

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 606**

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

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.06.2006 PCT/US2006/022118**
87 Fecha y número de publicación internacional: **14.12.2006 WO06133296**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2006 E 06784631 (1)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 1888988**

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:

26.03.2019

73 Titular/es:

**HOLTEC INTERNATIONAL, INC. (100.0%)
555 Lincoln Drive West
Marlton, NJ 08053, US**

72 Inventor/es:

SINGH, KRISHNA, P.

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 705 606 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 un lugar 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 contenedor de almacenamiento.

25

30

35

Los contenedores 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 contenedores de almacenamiento pesan aproximadamente 150 toneladas y tienen una altura superior a 4,57 m. Un problema común asociado a los contenedores 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 contenedores de almacenamiento son generalmente demasiado grandes para ser colocados en piscinas de combustible gastado. Por lo tanto, para almacenar el SNF en un contenedor 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 contenedor 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 contenedor 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 contenedores de transferencia, mientras están sumergidos dentro de la piscina. Al igual que los contenedores de almacenamiento, los contenedores 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

60

En las instalaciones que utilizan contenedores de transferencia para transportar cápsulas cargadas, primero se coloca una cápsula vacía en la cavidad de un contenedor de transferencia abierto. La cápsula y el contenedor 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 contenedor 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 contenedor de transferencia cargados son retirados

65

de la piscina con una grúa y colocados en un área de preparación para preparar el recipiente cargado con SNF para su almacenamiento o transporte en condiciones secas. Para que un recipiente cargado con SNF esté adecuadamente preparado para el almacenamiento o el transporte en seco, la Comisión Reguladora Nuclear ("NRC") de los Estados Unidos requiere que el SNF y el interior del recipiente sean adecuadamente secados antes de sellar la cápsula y transferirla al contenedor de almacenamiento. Específicamente, las regulaciones de la NRC exigen que la presión de vapor ("vP") dentro de la cápsula sea igual o inferior a 3 mm Hg (3 Torr) (1 Torr = 1 mm Hg) 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 3 mm Hg (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 3 mm Hg (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 3 mm Hg (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 contenedor de transferencia (con la cápsula en su interior) hasta una posición sobre un contenedor de almacenamiento y se transfiere la cápsula cargada de SNF al contenedor 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 3 mm Hg (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.

En el documento JP2002156488A se da a conocer un proceso para secar un recipiente que contenga residuos radiactivos gastados. En este proceso, se coloca el recipiente en una vasija y se inyecta gas helio en la vasija para que el helio sea calentado por los conjuntos de combustible gastado. El helio calentado, a su vez, calienta el agua dentro del recipiente convirtiéndola en vapor, y la mezcla combinada de helio y vapor se escapa del recipiente, momento en el cual se mide el contenido en agua de la mezcla. El punto final del proceso se determina cuando la concentración de vapor de agua dentro de la mezcla cae por debajo de un nivel predeterminado.

En el documento JP2004340814A se da a conocer otro proceso para secar un recipiente que contenga residuos radiactivos gastados. En este proceso, se coloca el recipiente en un secador equipado con un horno para calentar el recipiente desde el exterior. Durante el proceso de calentamiento externo, el secador es evacuado para poder efectuar el secado al vacío del recipiente. El punto final del proceso se determina cuando la humedad relativa del escape del vacío cae por debajo de un nivel predeterminado.

En el documento JP2005140536A se da a conocer otro proceso más para secar un recipiente que contenga combustible radiactivo gastado. En este proceso, se coloca el recipiente en una vasija de secado y se evacua la vasija de secado. La vasija de secado incluye un sensor de presión, un sensor de temperatura de la pared lateral, un sensor de temperatura del fondo y un sensor de punto de rocío. Usando los datos obtenidos de los sensores, se determina la humedad relativa del escape evacuado y, cuando se cumplen las condiciones predeterminadas para la humedad relativa y la presión dentro del recipiente de secado, se considera que el secado está en un punto final. Para mejorar la evaporación del agua, este proceso puede inyectar en la vasija de secado un gas que sea soluble en agua. Este documento describe en combinación todas las características de los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 13.

El documento EP1429344 A2 se refiere al secado de un residuo radiactivo dentro de un recipiente por medio de un gas inerte. Dados los parámetros del sistema, se calculan de antemano el caudal de gas y el tiempo de secado de manera que se logre una presión de vapor deseada dentro del recipiente.

Sumario de la invención

Por lo tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento y un sistema para secar un recipiente cargado 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.

5 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.

10 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 está definida en las reivindicaciones.

15 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.

20 En algunas realizaciones, la temperatura de punto de rocío predeterminada se selecciona de manera que se alcance una presión de vapor deseada dentro de la cavidad, tal como 3 mm Hg (3 Torr) o inferior.

25 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.

30 En algunas realizaciones, el procedimiento de la invención puede comprender además las etapas de: d) secar el gas no reactivo que sale de la cavidad después de medir la temperatura de punto de rocío; y e) recircular el gas no reactivo seco a través de la cavidad. La etapa de secado puede efectuarse poniendo en contacto el gas no reactivo con un desecante o enfriando el gas no reactivo.

35 En algunas realizaciones, el gas no reactivo se hará circular a través de la cavidad con un caudal predeterminado. El caudal predeterminado se puede elegir de modo que el volumen de la cavidad se renueve de 25 a 50 veces durante el tiempo predeterminado.

40 En algunas realizaciones, la temperatura de punto de rocío predeterminada puede estar comprendida aproximadamente entre -6,67 y -3,33 °C, y el tiempo predeterminado está comprendido aproximadamente entre 25 y 35 minutos. En una realización, se prefiere que la temperatura de punto de rocío predeterminada sea aproximadamente -5,05 °C y el tiempo predeterminado sea aproximadamente 30 minutos.

Los gases no reactivos adecuados incluyen, sin limitación, nitrógeno, dióxido de carbono, gases de hidrocarburos ligeros, o un gas noble seleccionado de un grupo que consiste en helio, argón, neón, radón, criptón y xenón.

45 En otro aspecto, la invención puede ser un sistema para secar una cavidad cargada con HLW que comprende una cápsula que forma la cavidad, teniendo la cavidad una entrada y una salida; una fuente de gas no reactivo; medios para hacer fluir a través de la cavidad el gas no reactivo procedente de la fuente de gas no reactivo; y medios para medir repetidamente la temperatura de punto de rocío del gas no reactivo que sale de la cavidad. Los medios de medición de la temperatura de punto de rocío pueden ser cualquier tipo de dispositivo de detección directa de humedad, por ejemplo, un higrómetro, o por otros medios, por ejemplo, cromatografía de gases, espectroscopia de masas, etc.

55 En algunas realizaciones, el sistema puede comprender además medios para secar el gas no reactivo. Los medios de secado adecuados incluyen el uso de un enfriador, un congelador y/o un condensador o el uso de un desecante. En tal realización, los medios de secado estarán situados corriente abajo de los medios de medición de la temperatura de punto de rocío. Las realizaciones del sistema que comprenden un medio de secado también pueden comprender medios para recircular el gas no reactivo deseado procedente de los medios de secado devolviéndolo a la fuente de gas no reactivo. Esto se puede lograr mediante el uso de una línea de recirculación.

60 En algunas realizaciones, el sistema puede ser automatizado, e incluirá adicionalmente: un controlador acoplado operativamente a los medios de medición de la temperatura de punto de rocío. En tal realización, los medios de medición de la temperatura de punto de rocío están adaptados de preferencia para crear señales indicativas de la temperatura de punto de rocío medida en el gas no reactivo y transmitir las señales al controlador. El controlador está adaptado para analizar las señales y, tras determinar que las señales indican que la temperatura medida del punto de rocío es igual o inferior a la temperatura de punto de rocío predeterminada durante el tiempo predeterminado, el controlador está adicionalmente adaptado para (1) interrumpir el flujo de gas reactivo a través de

la cavidad; y/o (2) activar un medio para indicar que la cavidad está seca.

En una realización, el sistema comprenderá adicionalmente un contenedor de combustible gastado. En tal realización, la cápsula se colocará y se secará dentro del contenedor.

5 Finalmente, se prefiere que la cavidad tenga una parte superior y una inferior, y que una entrada para suministrar a la cavidad el gas no reactivo esté ubicada en o cerca de la parte inferior de la cavidad y que una salida para extraer de la cavidad el gas no reactivo húmedo esté ubicada en o cerca de la parte superior de la cavidad.

10 Breve descripción de los dibujos

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.

15 La Figura 2 es una vista en perspectiva de un contenedor de transferencia, parcialmente en sección, con la cápsula de la Figura 1 sellada y ubicada en el contenedor de transferencia.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un sistema en circuito cerrado de acuerdo con la presente invención.

20 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.

25 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.

30 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 esta es sometida a un flujo de gas helio de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción detallada de los dibujos

35 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.

40 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 45 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.

50 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.

55 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 contenedor **10** de transferencia (Figura 2) mientras la cápsula **20** está abierta y vacía. El contenedor **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 60 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 contenedor **10** de 65 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.

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 contenedor **10** de transferencia. Tanto la cápsula **20** como el contenedor **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 contenedor 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 3 mm Hg (3 Torr) dentro de la cavidad **21** de los contenedores que contengan HLW.

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 contenedor **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.

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.

El depósito **320** 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.

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 la operación del mismo. 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).

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.

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.

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 funcionalidad del sistema y el caudal del gas helio.

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 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 $-3,89\text{ }^{\circ}\text{C}$ o inferior. Una vez deshidratado en el enfriador **340**, el gas helio seco será recirculado al depósito **310** para su uso posterior.

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.

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.

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 necesiten 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**.

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.

5 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.

10 En la etapa **400** se sitúa el contenedor **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**.

15 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 contenedor **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.

20 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.

25 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. 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.

30 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 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**.

35 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**.

40 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, 3 mm Hg (3 Torr) o inferior. En tales realizaciones, la temperatura de punto de rocío predeterminada se puede seleccionar utilizando correlaciones ya sea experimentales o simuladas.

5 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 3 mm Hg (3 Torr), esto corresponde a una temperatura de punto de rocío de aproximadamente -5,05 °C. 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, y más preferiblemente alrededor de 5,05 °C. 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.

20 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**.

25 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**.

35 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.

45 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).

50 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.

60 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, una presión de 2,44 kPa, un nivel de humedad de 1 mm Hg dentro del gas helio seco, una capacidad del volumen de la cápsula para contención de helio de 4,5 kg y un nivel inicial de humedad de la cápsula de 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 -5,05 °C (que según la Figura 5 corresponde a una presión de vapor de aproximadamente 3 mm Hg (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**.

5 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
10 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.

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
15 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 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**.

20 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
25 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 generar un sonido, mostrar una representación visual en la pantalla de un ordenador, iluminar un LED u otra fuente de luz, etc.

30 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, completando así la etapa **530**.

35 La discusión anterior desvela y describe realizaciones meramente ejemplares de la presente invención. Como entenderán los expertos en esta técnica, la invención puede ser puesta en práctica de otras formas específicas.

Específicamente, 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
40 tiempo pueden realizarse manualmente.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para secar una cavidad (21) cargada con residuos de alta actividad ("HLW") que comprende:
- 5 a) hacer fluir un gas no reactivo a través de la cavidad (21) para absorber el agua en forma de vapor de agua;
b) medir repetidamente la temperatura de punto de rocío del gas no reactivo húmedo que sale de la cavidad;
- 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) para que permanezca igual o inferior a una temperatura de punto de rocío predeterminada durante un período de tiempo predeterminado, interrumpir el flujo del gas no reactivo y sellar la cavidad (21).
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.
- 15 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 (21) 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).
- 20 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, y el período de tiempo predeterminado está aproximadamente comprendido entre 25 y 35 minutos.
- 25 6. El procedimiento de la reivindicación 5, en donde la temperatura de punto de rocío predeterminada es de -5,05 °C y el período de tiempo predeterminado es de aproximadamente 30 minutos.
7. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
- 30 d) secar el gas no reactivo que sale de la cavidad (21) después de haber medido la temperatura de punto de rocío; y
e) hacer recircular el gas no reactivo seco a través de la cavidad (21).
- 35 8. El procedimiento de la reivindicación 7, en donde la etapa d) comprende secar el gas no reactivo con un desecante.
9. El procedimiento de la reivindicación 7, en donde la etapa d) comprende secar el gas no reactivo enfriando el gas no reactivo.
- 40 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.
- 45 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 3 mm Hg en la cavidad (21).
12. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
- 50 d) secar el gas no reactivo que sale de la cavidad (21) después de haber medido la temperatura de punto de rocío;
e) hacer recircular el gas no reactivo seco a través de la cavidad (21);
- en donde se selecciona la temperatura de punto de rocío predeterminada para que se corresponda con una presión de vapor igual o inferior a 3 mm Hg en la cavidad (21);
- 55 en donde la etapa (a) comprende 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 (21) sea renovado de 25 a 50 veces por hora;
- 60 en donde el gas no reactivo es helio;
en donde la cavidad (21) está formada por una cápsula (20) y está cargada con combustible nuclear gastado, estando la cápsula (20) situada en un contenedor (10).
13. Un sistema para secar una cavidad (21) cargada con residuos de alta actividad ("HLW") que comprende una cápsula que forma la cavidad (21), teniendo la cavidad (21) una entrada (28) y una salida (29);
- 65

- una fuente (310) de gas no reactivo;
 medios (320, 325) para hacer fluir el gas no reactivo procedente de la fuente de gas no reactivo a través de la
 cavidad (21) para absorber agua en forma de vapor de agua;
 medios (330) para medir repetidamente la temperatura de punto de rocío del gas no reactivo húmedo que sale de
 5 la cavidad (21); y
 un controlador (350) funcionalmente acoplado a los medios (330) de medición de la temperatura de punto de
 rocío;
 en donde los medios (330) de medición de la temperatura de punto de rocío están adaptados para crear señales
 indicativas de la temperatura de punto de rocío medida del gas no reactivo húmedo y transmitir las señales al
 10 controlador (350); y
 en donde el controlador (350) está adaptado para analizar las señales; estando el sistema **caracterizado por
 que**, tras determinar que las señales indican que la temperatura de punto de rocío medida permanece igual o
 inferior a una temperatura de punto de rocío predeterminada durante un período de tiempo predeterminado, el
 controlador (350) está adaptado adicionalmente para (1) interrumpir el flujo de el gas no reactivo a través de la
 15 cavidad (21); y/o (2) activar un medio (370) para indicar que la cavidad (21) está seca.
14. El sistema de la reivindicación 13, que comprende adicionalmente medios (300) para secar el gas no reactivo,
 estando los medios (300) de secado situados corriente abajo de los medios (330) de medición de temperatura de
 20 punto de rocío.
15. El sistema de la reivindicación 14, en donde los medios (300) de secado comprenden un enfriador (340).
16. El sistema de la reivindicación 14, en donde los medios (300) de secado comprenden un desecante.
- 25 17. El sistema de la reivindicación 14, que comprende adicionalmente medios (345, 360) para hacer recircular el gas
 no reactivo procedente de los medios (300) de secado de vuelta a la fuente (310) de gas no reactivo.
18. El sistema de la reivindicación 13, en donde la temperatura de punto de rocío predeterminada está comprendida
 30 entre -6,67 y -3,33 °C, el período de tiempo predeterminado está comprendido aproximadamente entre 25 y 35
 minutos, y los medios (320, 325) de flujo hacen circular el gas no reactivo a través de la cavidad (21) con un caudal
 predeterminado que da como resultado que el volumen de la cavidad (21) se renueve de 25 a 50 veces durante el
 período de tiempo predeterminado.
- 35 19. El sistema de la reivindicación 13, en donde los medios (330) de medición de la temperatura de punto de rocío
 comprenden un higrómetro.
20. El sistema de la reivindicación 13, que comprende adicionalmente un contenedor (10), estando la cápsula (21)
 situada dentro del contenedor (10).
- 40 21. El sistema de la reivindicación 13, que comprende adicionalmente:
 un contenedor (10), estando la cápsula (21) situada dentro del contenedor (10);
 medios (300) para secar el gas no reactivo, estando los medios (300) de secado situados corriente abajo de los
 medios (330) de medición de la temperatura de punto de rocío;
 45 medios (345, 360) para hacer recircular el gas no reactivo procedente de los medios (300) de secado de vuelta a
 la fuente (310) de gas no reactivo, formando así un sistema en circuito cerrado;
 en donde la temperatura de punto de rocío predeterminada está comprendida entre -6,67 y -3,33 °C, el período
 de tiempo predeterminado está comprendido aproximadamente entre 25 y 35 minutos, y los medios (320, 325)
 de flujo hacen circular el gas no reactivo a través de la cavidad (21) con un caudal predeterminado que da como
 50 resultado que el volumen de la cavidad (21) se renueve de 25 a 50 veces por hora, en donde los medios (330) de
 medición de la temperatura de punto de rocío comprenden un higrómetro.

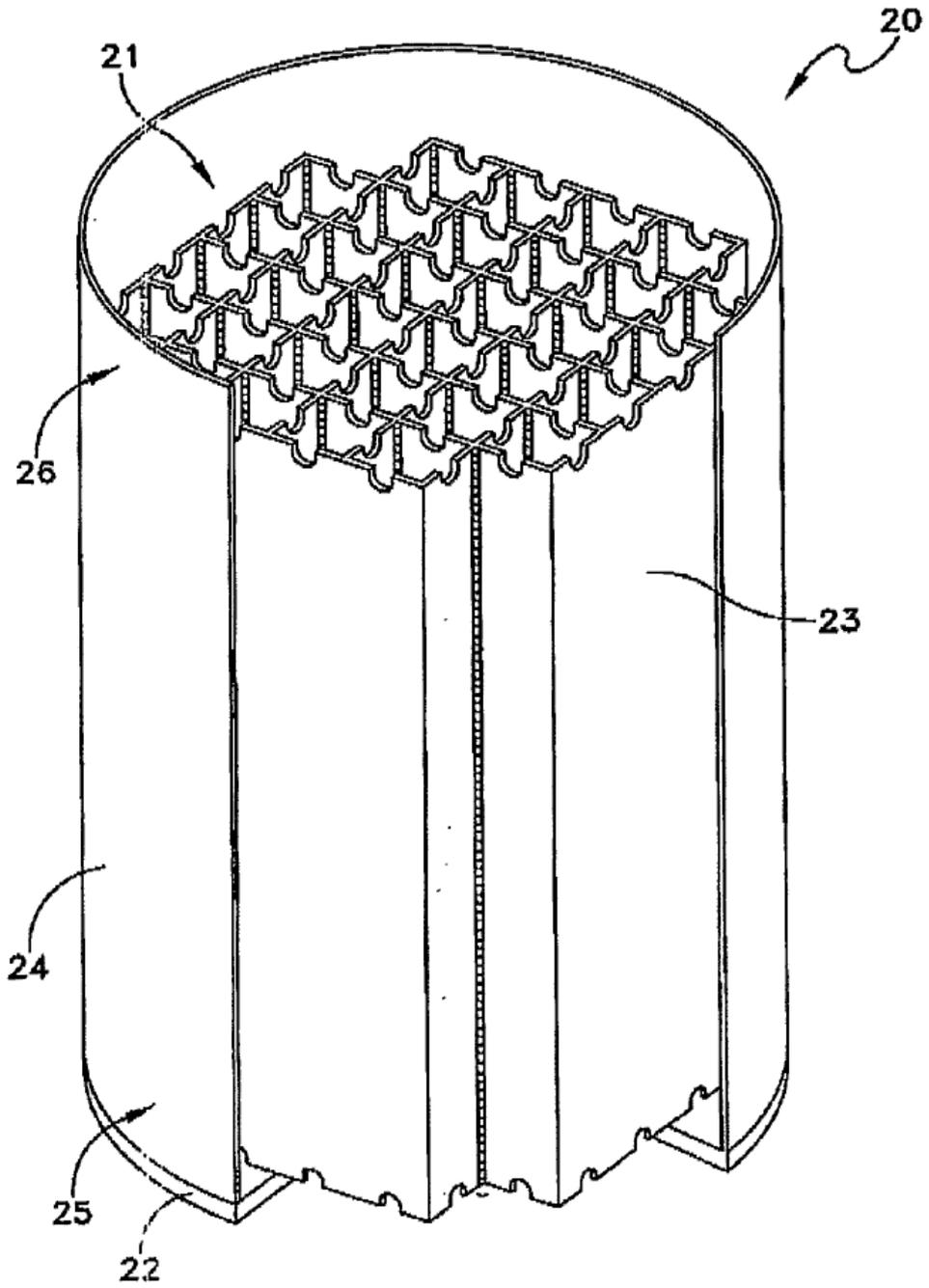


FIGURA 1

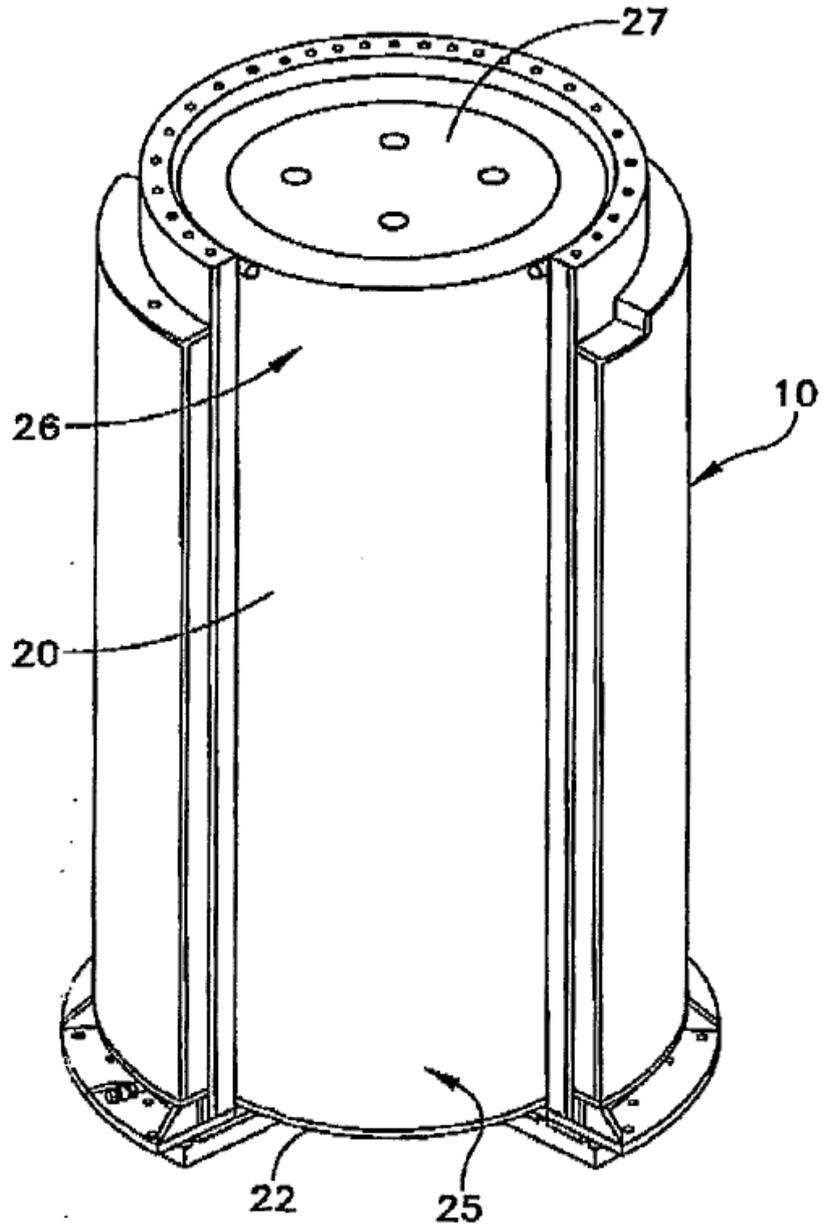


FIGURA 2

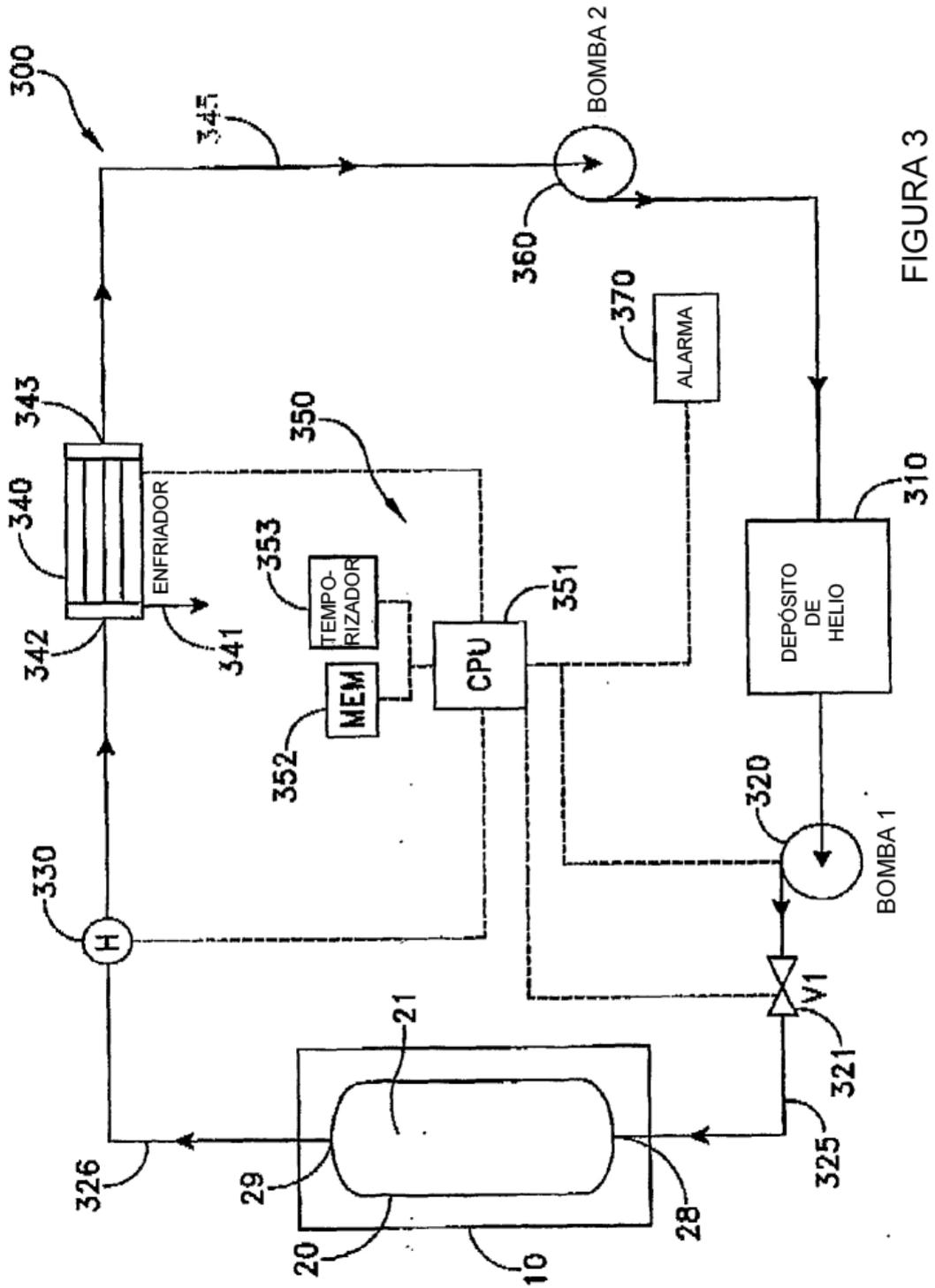


FIGURA 3

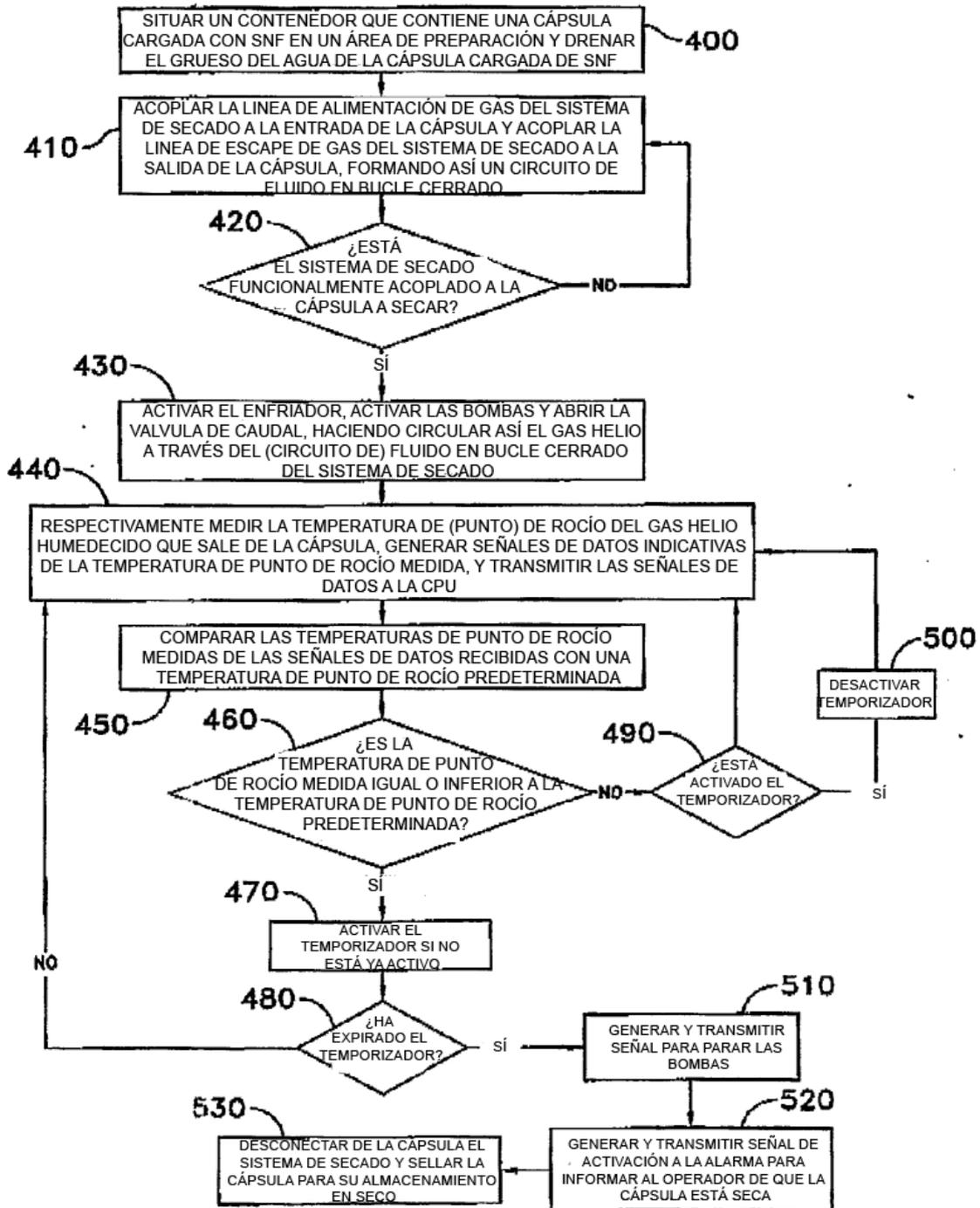
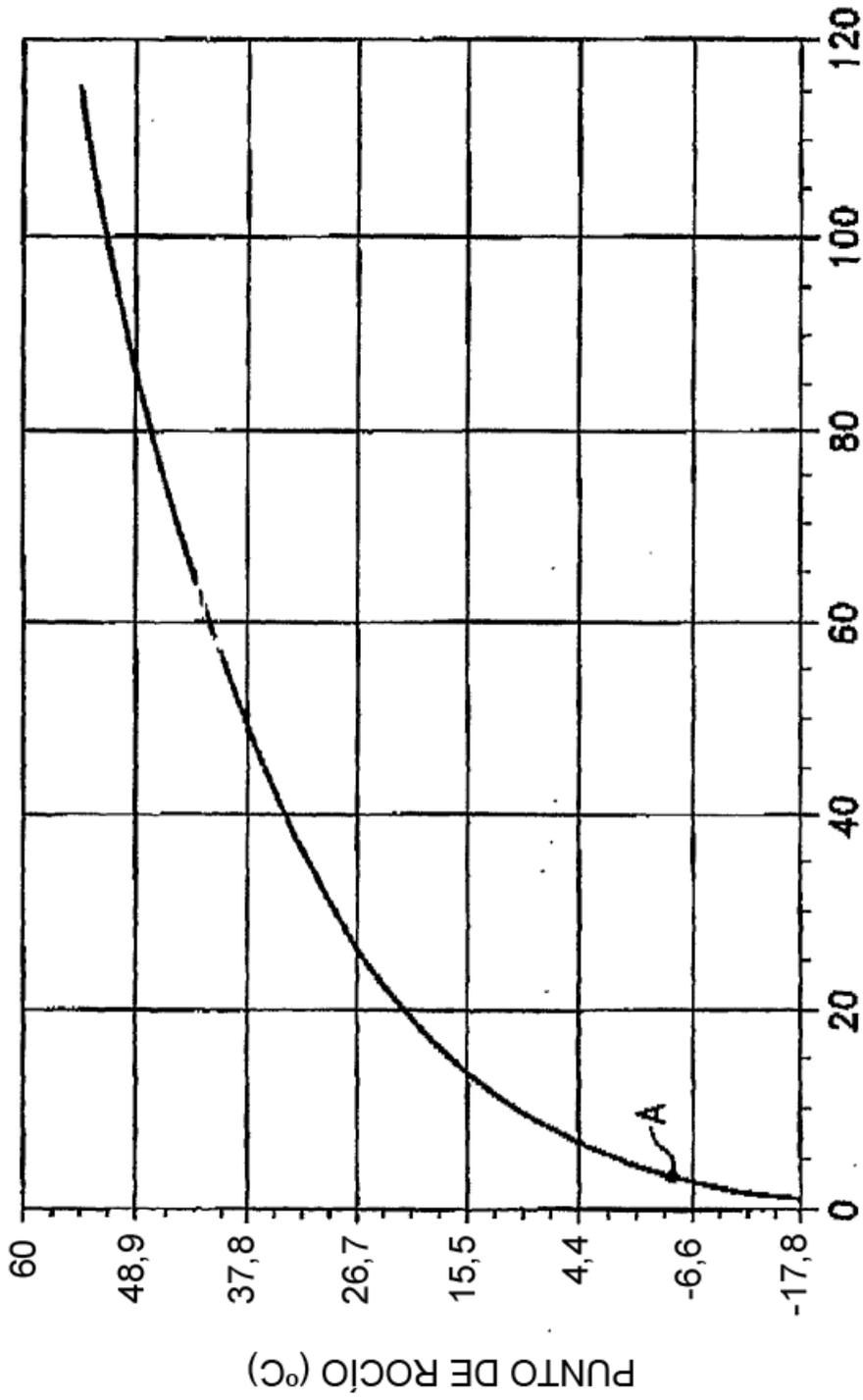


FIGURA 4



PRESIÓN DE VAPOR (mm Hg)
CURVA DE PUNTO DE ROCÍO DEL VAPOR DE AGUA

FIGURA 5

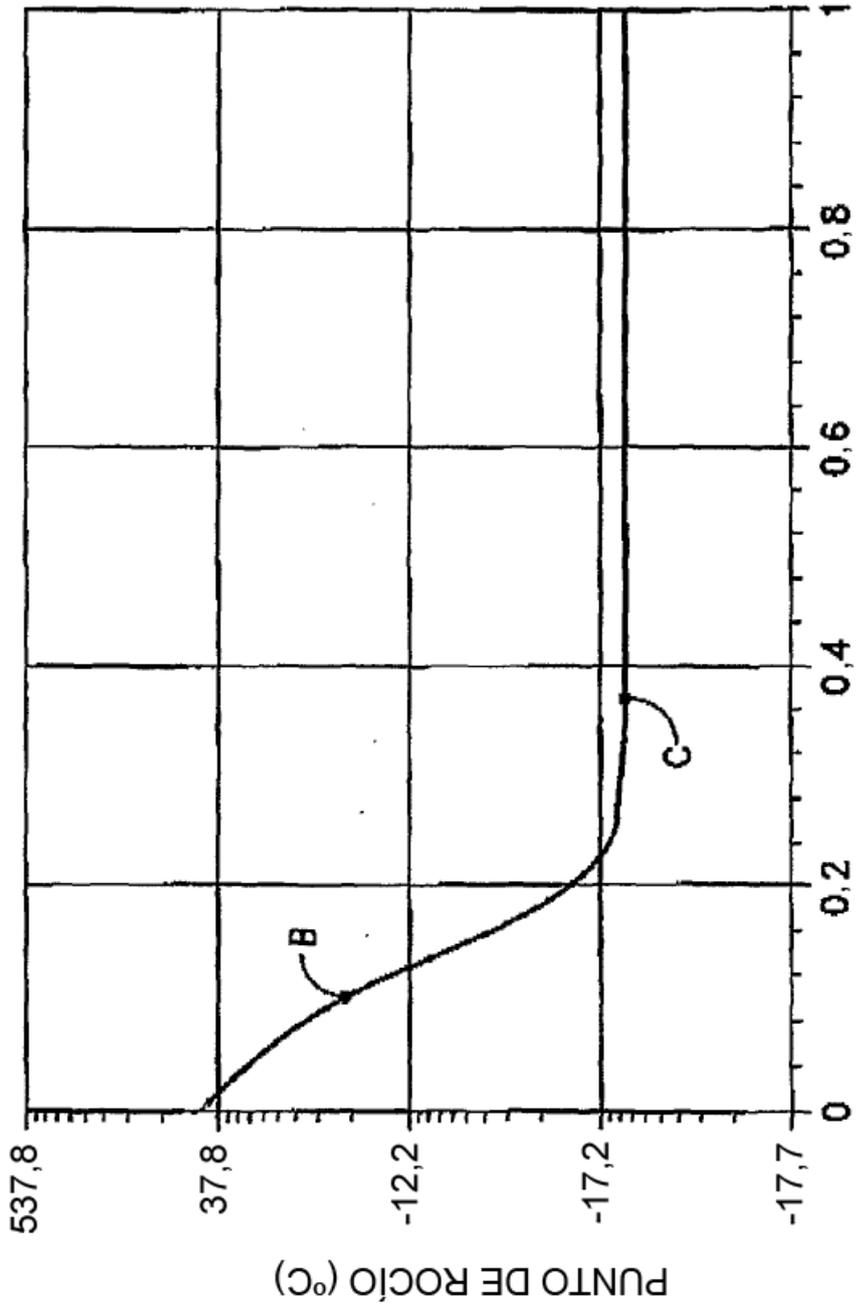


GRÁFICO DE ATENUACIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO EN LA CÁPSULA

FIGURA 6