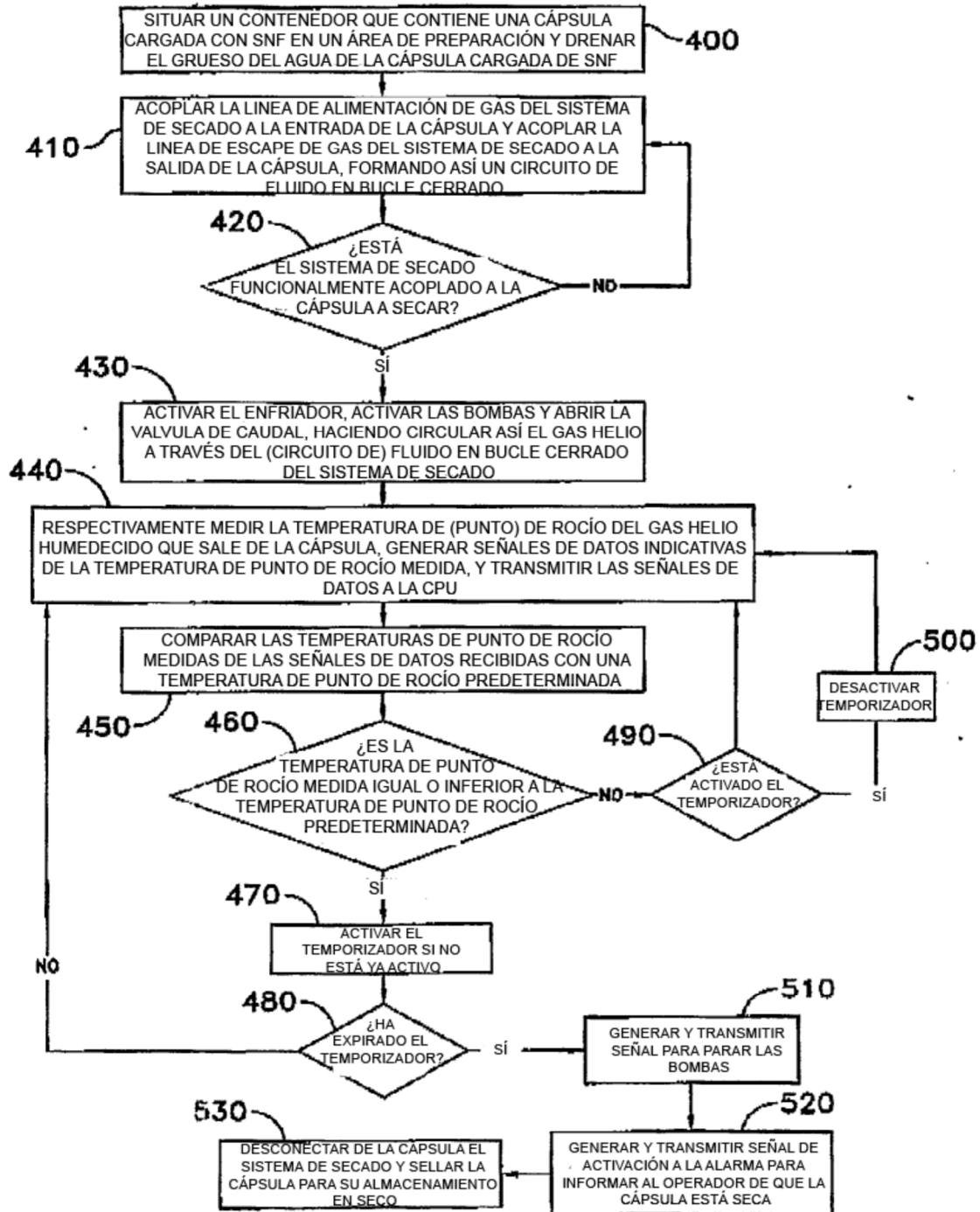


FIGURA 4

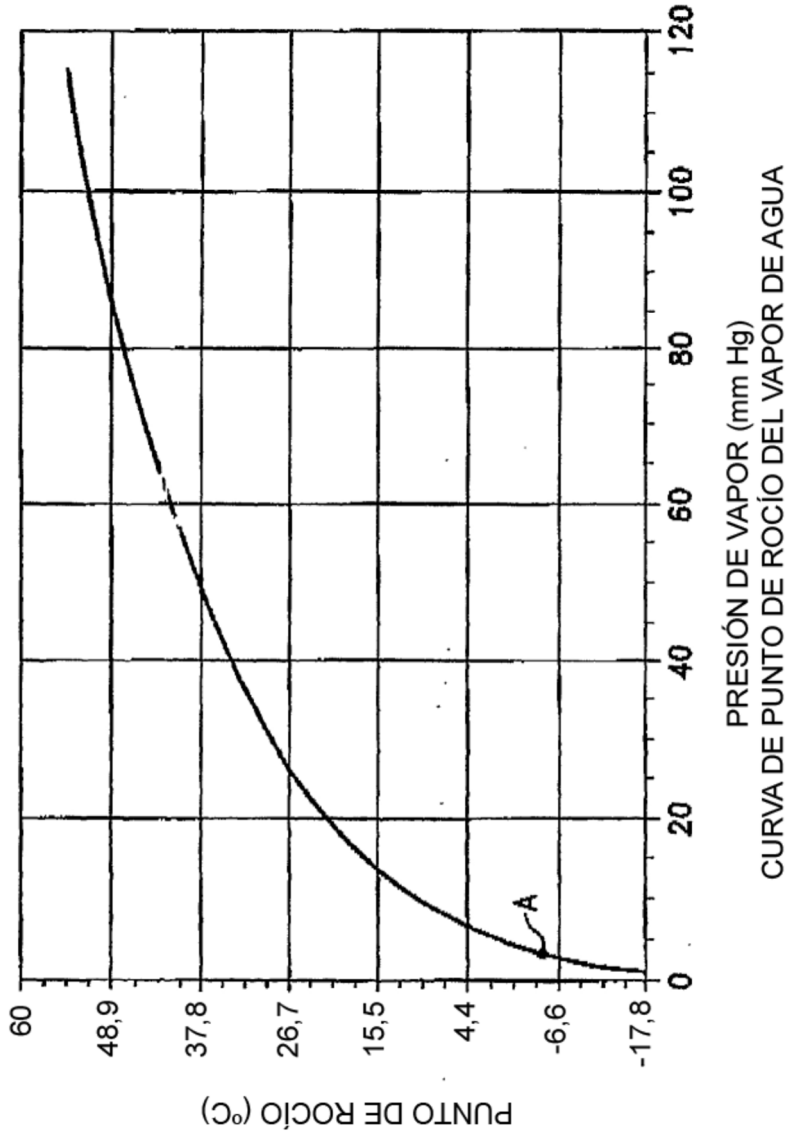


FIGURA 5

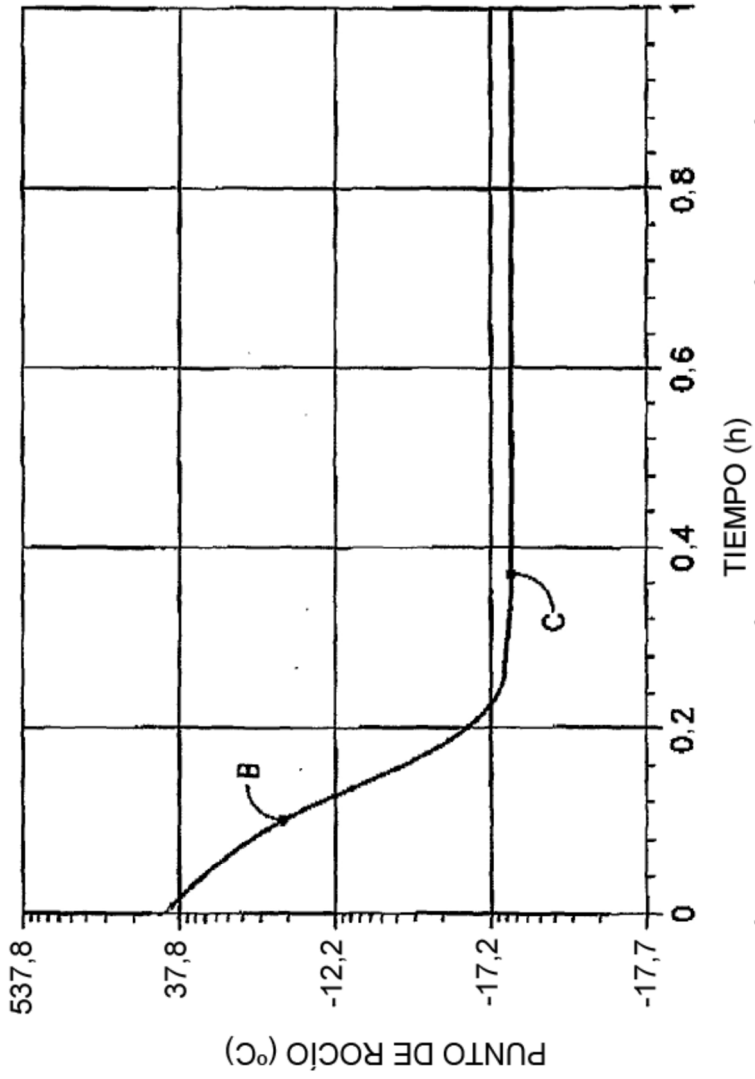


GRÁFICO DE ATENUACIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO EN LA CÁPSULA

FIGURA 6