



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 362 495**

51 Int. Cl.:

G21F 5/06 (2006.01)

G21F 5/14 (2006.01)

G21C 17/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03078878 .0**

96 Fecha de presentación : **12.12.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1429344**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **16.06.2004**

54 Título: **Deshidratación de cápsula de flujo de gas forzada.**

30 Prioridad: **13.12.2002 US 318657**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
06.07.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
06.07.2011

73 Titular/es: **HOLTEC INTERNATIONAL**
555 Lincoln Drive West
Marlton, New Jersey 08053, US

72 Inventor/es: **Singh, Krishna Pal**

74 Agente: **Martín Santos, Victoria Sofía**

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

Deshidratación de cápsula de flujo de gas forzada

Antecedentes de la invención

5 Esta invención se refiere generalmente al campo del almacenamiento de elementos radiactivos y específicamente a sistemas y procedimientos para secar el combustible nuclear gastado para el almacenamiento a largo plazo en "estado seco".

10 En la operación de reactores nucleares, los tubos de aleación de circonio cargados con uranio enriquecido conocidos como conjuntos de combustible, se consumen dentro del núcleo del reactor nuclear. Es costumbre retirar estos conjuntos de combustible del reactor después de que la energía se ha reducido a un nivel predeterminado. Tras el agotamiento y la subsiguiente retirada, este combustible nuclear gastado ("SNF") es aún altamente radiactivo y produce considerable calor, requiriendo que se tenga gran cuidado en su subsiguiente envasado, transporte y almacenamiento. Específicamente, el SNF emite neutrones y fotones gamma extremadamente peligrosos. Es obligatorio que estos neutrones y fotones gamma estén contenidos en todo momento subsiguiente a su retirada del reactor nuclear.

15 En la retirada de combustible de un reactor nuclear, es común retirar el SNF del reactor y colocar el SNF bajo el agua, en lo que se conoce generalmente como un almacenamiento en piscinas o balsas de combustible gastado. El agua de la balsa facilita el enfriamiento del SNF y proporciona protección apropiada contra la radiación. El SNF se almacena en la balsa durante un periodo suficientemente largo para permitir la disminución del calor y la radiación a un nivel lo suficientemente bajo para permitir que el SNF se transporte con seguridad. Sin embargo, debido a cuestiones de seguridad, espacio y económicas, el uso únicamente de las balsas no es satisfactorio cuando el SNF necesita almacenarse durante un período de tiempo considerable. Así, cuando se requiere almacenamiento de SNF a largo plazo, es la práctica normal en la industria nuclear almacenar el SNF en un estado seco subsiguiente a un periodo de almacenamiento breve en la balsa de combustible cargado, es decir, almacenar el SNF en una atmósfera de gas inerte seco encajonada dentro de una estructura que proporciona protección apropiada contra la radiación. Una estructura típica que se usa para almacenar el SNF durante largos periodos de tiempo en el estado seco es un bidón de almacenamiento.

25 Los bidones de almacenamiento tienen una cavidad adaptada para recibir una cápsula de SNF y se diseñan para ser estructuras grandes, pesadas, hechas de acero, plomo, hormigón y un material hidrogenado medioambientalmente adecuado. Sin embargo, debido a que la atención en el diseño de un bidón de almacenamiento es proporcionar protección adecuada contra la radiación para el almacenamiento a largo plazo del SNF, el tamaño y el peso son a menudo consideraciones secundarias (si es que se consideran). Como un resultado, el peso y el tamaño de los bidones de almacenamiento causan a menudo problemas asociados con elevación y manejo. Típicamente, los bidones de almacenamiento pesan más de 100 toneladas y tienen una altura mayor de 4,572 metros (15 pies). Un problema común asociado con los bidones de almacenamiento es que son demasiado pesados para elevarse por la mayoría de las grúas de plantas de energía nuclear. Otro problema común es que los bidones de almacenamiento son generalmente demasiado grandes para situarlos en balsas de combustible gastado. Así, con el fin de almacenar SNF en un bidón de almacenamiento posterior a su enfriamiento en la balsa, el SNF se transfiere a un bidón, se retira de la balsa, se sitúa en un área de almacenamiento, se deshidrata, se seca y se transporta a una instalación de almacenamiento. Se necesita protección adecuada contra la radiación a lo largo de todas las fases de este procedimiento de transferencia.

40 Como un resultado de la necesidad del SNF para la retirada de la balsa de combustible gastado y el transporte posterior a un bidón de almacenamiento, se sumerge típicamente una cápsula abierta en la balsa de combustible gastado. Las varillas de SNF se sitúan directamente después dentro de la cápsula abierta mientras que están sumergidas en el agua. Sin embargo, incluso después de sellar, la cápsula sola no proporciona contención adecuada de la radiación del SNF. Una cápsula cargada no puede retirarse o transportarse desde la balsa de combustible gastado sin una protección adicional contra la radiación. Así, es necesario un dispositivo que proporcione protección contra la radiación adicional durante el transporte del SNF. Esta protección adicional contra la radiación se logra situando las cápsulas cargadas de SNF en contenedores cilíndricos grandes llamados bidones de transferencia mientras están aún dentro de la balsa. De forma similar a los bidones de almacenamiento, los bidones de transferencia tienen una cavidad adaptada para recibir la cápsula de SNF y están diseñados para proteger el ambiente de la radiación emitida por el SNF interior.

50 En instalaciones que utilizan bidones de transferencia para transportar cápsulas cargadas, una cápsula vacía se cargaría primero dentro de la cavidad de un bidón de transferencia abierto. La cápsula y el bidón de transferencia se sumergen después en la balsa de combustible gastado. Antes de almacenamiento en bidones, el SNF se retira del reactor y se sitúa en estantes de almacenamiento húmedos situados en el fondo de balsas de combustible gastado. Para el almacenamiento seco, el SNF se transfiere a la cápsula sumergida que se anega con agua y dentro del bidón de transferencia. La cápsula cargada se ajusta después con su tapa, encerrando el SNF y el agua del interior de la balsa. La cápsula cargada y el bidón de transferencia se retiraron después de la balsa mediante una grúa y se depositan en un área de almacenamiento para preparar la cápsula cargada con SNF durante almacenamiento en seco a largo plazo. Con el fin de que una cápsula cargada de SNF esté apropiadamente preparada para almacenamiento en seco, la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos ("N.R.C.") requiere que el SNF y el interior de la cápsula estén adecuadamente secos antes de que la cápsula se selle y se transfiera al bidón de almacenamiento.

5 Específicamente, las regulaciones de la N.R.C. ordenan que la presión de vapor ("vP") dentro de la cápsula esté por debajo de 41 Kg m^{-2} (3 Torr (1 Torr = 1 mm Hg)) antes de que la cápsula se rellene con un gas inerte y se selle. La presión de vapor es la presión de vapor sobre un líquido en el equilibrio, en la que el equilibrio se define como la condición donde hay un número igual de moléculas transformándose de la fase líquida a la fase gaseosa que las que hay transformándose de la fase gaseosa a la fase líquida. Requerir una vP baja de 3 Torr o menos asegura que existe una cantidad adecuadamente baja de humedad en el interior de la cápsula y en el SNF de tal forma que el SNF está suficientemente seco para almacenamiento a largo plazo.

10 Actualmente, las instalaciones nucleares cumplen con el requerimiento de vP de 41 Kg m^{-2} (3 Torr) o menos de la N.R.C. llevando a cabo un procedimiento de secado a vacío. En la realización de este procedimiento, el agua a granel que está dentro de la cápsula se extrae primero de la cápsula. Una vez se extrae el volumen del agua líquida, se acopla un sistema de vacío a la cápsula y se activa tal como para crear una condición de presión subatmosférica dentro de la cápsula. La condición subatmosférica dentro de la cápsula facilita la evaporación del agua líquida que queda mientras que el vacío ayuda a retirar el vapor de agua. El vP dentro de la cápsula se mide después situando instrumentos de medida apropiados, tales como indicadores de vacío, dentro de la cápsula y tomando medidas directas de los contenidos gaseosos presentes en ellas. Si es necesario, el procedimiento de vacío se repitió hasta que se obtuvo una vP de 41 Kg m^{-2} (3 Torr) o menos. Una vez se alcanza una vP aceptable, la cápsula se rellena con un gas inerte y la cápsula se sella. El bidón de transferencia (con la cápsula dentro) se transporta después a una posición encima del bidón de almacenamiento y la cápsula cargada de SNF se baja dentro del almacenamiento para almacenamiento a largo plazo.

20 Los actuales procedimientos para satisfacer la regulación de vP de 41 Kg m^{-2} (3 Torrs) o menos de la N.R.C. son potencialmente peligrosos, requieren tiempo de operación, son propensos a error, están expuestas las varillas de SNF a altas temperaturas y son caros. Primero, la naturaleza intrusiva de la medida de vP directa es peligrosa debido a que la cápsula contiene SNF altamente radiactivo. En cualquier momento la cápsula puede agrietarse físicamente, existe el peligro de exponer el ambiente circundante y el personal de trabajo a radiación. Además, la creación de condiciones subatmosféricas en la cápsula requiere equipamiento de vacío caro y puede causar problemas de equipamiento complicados. Finalmente, las duraciones operacionales para secar a vacío son inaceptablemente largas ya que tiempos de secado al vacío del orden de días son bastante comunes. La operación al vacío es propensa a congelaciones en serie y a la formación de hielo dentro de la cápsula que pueden dar falsas lecturas a los instrumentos. Bajar la presión de la cápsula causa una pérdida progresiva del medio de transferencia térmica (rellenando el gas los huecos y espacios abiertos en la cápsula) dando como resultado elevación sustancial de temperatura de varillas de SNF que producen calor.

35 Por ejemplo, el documento DE 198 14791 C1 revela un procedimiento y un sistema para secar una cavidad cargada con elementos radiactivos en los que un sistema de vacío está acoplado con fluidez a la cavidad, creando de este modo una presión de vacío dentro de la cavidad. La presión de vacío se mantiene hasta que se alcanza una condición donde la humedad dentro de la cavidad se congela. La velocidad de evaporación dentro de la cavidad se mide usando sensores de presión y después se obtiene la velocidad de evaporación deseada, la cavidad se carga con helio.

40 El documento de los Estados Unidos US 4.709.579 revela un procedimiento y un aparato para el secado de varillas de combustible nuclear por evacuación en un horno. El vapor de humedad emitido desde una varilla de humedad seleccionada al azar se retira a través de un canal y se condensa. El peso de la humedad condensada se determina después, con la diferencia entre el peso computado y el peso determinado que es igual al peso residual de humedad en la varilla de combustible.

Sumario de la invención

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento y sistema para secar el interior de una cavidad cargada de SNF.

45 Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento y sistema para secar el interior de una cavidad cargada de SNF sin la necesidad de medir de forma físicamente intrusiva la vP dentro de la cavidad para asegurar que una vP aceptablemente baja está dentro de la cavidad.

Otro objetivo más de la presente invención es proporcionar un procedimiento y sistema para secar el interior de una cavidad cargada de SNF sin someter el interior de la cavidad a condiciones subatmosféricas.

50 Aún otro objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento y sistema para secar adecuadamente el interior de una cavidad cargada de SNF sin usar equipamiento de vacío caro.

Un objetivo adicional de la presente invención es proporcionar un procedimiento y sistema para preparar una cavidad cargada de SNF para almacenamiento en seco en una manera más eficiente en el tiempo.

55 Un objetivo todavía adicional de la presente invención es proporcionar un procedimiento y sistema para preparar una cavidad cargada de SNF para almacenamiento en seco en una manera más barata.

Un objetivo adicional de la presente invención es proporcionar un procedimiento y sistema para secar que elimina las

temperaturas de varillas de SNF excesivas asociadas con la técnica anterior.

Estos objetivos y otros se satisfacen por la presente invención según se expone en las reivindicaciones adjuntas.

En un aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento de secar una cavidad cargada con elementos radioactivos y que contiene cantidades traza de agua líquida y de vapor de agua hasta una presión de vapor deseada de agua (vP_D), teniendo la cavidad cargada un volumen libre (V_F), una presión de vapor de agua inicial (vP_S) y una presión de cavidad (P_C), comprendiendo el procedimiento: determinar un grado deseado de sequedad en la cavidad en términos de una presión de vapor de agua deseada (vP_D); enfriar un gas no reactivo a una temperatura (T_C) secando por lo tanto el gas no reactivo de tal forma que tiene una presión de vapor de agua igual a o más baja que la presión de vapor de agua deseada (vP_D); introducir el gas no reactivo seco de forma continua en la cavidad a un caudal (R) durante un periodo de tiempo (t); y eliminar gas no reactivo húmedo de forma continua desde la cavidad; en el que T_C y R se controlan para lograr la presión de vapor deseada (vP_D) en la cavidad después del tiempo t .

Es preferible que este procedimiento comprenda también la etapa de calentar el gas seco no reactivo a una temperatura (T_H) después de la etapa de enfriamiento y antes de la etapa de introducción, en la que T_H está controlada para lograr la presión de vapor deseada vP_D en la cavidad después del tiempo t .

Se prefiere adicionalmente que la etapa de enfriamiento comprenda las etapas de hacer fluir el gas no reactivo a través de un condensador y después hacer fluir el gas no reactivo a través de un módulo deshumidificador que seca por congelación el gas no reactivo, en el que el módulo deshumidificador está adaptado para que salga el gas no reactivo a temperatura T_C . El gas no reactivo húmedo retirado de la cavidad puede recircularse sometiendo el gas no reactivo húmedo retirado a la etapa de enfriamiento. Además, este procedimiento comprenderá preferentemente las etapas adicionales de: cesar la introducción del gas no reactivo seco dentro de la cavidad después de que el tiempo t ha pasado; y sellar la cavidad formando de este modo una atmósfera de gas no reactivo seco dentro de la cavidad, teniendo la cavidad una presión de vapor de o por debajo de vP_D .

Dependiendo del equipamiento disponible, el caudal controlado R puede ser un caudal volumétrico o un caudal másico. Los gases no reactivos adecuados incluyen nitrógeno, dióxido de carbono y gases de hidrocarburos ligeros (por ejemplo metano) y gases inertes seleccionados del grupo constituido por helio, argón, kriptón y xenón. Se prefiere que la presión de vapor deseada vP_D en la cavidad sea de o esté por debajo de aproximadamente 41 Kg m^{-2} (3 Torr) que corresponderá a la T_C que será de o estará por debajo de aproximadamente -6°C (21 grados Fahrenheit).

En otro aspecto, la presente invención es un procedimiento de secar una cavidad cargada con elementos radioactivos y que contiene cantidades traza de agua líquida y de vapor de agua hasta una presión de vapor deseada de agua (vP_D), teniendo la cavidad cargada un volumen libre (V_F), una presión de vapor de inicio de agua (vP_S), y una presión de cavidad (P_C), comprendiendo el procedimiento: determinar un grado deseado de sequedad en la cavidad en términos de una presión de vapor deseada de agua (vP_D); enfriar un gas no reactivo a una temperatura (T_C) secando de este modo el gas no reactivo de tal forma que tenga una presión de vapor de agua igual a o más baja que la presión de vapor de agua deseada (vP_D); introduciendo el gas no reactivo seco de forma continua dentro de la cavidad de tal forma que el volumen libre V_F de la cavidad se recambia X veces; y retirando el gas no reactivo húmedo de forma continua de la cavidad; en la que T_C y X se controlan para lograr una presión de vapor deseada (vP_D) en la cavidad.

Es preferible que este procedimiento comprenda adicionalmente la etapa de calentar el gas seco no reactivo a una temperatura (T_H) después de la etapa de enfriamiento y antes de la etapa de introducción, en la que T_H está controlada para lograr la presión de vapor deseada vP_D . La etapa de enfriamiento de este procedimiento puede comprender las etapas de hacer fluir el gas no reactivo a través de un módulo condensador y después hacer fluir el gas no reactivo a través de un módulo deshumidificador que seca por congelación el gas no reactivo, en el que el módulo deshumidificador está adaptado para que salga el gas no reactivo a temperatura T_C .

Este procedimiento puede comprender adicionalmente las etapas de hacer recircular el gas no reactivo húmedo eliminado de la cavidad sometiendo el gas no reactivo húmedo retirado a la etapa de enfriamiento; cesar la introducción del gas no reactivo seco dentro de la cavidad después de que el volumen libre V_F de la cavidad se recambia X veces; y sellar la cavidad formando de este modo una atmósfera de gas no reactivo seco dentro de la cavidad; teniendo la cavidad una presión de vapor a o por debajo de vP_D .

Los gases no reactivos adecuados incluyen nitrógeno, dióxido de carbono y gases de hidrocarburos ligeros tales como metano y gases inertes seleccionados del grupo constituido por helio, argón, kriptón y xenón. La presión de vapor deseada vP_D puede ser de o estar por debajo de aproximadamente 41 Kg m^{-2} (3 Torr) que corresponden a la T_C que es de o está por debajo de aproximadamente -6°C (21 grados Fahrenheit).

En aún otro aspecto, la invención es un sistema para secar una cavidad cargada con elementos radioactivos y que contiene cantidades traza de agua líquida y de vapor de agua hasta una presión de vapor de agua deseada (vP_D), teniendo la cavidad cargada un volumen libre (V_F), una presión de vapor de agua inicial (vP_S) y una presión de cavidad (P_C), comprendiendo el procedimiento: una fuente de gas no reactivo adaptada para suministrar un gas no reactivo al sistema; medio para enfriar un gas no reactivo a una temperatura (T_C) secando de este modo el gas no reactivo de tal forma que tenga una presión de vapor de agua igual a o más baja que la presión de vapor de agua deseada (vP_D); medio para hacer fluir el gas no reactivo seco de forma continua dentro de la cavidad, adaptado el medio de flujo para

introducir el gas no reactivo seco a la cavidad a un caudal R durante un periodo de tiempo (t); medio para retirar gas no reactivo único de forma continua desde la cavidad; en los que la fuente de gas no reactivo, el medio de enfriamiento, el medio de flujo, el medio de retirada y la cavidad están acoplados de forma fluida; en los que T_C y R están controlados para lograr una presión de vapor deseada (vP_D) en la cavidad en el tiempo t.

- 5 Se prefiere que el sistema comprenda adicionalmente medio para calentar el gas no reactivo seco hasta una temperatura (T_H), el medio de calentamiento acoplado de forma fluida al sistema corriente abajo del medio de enfriamiento y corriente arriba de la cavidad, en el que T_H se controla para lograr la presión de vapor deseada vP_D . Este medio de calentamiento es preferentemente un calentador auxiliar.
- 10 El caudal R puede ser un caudal másico o un caudal volumétrico. El medio de flujo puede ser una bomba de circulación de gas y el medio de enfriamiento puede comprender un módulo condensador acoplado con fluidez corriente arriba de un módulo deshumidificador, el módulo deshumidificador adaptado para secar por congelación el gas no reactivo de tal forma que el gas no reactivo que sale del módulo deshumidificador está a temperatura T_C .
- 15 Es adicionalmente preferible que el sistema esté adaptado para hacer recircular el gas no reactivo húmedo que se retira de la cavidad por el sistema. El gas no reactivo puede ser nitrógeno, dióxido de carbono y gases de hidrocarburos ligeros tales como metano, o un gas inerte seleccionado del grupo constituido por helio, argón, kriptón y xenón. La presión de vapor deseada vP en la cavidad de la cavidad es preferentemente de o está por debajo de 41 Kg m^{-2} (3 Torr) que corresponden a la temperatura T_C que es de o está por debajo de aproximadamente -6°C (veintiún grados Fahrenheit).
- 20 Finalmente, se prefiere que la cavidad tenga una parte superior y un fondo, y que el sistema esté adaptado para suministrar el gas no reactivo seco a la cavidad en el fondo o cerca del fondo de la cavidad y que esté adicionalmente adaptado para retirar el gas no reactivo húmedo de la cavidad en o cerca de la parte superior de la cavidad.

Breve Descripción de los Dibujos

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una cápsula abierta parcialmente en sección y vacía.

- 25 La Figura 2 es una vista en perspectiva de un bidón de transferencia parcialmente en sección con la cápsula de la FIG. 1 sellada y situada en el bidón de transferencia.

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

La Figura 4 es una gráfica que ilustra el ciclo termodinámico del gas de helio que fluye a través del sistema de la FIG. 3 en condiciones específicas.

- 30 La Figura 5 es un diagrama de flujo de una primera realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención.

La Figura 6 es un diagrama de flujo de una segunda realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención.

La Figura 7 es una gráfica de datos que traza datos simulados para la presión de vapor resultante en una cavidad de una cápsula después de que se hace fluir gas de helio calentado seco por la cavidad por varias veces.

- 35 La Figura 8 es una gráfica de datos que traza el número de recambios de volumen libre de una cavidad frente al vapor resultante en la cavidad.

La Figura 9 es una vista ampliada del área IX-IX en la FIG. 8.

Descripción detallada de los dibujos

- 40 La figura 1 ilustra una cápsula **20** que es adecuada para su uso en la presente invención. La cápsula **20** se ilustra sólo para propósitos ejemplares. La presente invención no está limitada a las geometrías, estructuras o dimensiones específicas sino que es aplicable a cualquier tipo de recipiente de cierre usado para transportar, almacenar o mantener elementos radioactivos. Por tanto, el alcance de la presente invención también abarca realizaciones de bidón en las que el combustible nuclear gastado ("SNF") se carga directamente en la cavidad del bidón sin el uso de una cápsula.

- 45 La cápsula **20** comprende una placa de fondo **22** y una pared cilíndrica **24** que forma una cavidad **21**. Tal como se usa en el presente documento, este extremo **25** de cápsula **20** que está más próximo a la placa de fondo **22** se denominará el fondo de la cápsula **20** mientras que ese extremo **26** de la cápsula **20** que está más lejos de la placa de fondo **22** se denominará la parte superior de la cavidad **20**. La cavidad **21** de la cápsula **20** tiene una rejilla de panal de abeja **23** posicionada dentro de la misma. La rejilla de panal de abeja **23** comprende una pluralidad de cajas rectangulares adaptadas para recibir las varillas de combustible nuclear gastado ("SNF"). La cápsula **20** comprende además un agujero de desagüe (no ilustrado) situado en o cerca del fondo de la cápsula **20** que proporciona una vía de paso sellable desde la cápsula de fuera **20** hasta la cavidad **21**. El agujero de desagüe puede estar situado sobre la placa de fondo **22**. Además, el agujero de desagüe se puede abrir o sellar herméticamente usando tapones, válvulas de desagüe

o procedimientos de soldadura.

Tal como se ilustra en la figura 1, la cápsula **20** está vacía (es decir, la cavidad **21** no tiene varillas de SNF colocadas en la rejilla de panal de abeja **23**) y la parte superior **26** de la cápsula **20** está abierta. Al utilizar la cápsula **20** para transportar y almacenar las varillas de SNF, la cápsula **20** se coloca dentro del bidón de transferencia **10** (figura 2) mientras que la cápsula **20** está abierta y vacía. El agujero de desagüe situado en o cerca del fondo de la cápsula **20** está cerrado y sellado herméticamente en este momento. El bidón de transferencia abierto **10** y la cápsula abierta **20** se sumergen entonces en una balsa de combustible gastado lo que provoca que el volumen restante de la cavidad **21** se llene con agua. Las varillas de SNF que se retiran del reactor nuclear se sumergen entonces en la balsa de combustible gastado y se colocan dentro de la cavidad **21** de la cápsula **20**. Preferentemente, un haz individual de varillas de SNF se coloca en cada caja rectangular de rejilla de panal de abeja **23**. Una vez esté cargada la cavidad **21** con las varillas de SNF, se asegura la tapa de la cápsula **27** (FIG. 2) a la parte superior **26** de la cápsula **20** para sellar las varillas de SNF y el agua de la balsa en la cavidad **21**. La tapa de la cápsula **27** tiene una pluralidad de agujeros para tapa sellables **28** que forman una vía de paso hacia la cavidad **21** desde fuera de la cápsula **20** cuando se abre. El bidón de transferencia **10** (que tiene una cápsula cargada y sellada **20** dentro de él) se eleva entonces con una grúa y se coloca de forma vertical en una zona de almacenamiento (tal como se muestra en la figura 2) de modo que la cápsula **20** se pueda preparar de forma apropiada para el almacenamiento en seco.

En referencia a la figura 2, en la zona de almacenamiento, la cápsula **20** (que contiene las varillas de SNF y agua de balsa) está dentro del bidón de transferencia **10**. Tanto la cápsula **20** como el bidón de transferencia **10** están en una posición vertical. Una vez se coloque de forma apropiada en la zona de almacenamiento, el agujero de desagüe (no ilustrado) en o cerca del fondo **25** de la cápsula **20** se abre y se extrae el agua a granel que está atrapada en la cavidad **21** de la cápsula **20**. A pesar de extraer el agua a granel de la cavidad **21**, la humedad del agua permanece en la cavidad **21** y sobre las varillas de SNF debido a las cantidades traza de agua líquida y de vapor de agua que permanecen dentro de la cavidad **21**. Sin embargo, antes de poder sellar de forma permanente la cápsula **20** y transportarla a un bidón de almacenamiento para su almacenamiento en seco a largo plazo, se debe asegurar que la cavidad **21** y las varillas de SNF contenidas dentro estén adecuadamente secas. Debido a que una presión de vapor baja ("vP") dentro de un contenedor indica que está presente un bajo nivel de humedad, la Comisión reguladora nuclear ("N.R.C.") de los Estados Unidos ha decidido que se logra un secado adecuado cuando se obtiene una presión de vapor ("vP") de 41 Kg m^{-2} (3 Torr) o menor dentro de la cavidad **21**.

La figura 3 ilustra esquemáticamente una realización de un sistema de bucle cerrado **300** que puede secar la cavidad **21** hasta niveles de N.R.C. aceptables sin la necesidad de medir intrusivamente la vP resultante dentro de la cavidad **21**. La figura 5 es un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento de funcionamiento del sistema **300** de acuerdo con la presente invención. La figura 6 es un diagrama de flujo de una segunda realización de un procedimiento de funcionamiento del sistema **300** de acuerdo con la presente invención.

El sistema **300** está conectado a una cápsula **20** para formar un sistema de bucle cerrado. Sin embargo, la presente invención se puede practicar sin tener un sistema de bucle cerrado. El sistema **300** comprende un depósito de gas no reactivo **340**, un elemento de enfriamiento de gas **310**, un sensor de temperatura **320**, una bomba de circulación de gas **330**, un calentador auxiliar **350**, un controlador de flujo de gas **360**, y un distribuidor de gas **370**. Tal como se ilustra, el elemento de enfriamiento de gas **310** comprende un condensador **370** y un módulo de deshidratación **380**. Todos estos elementos están conectados de forma fluida de modo que un gas no reactivo pueda fluir a través del sistema **300** sin escapar al medio ambiente exterior. Todas las conexiones de fluido discutidas en el presente documento se pueden llevar a cabo con el uso de canalizaciones o tuberías adecuadas que conectan de forma fluida los elementos del sistema **300** con el uso de conexiones, cierres, abrazaderas de anillo y/o juntas. Las canalizaciones y tuberías pueden estar construidas de conductos de metal flexible o no flexible. El diseño para conectar de forma fluida las canalizaciones o tuberías a los distintos elementos del sistema **300** lo ordenará la estructura de diseño específica del equipamiento elegido y la composición del material de las canalizaciones o tuberías elegidas.

Se prefiere que el depósito de gas no reactivo **340** se use para almacenar gas de helio. Aunque el gas de helio es el gas no reactivo preferido, se puede usar cualquier gas no reactivo en el sistema **300** y todavía puede estar dentro del alcance de la presente invención. Por ejemplo, el gas no reactivo puede ser nitrógeno, dióxido de carbono, gases de hidrocarburos ligeros tales como metano o cualquier gas inerte, incluyendo pero sin limitarse a helio, argón, criptón y xenón.

El flujo de helio gaseoso a través del sistema **300** se efectúa mediante una bomba de circulación de gas **330**. La bomba de circulación **330** hace circular el gas de helio a través del sistema **300** y de la cápsula **20** incrementando la presión del gas de helio mientras sale de la bomba de circulación de gas **330**. Como tal, el gas de helio que sale de la bomba de circulación **330** está forzado en sentido inverso a las agujas del reloj a través del sistema **300**. La dirección del flujo de gas a través del sistema **300** está definida por las flechas presentes en las conexiones de fluido.

El depósito de helio **340** proporciona una fuente adecuada de gas de helio al sistema **300**. El depósito de helio **340** está conectado de forma fluida al condensador **370**. Mientras el gas de helio está forzado a pasar a través del sistema **300**, el gas de helio que está dentro del depósito de helio **340** fluye hacia el condensador **370**. Mientras el gas de helio fluye a través del condensador **370**, el gas de helio se enfría. Este enfriamiento da como resultado que parte de la humedad (es decir, vapor de agua) que está atrapada en el gas de helio se condense fuera del gas de helio y se recoja en el

condensador **370** en forma líquida. El agua líquida se retira del condensador **370** por medio de un desagüe de fluidos (no ilustrado) mientras que el gas de helio parcialmente seco fluye hacia el módulo de deshidratación **380** (también conocido como secador por congelación) por medio de una conexión de fluido separada. El gas de helio parcialmente seco fluye después a través del módulo de deshidratación **380** en el que el gas de helio se enfría adicionalmente mediante secado por congelación del gas de helio con un fluido refrigerante que fluye a través de un intercambiador de calor tubular. Esta reducción adicional en la temperatura del gas de helio parcialmente seco da como resultado una retirada adicional de humedad del gas de helio. Como tal, el gas de helio que sale del módulo de deshidratación **380** tiene un contenido en humedad muy bajo (es decir, presión de vapor baja) y está muy seco. La humedad que se retira del gas de helio en el módulo de deshidratación **380** se congela directamente sobre los tubos intercambiadores de calor enfriados con fluido refrigerado.

Monitorizando la temperatura del gas de helio que fluye fuera del módulo de deshidratación **380** y asumiendo que la temperatura es adecuadamente baja, se puede asegurar que el gas de helio esté muy seco. El módulo de deshidratación **380** está adaptado para asegurar que el gas de helio que sale se enfríe hasta una temperatura baja deseada T_C . Esto se realiza monitorizando la temperatura del gas de helio que sale del módulo de deshidratación **380** con un sensor de temperatura **320**. El sensor de temperatura **320** está acoplado de forma funcional al módulo de deshidratación **380** a través de una conexión eléctrica **325**. Con el uso de una interfaz de usuario y procesadores programados de forma apropiada (no ilustrado), la temperatura deseada T_C se fija por el usuario. El sensor de temperatura **320** mide repetidamente la temperatura del gas de helio que sale del módulo de deshidratación **380**. Si la temperatura del gas de helio que sale no coincide con la temperatura deseada fijada T_C , se envía una señal apropiada al módulo de deshidratación **380**. El módulo de deshidratación **380** responderá apropiadamente a la señal incrementando o bien disminuyendo el enfriamiento del gas de helio, dependiendo de la señal enviada. Este procedimiento de ajuste se repite hasta que el gas de helio que sale del módulo de deshidratación logre (y mantenga) la temperatura deseada a o por debajo de T_C , completando así las etapas **500** y **600** de las figuras 5 y 6, respectivamente. Como se discutirá en detalle a continuación, la T_C se elige por el usuario para asegurar que el gas de helio existente esté suficientemente seco como para que se puedan retirar cantidades adecuadas de humedad de la cavidad **21** (figura 1) para lograr una presión de vapor deseada (vP_D) en la cavidad **21**.

El gas de helio seco (que está a la temperatura deseada T_C) fluye en la bomba de circulación de gas **330**, que como se discute anteriormente, incrementa la presión del gas de helio seco de modo que fuerza que el gas de helio seco circule hacia el calentador auxiliar **350** y a través del sistema **300**. El calentador auxiliar **350** está conectado de forma fluida corriente abajo de la bomba de circulación de gas **330**. Tras entrar en el calentador auxiliar **350**, el gas de helio seco se sobrecalienta hasta la temperatura calentada deseada (T_H), completando así las etapas **510** y **610** de las figuras 5 y 6, respectivamente. El incremento de la temperatura del gas de helio hasta T_H ayuda a facilitar la retirada de humedad de la cavidad **21** (incluyendo la humedad de las varillas de SNF) cuando el gas de helio entra en la cavidad **21**. Sin embargo, ya que las varillas de SNF a menudo generan grandes cantidades de calor, el uso de un calentador auxiliar **350** puede que no sea necesario en tales casos. El calentador auxiliar **350** asegura que el gas de helio seco que sale del calentador auxiliar **350** se mantenga a temperatura T_H con el uso de un sensor de temperatura acoplado de forma funcional (no ilustrado). Para evitar la redundancia, se omitirá la discusión de esta conexión operable entendiéndose que la conexión y los controles son similares a los usados para el módulo de deshidratación **380** y el sensor de temperatura **320**.

Tras dejar el calentador auxiliar **350**, el gas de helio seco (ahora a temperatura T_H) fluye hacia el controlador de flujo de gas **360**. El elemento controlador de flujo de gas **360** está acoplado de forma funcional a la bomba de circulación de gas **330** mediante una conexión eléctrica **390**. Dependiendo de qué procedimiento de la presente invención se use, el controlador de flujo de gas **360** puede ser un controlador de caudal volumétrico o bien un controlador de caudal másico.

Si el controlador de flujo de gas **360** es un controlador de caudal volumétrico, se adaptará una válvula para hacer fluir el gas de helio a través de él a un caudal volumétrico deseado constante (**R**). El caudal volumétrico deseado **R** se fija por el usuario por medio de una interfaz de usuario acoplada que tiene procesadores programados de forma apropiada (no ilustrado). Los procesadores programados de forma apropiada enviarán una señal a la válvula de caudal volumétrico para ajustar la válvula, de este modo se logra el caudal volumétrico deseado **R**. En esta realización, el usuario también introducirá un tiempo deseado (**t**) en la interfaz de usuario. Después de que pase el tiempo **t**, el procesador programado de forma apropiada enviará una señal de cese de funcionamiento a la bomba de circulación de gas **330**, deteniendo el flujo de gas de helio a través del sistema **300**. Es de esta manera cómo el controlador de flujo de gas **360** facilita la etapa **520** de la figura 5.

Otra forma en la que se puede facilitar la etapa **520** de la figura 5 es a través del uso de un controlador de flujo másico. Si el controlador de flujo de gas **360** es un controlador de caudal másico, se adaptará una válvula para medir la masa del gas de helio seco calentado que fluye a través del controlador de flujo másico. El usuario fijará un caudal másico deseado (**R**) y un tiempo deseado **t** en lugar de un valor de caudal volumétrico. La discusión de cómo el usuario determina cuál es el caudal deseado **R**, tanto si es un caudal másico como una velocidad de flujo volumétrico, y el tiempo **t** se hará en detalle a continuación.

De forma alternativa, el controlador de flujo de gas **360** se puede adaptar de modo que el usuario fije un valor numérico **X** en la interfaz de usuario, en el que el valor **X** representa el número de veces que el usuario desea que el volumen libre (V_F) de la cavidad **21** se recambie por el flujo de gas de helio. Tal como se usa en el presente documento, el

volumen libre (V_F) de una cavidad se define como el espacio de la cavidad que no está ocupado por las varillas de SNF cargadas ni por la rejilla de panal de abeja **23**. Mientras que el valor de V_F será diferente para varias cápsulas y dependerá de si la cápsula está totalmente cargada con varillas de SNF, el V_F para cualquier cápsula dada se puede aproximar conociendo el número y el tamaño de las varillas de SNF que se van a cargar en la cavidad y el volumen de la cavidad cuando está vacía. Tal como se usa en toda esta patente, el V_F se recambia cuando fluye suficiente gas en la cavidad como para llenar el volumen libre V_F y sustituye el gas que ocupaba anteriormente el volumen. Por ejemplo, si V_F es igual a 300 pies cúbicos (8,5 metros cúbicos) y un volumen de 600 pies cúbicos (17 metros cúbicos) de gas de helio seco fluye en el V_F , el volumen libre V_F "se hace pasar" dos veces. Por tanto, X sería 2,0. En esta realización de sistema **300**, el usuario elige X de modo que el V_F se recambia un número específico de veces dando como resultado que la presión de vapor en la cavidad logre una presión de vapor deseada vP_D . Cómo un usuario calcula el X deseado se discutirá en detalle a continuación. Asumiendo que se conoce el X deseado, el usuario fija su valor en la interfaz en lugar de R y t . Un procesador programado de forma apropiada se comunicará con el controlador de flujo de gas de control **360**, sea un controlador de flujo másico o un controlador de caudal volumétrico, para suministrar un volumen de gas de helio seco que recambiará V_F de la cavidad las X veces deseadas, completando así la etapa 620 de la figura 6. Una vez se suministra un volumen de gas de helio seco resultante de la X deseada a la cavidad **21**, el procesador programado de forma apropiada enviará una señal de cese de funcionamiento a la bomba de circulación de gas **330**, deteniendo el flujo de gas de helio a través del sistema **300**.

Tras salir del controlador de flujo de gas **360**, el gas de helio seco fluye hacia el distribuidor de gas **370**. El distribuidor de gas **370** se acopla de forma fluida a la cápsula **20** y se adapta para introducir el gas de helio seco a la cavidad **21** (figura 1) a o cerca del fondo de la cápsula **20** posiblemente a través de la misma válvula de desagüe (no ilustrado) usada para extraer el agua a granel. El distribuidor de gas **370** introduce el gas de helio seco calentado en el V_F de la cavidad **21**, completando así las etapas **520** y **620** de las figuras 5 y 6, respectivamente. Una vez dentro de la cavidad **21**, el gas de helio seco se vuelve húmedo absorbiendo humedad. Esta adsorción de humedad por el gas de helio seco se produce tanto mezclando con el vapor de agua aún en la cavidad **21** como evaporando el agua líquida que puede permanecer en la cavidad **21** y en las varillas de SNF. Si el gas de helio seco se sobrecalienta a temperatura T_H , la energía añadida en el gas de helio seco ayudará a iniciar la evaporación del agua líquida. Mientras el gas de helio seco se introduce de forma continua en la cavidad **21**, el V_F de la cavidad **21** se llena. Una vez se llena el V_F , el suministro continuo de gas de helio seco empuja el gas de helio húmedo fuera de la cavidad **21** desde un orificio de salida a o cerca de la parte superior, completando así las etapas 530 y 630 de las figuras 5 y 6, respectivamente. El orificio de salida pueden ser agujeros con tapa de cápsulas sellables **28** (figura 2). Esta retirada de gas de helio húmedo de la cavidad **21** disminuye la presión de vapor resultante en la cavidad **21**. Mientras el gas de helio húmedo fluye fuera de la cavidad **21**, el gas de helio húmedo se lleva a través de una conexión de fluido al depósito de helio **340**. Como tal, el gas de helio mojado se puede hacer recircular a través del sistema **300** para mantener un procedimiento de secado de cápsula continuo.

Tal como se mencionó anteriormente, una vez que el gas de helio seco calentado se hace circular a través de la cavidad **21** a una velocidad R durante un periodo de tiempo t , la introducción del gas de helio seco calentado en la cavidad **21** cesa, completando así la etapa 540 de la figura 5. En la realización alternativa, la introducción del gas de helio seco calentado en la cavidad **21** cesa cuando el gas de helio seco calentado se hace circular a través de la cavidad **21** de modo que V_F "se hace pasar" X veces, completando así la etapa 640 de la figura 6. En este punto, el sistema **300** se desconecta de la cápsula **20** y toda apertura en la cavidad **21**, incluyendo la válvula de desagüe y orificios, se sella, atrapando de este modo el gas de helio seco en la cavidad **21** y creando una atmósfera no reactiva dentro de la cavidad **21**, completando así las etapas 550 y 650 de las figuras 5 y 6, respectivamente.

En referencia a la figura 4, un ciclo termodinámico de gas de helio que circula a través del sistema **300** se ilustra en un diagrama de presión de vapor - temperatura. En este diagrama está representada la curva de presión de vapor para el agua. Por encima de la curva de presión de vapor, el agua está en estado líquido y por debajo de la curva el agua está en estado de vapor. Vapor y líquido coexisten en el equilibrio en cualquier punto de la curva. Para propósitos ilustrativos, la gráfica termodinámica asume que el sistema **300** está funcionando de modo que T_C es -6°C (21 grados Fahrenheit), T_H es 149°C (300 grados Fahrenheit), y la presión de vapor de inicio (vP_S) en la cavidad **21** es de $1,180 \text{ Kg m}^{-2}$ (87 Torr). Tal como se usa en el presente documento, la presión de vapor de inicio vP_S en una cavidad es la presión de vapor en la cavidad después de drenar el agua a granel de la misma pero antes de que cualquier gas de helio seco circule a través de la misma. Comenzando en el punto 1 en el diagrama, el gas de helio sobrecalentado cargado con el vapor de agua sale de la cavidad **21** de la cápsula **20** y entra en el condensador **370**. Una vez dentro del condensador **370**, el gas de helio sobrecalentado se enfría a lo largo de la línea 1-2 hasta que se alcanza el punto de condensación en la intersección con la curva de presión de vapor, es decir, el punto 2. El enfriamiento del gas de helio continúa en el condensador **370** por debajo del punto de condensación, condensando progresivamente el vapor de agua fuera del gas de helio por debajo de la curva de presión de vapor a lo largo de la línea 2-3. El líquido que se condensa de 2-3 se separa y se retira del condensador mientras que el gas de helio parcialmente seco fluye hacia el módulo de deshidratación **380** en el que se seca por congelación. Mientras en el módulo de deshidratación **380**, el gas de helio se enfría adicionalmente por debajo del punto de condensación, condensando aún más el vapor de agua fuera del gas de helio a lo largo de la línea 3-4 hasta que se alcanza la T_C (que es de -6°C (21 grados Fahrenheit)). El gas de helio seco deja el módulo de condensador **380** y se sobrecalienta hasta T_H en un calentador auxiliar **350** a lo largo de la línea 4-5 para ayudar a efectuar la evaporación del agua líquida en la cavidad **21**. Si las varillas de SNF están lo suficientemente calientes, este sobrecalentamiento se producirá dentro de la cavidad **21**, eliminando así la necesidad de utilizar un

calentador auxiliar 350. Una vez dentro de la cavidad 21, el gas de helio seco se calienta aún más debido al calor que desprenden las varillas de SNF y el gas de helio seco calentado absorbe el vapor de agua del agua líquida en evaporación, humectándose así e incrementando la presión de vapor del gas de helio seco a lo largo de la línea 5-1. Mientras el gas de helio seco fluya a través de la cavidad 21, la presión de vapor dentro de la cavidad 21 seguirá disminuyendo. Esto también dará como resultado que la presión de vapor del gas de helio húmedo que sale (en el punto 5) disminuya mientras pasa el tiempo. La presión de vapor dentro de la cavidad 21 seguirá disminuyendo monótonicamente hasta acercarse a la presión de vapor del gas no reactivo seco calentado que entra en la cavidad 21. Por tanto, asegurándose de que la temperatura (T_C) del gas de helio que sale del módulo de deshidratación 380 es lo suficientemente baja como para que corresponda a una presión de vapor igual a o menor que la presión de vapor deseada (vP_D), en este caso 41 kg m^{-2} (3 Torr), se puede lograr la presión de vapor deseada (vP_D) en la cavidad 21 siempre que una cantidad suficiente de gas de helio seco se haga fluir a través de la cavidad 21. Por tanto, mientras se conozca la sequedad deseada en términos de presión de vapor, un usuario del sistema 300 puede calcular la T_C usando la figura 4 o una gráfica similar para lograr un nivel de sequedad. Debido a que la normativa N.R.C. actual requiere que se logre una presión de vapor de 41 Kg m^{-2} (3 Torr) o menos en la cavidad 21 como una medida de sequedad, vP_D será igual a 41 Kg m^{-2} (3 Torr) o menos, completando así las etapas 560 y 660 de las figuras 5 y 6, respectivamente. Como tal, se puede ver de la figura 4 que esto corresponde a una T_C de -6°C (21 grados Fahrenheit) o inferior.

Una vez se conoce vP_D (41 Kg m^{-2} (3 Torr)) y se calcula T_C (-6°C (21 grados Fahrenheit)), la siguiente etapa es determinar el volumen libre V_F que sale dentro de la cavidad 21. Esto se realiza reduciendo el volumen total de la cavidad 21 por el volumen aproximado de las varillas de SNF contenidas dentro y el volumen de cualquier otro sólido que pueda estar presente en la cavidad 21, tal como rejilla de panal de abeja 23. Tras determinar el volumen libre V_F , el usuario del sistema escogerá entonces una temperatura T_H hasta la que se calentará el gas de helio seco por el calentador auxiliar 350 y un caudal R al que este gas de helio seco calentado se suministrará a la cavidad 21. Dependiendo del valor de V_F para que la cavidad se seque, y los valores elegidos para T_H y R , el gas de helio seco calentado tendrá que hacerse fluir a través de la cavidad durante un periodo de tiempo t antes de que la cavidad logre la presión de vapor deseada vP_D de 41 Kg m^{-2} (3 Torr). Simulando las condiciones dentro de la cavidad 21 y fijando los valores hipotéticos para las variables del sistema 300, se puede determinar el tiempo t para cualquier grupo de variables leyendo una gráfica apropiada de los datos.

En referencia a la figura 7, se ilustra una gráfica de datos representando el tiempo de flujo de gas a través de una cavidad frente al vapor resultante en la cavidad para un grupo dado de condiciones simuladas. Para generar esta gráfica de tiempo - presión de vapor, se asumen o se eligen las siguientes condiciones: (1) una vP_D de 41 Kg m^{-2} (3 Torr) (que, de la figura 4, se refiere a una T_C de -6°C (21 grados Fahrenheit)); (2) un V_F de $8,5 \text{ m}^3$ (300 pies cúbicos); (3) una T_H de 149°C (300 grados Fahrenheit) (que se refiere a una densidad de helio p de aproximadamente $0,5 \text{ kg m}^{-3}$ (0,032 libras por pie cúbico)); (4) un R de $2,21 \text{ m}^3$ (78,125 pies cúbicos) por minuto; (5) una presión de cavidad (P_C) de 345 kPa (50 libras por pulgada cuadrada); y (6) una presión de vapor de inicio vP_S de $1,180 \text{ Kg m}^{-2}$ (87 Torr) dentro de la cavidad. Como se puede ver de la representación de los datos, mientras se permite que el gas de helio seco fluya a través de la cavidad con el tiempo, la presión de vapor resultante dentro de la cavidad disminuye. Representando estos datos, se puede ver que a un tiempo t de aproximadamente 22,5 minutos, la presión de vapor resultante dentro de la cavidad será igual a la vP_D de 41 Kg m^{-2} (3 Torr). Para determinar el tiempo t , el reloj se inicia después de que se alcanza la temperatura T_C por el gas de helio que sale del módulo de deshidratación. Las condiciones de la figura 7 se eligieron sólo para propósitos ejemplares. Se pueden simular gráficas similares para cualquier grupo de condiciones de inicio dentro de la cavidad y para cualquier variable elegida por el usuario. Por tanto, el tiempo necesario para lograr cualquier vP_D deseada se puede aproximar para cualquier grupo de condiciones sin la necesidad de medir intrusivamente la presión de vapor dentro de la cavidad. Se pueden crear gráficas apropiadas por simulaciones de ordenador programadas apropiadamente o bien representando datos experimentales reales.

De manera alternativa, se puede elegir R para que sea un caudal másico. Los caudales másicos se intercambian fácilmente con caudales volumétricos conociendo sencillamente la densidad del flujo de gas. El caudal másico de gas es igual al caudal volumétrico de ese gas multiplicado por la densidad del gas. Por ejemplo, el caudal volumétrico R elegido anteriormente, $2,21 \text{ m}^3$ (78,125 pies cúbicos) por minuto, corresponde a un caudal másico de $1,1 \text{ kg}$ (2,5 libras) por minuto, en el que la densidad del helio es aproximadamente de $0,5 \text{ kg m}^{-3}$ (0,032 libras por pie cúbico). Por tanto, las representaciones de datos similares a la figura 7 se pueden simular para caudales másicos dados.

Además, cualquier variable individual se puede calcular fijando las restantes variables. Por ejemplo, si se desea un cierto tiempo de secado t , se puede crear una gráfica que represente la presión de vapor resultante frente al caudal de gas R , en el que el tiempo t se mantiene constante y el caudal R se varía. Por tanto, la presente invención no se limita a una situación en la que cualquier variable específica se mantenga constante.

En referencia a la figura 8, se ilustra una gráfica de datos que representa el número de recambios (X) del tiempo de volumen libre (V_C) con un gas frente al vapor resultante en la cavidad, para un grupo dado de condiciones simuladas. Para generar esta gráfica de número de recambio - presión de vapor, se asumen o se eligen las siguientes condiciones: (1) una vP_D de 41 Kg m^{-2} (3 Torr) (que, de la figura 4, se refiere a una T_C de -6°C (21 grados Fahrenheit)); (2) un V_F de $8,5 \text{ m}^3$ (300 pies cúbicos); (3) una T_H de 149°C (300 grados Fahrenheit) (que se refiere a una densidad de helio p de aproximadamente $0,5 \text{ kg m}^{-3}$ (0,032 libras por pie cúbico)); (4) una presión de cavidad (P_C) de 345 kPa (50 libras por pulgada cuadrada); y (5) una presión de vapor de inicio vP_S de $1,180 \text{ Kg m}^{-2}$ (87 Torr) dentro de la cavidad. Mientras el sistema 300 se hace funcionar de forma continua para cualquier cápsula dada, el volumen total de gas (V_{tot}) que fluye

5 en el volumen libre V_F de la cavidad se incrementa. Debido a que X es igual a V_{tot} dividido por V_F , X también se incrementa mientras el flujo de gas de helio continúa. De la figura 8 se puede ver que mientras X se incrementa, la presión de vapor resultante disminuye a lo largo de la línea de representación de presión de vapor. A partir de esta línea de representación de datos, se puede determinar el X al que la presión de vapor resultante dentro de la cavidad será igual a o menor que la presión de vapor deseada vP_D de 41 Kg m^{-2} (3 Torr).

10 Volviendo a la figura 9, se puede ver que cuando fluye suficiente volumen de gas de helio seco calentado a través de la cavidad como para que resulte un X igual a o mayor de 5,86, se logra la presión de vapor deseada (vP_D) de 41 Kg m^{-2} (3 Torr) dentro de la cavidad. Por tanto, programando el sistema 300 para lograr un X igual a 5,86 o mayor, se puede asegurar que se logra la presión de vapor deseada vP_D de 41 Kg m^{-2} (3 Torr) en la cavidad sin la necesidad de medir intrusivamente el interior de la cavidad. Las condiciones de las figuras 8 y 9 se eligieron sólo para propósitos ejemplares. Se pueden simular gráficas similares (o representar usando datos experimentales reales) para cualquier grupo dado de condiciones de inicio dentro de la cavidad y para cualquier variable deseada o elegida por el usuario, sin apartarse del espíritu de la invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento de secado de una cavidad cargada con elementos radioactivos y que contiene cantidades traza de agua líquida y de vapor de agua hasta una presión de vapor deseada de agua (vP_D), teniendo la cavidad cargada un volumen libre (V_F), una presión de vapor de inicio de agua (vP_S), y una presión de cavidad (P_C), comprendiendo el procedimiento: determinar un grado deseado de sequedad en la cavidad en términos de una presión de vapor deseada de agua (vP_D); **caracterizado porque** el procedimiento comprende además las siguientes etapas:
 - i) enfriar un gas no reactivo hasta una temperatura (T_C) secando de este modo el gas no reactivo de modo que tenga una presión de vapor de agua igual a o menor que la presión de vapor deseada de agua (vP_D);
 - 10 ii) introducir el gas no reactivo seco de forma continua en la cavidad a un caudal (R) durante un periodo de tiempo (t) o bien como para que el volumen libre V_F de la cavidad se recambie X veces;

y

 - 15 iii) retirar el gas no reactivo húmedo de forma continua de la cavidad;

en el que T_C y R se controlan para lograr la presión de vapor deseada (vP_D) en la cavidad después del tiempo t o bien T_C y X se controlan para lograr la presión de vapor deseada vP_D en la cavidad.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además calentar el gas no reactivo seco hasta una temperatura (T_H) después de la etapa de enfriamiento y antes de la etapa de introducción, en el que T_H se controla para lograr la presión de vapor deseada vP_D .
- 20 3. El procedimiento de la reivindicación 1 o reivindicación 2, en el que la etapa de enfriamiento comprende hacer fluir el gas no reactivo a través de un condensador y después hacer fluir el gas no reactivo a través de un módulo de deshidratación que seque por congelación el gas no reactivo, en el que el módulo de deshidratación está adaptado para hacer salir el gas no reactivo a una temperatura T_C .
- 25 4. El procedimiento reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además recircular el gas no reactivo húmedo de la cavidad sometiendo el gas no reactivo húmedo retirado a la etapa de enfriamiento.
- 30 5. El procedimiento reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además: cesar la introducción del gas no reactivo seco en la cavidad después de que haya pasado el tiempo t o bien después de que se haya recambiado el volumen libre V_F de la cavidad X veces; y sellar la cavidad formando de este modo una atmósfera de gas no reactivo seco dentro de la cavidad, teniendo la cavidad una presión de vapor de o inferior a vP_D .
- 35 6. Un sistema de secado de una cavidad cargada con elementos radioactivos y que contiene cantidades traza de agua líquida y de vapor de agua hasta una presión de vapor deseada de agua (vP_D), teniendo la cavidad cargada un volumen libre (V_F), una presión de vapor de inicio de agua (vP_S), y una presión de cavidad (P_C), comprendiendo el sistema: una fuente de gas no reactivo adaptado para suministrar un gas no reactivo al sistema; **caracterizado porque** el sistema comprende además:

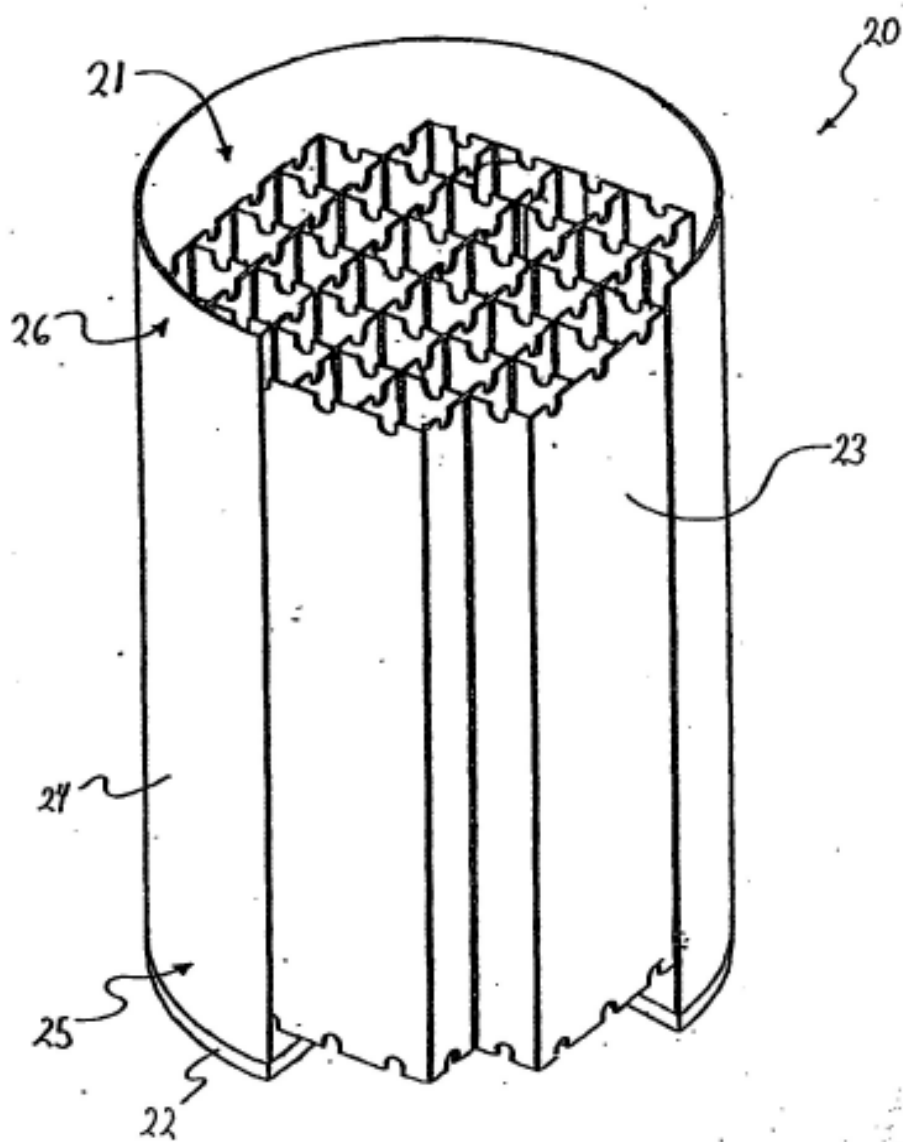
un medio para enfriar un gas no reactivo hasta una temperatura (T_C) secando de este modo el gas no reactivo de modo que tenga una presión de vapor de agua igual a o menor que la presión de vapor deseada de agua (vP_D);

un medio para hacer fluir el gas no reactivo seco de forma continua en la cavidad, el medio de flujo adaptado para introducir el gas no reactivo seco a la cavidad a un caudal R durante un periodo de tiempo (t); un medio para retirar el gas no reactivo húmedo de forma continua de la cavidad;

en el que la fuente de gas no reactivo, el medio de enfriamiento, el medio de flujo, el medio de retirada y la cavidad están acoplados de forma fluida; en el que T_C y R se controlan para lograr una presión de vapor deseada (vP_D) en la cavidad en el tiempo t .
- 40 7. El sistema de la reivindicación 6, que comprende además un medio para calentar el gas no reactivo seco hasta una temperatura (T_H), el medio de calentamiento acoplado de forma fluida al sistema corriente abajo del medio de enfriamiento y corriente arriba de la cavidad, en el que T_H se controla para lograr la presión de vapor deseada vP_D .
8. El sistema de la reivindicación 6 o reivindicación 7, en el que el medio para calentar el gas no reactivo seco es un calentador auxiliar.
- 50 9. El sistema reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el medio de flujo es una bomba de circulación de gas.

10. El sistema reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que el medio de enfriamiento comprende un módulo de condensador acoplado de forma fluida corriente arriba a un módulo de deshidratación, el módulo de deshidratación adaptado para secar por congelación el gas no reactivo de modo que el gas no reactivo que sale del módulo de deshidratación está a una temperatura T_C .
- 5 11. El sistema reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, en el que el sistema está adaptado para recircular el gas no reactivo húmedo que se retira de la cavidad a través del sistema.
- 10 12. El sistema reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, en el que la cavidad tiene una parte superior y un fondo, en el que el sistema está adaptado para suministrar el gas no reactivo a la cavidad en o cerca del fondo de la cavidad y además adaptado para retirar el gas no reactivo húmedo de la cavidad de o cerca de la parte superior de la cavidad.
13. El procedimiento reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 o el sistema reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 12, en el que el gas no reactivo es nitrógeno, dióxido de carbono, gases de hidrocarburos ligeros, o un gas inerte seleccionado del grupo que consiste en helio, argón, criptón y xenón.
- 15 14. El procedimiento reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 o el sistema reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 12, en el que la presión de vapor deseada vP_D en la cavidad es de o inferior a 41 Kg m^{-2} (3 Torr).
15. El procedimiento reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 o el sistema reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 12, en el que la temperatura T_C está a o es inferior a -6°C (veintiún grados Fahrenheit).
- 20 16. El procedimiento reivindicado en la reivindicación 1 o el sistema reivindicado en la reivindicación 6, en el que cuando vP_D es 41 Kg m^{-2} (3 Torr), V_F es 8.500 l (300 pies cúbicos), P_C es 3.500 g cm^{-2} (50 libras por pulgada cuadrada) y vP_S es 1183 Kg m^{-2} (87 Torr); y en el que R es un caudal volumétrico fijado a $36,9 \text{ l s}^{-1}$ (78,125 pies cúbicos por minuto), T_H está fijada a 149°C (300 grados Fahrenheit), y T_C está fijada a o es inferior a -6°C (21 grados Fahrenheit); tiempo t es de 22,5 minutos.
- 25 17. El procedimiento reivindicado en la reivindicación 2 o el sistema reivindicado en la reivindicación 7, en el que el gas no reactivo es helio y cuando vP_D es 41 Kg m^{-2} (3 Torr), V_F es 8500 l (300 pies cúbicos), P_C es 3500 g cm^{-2} (50 libras por pulgada cuadrada) y vP_S es 1183 Kg m^{-2} (87 Torr); y en el que R es un caudal másico fijado a 1,134 kg (2,5 libras) por minuto, T_H está fijada a 149°C (300 grados Fahrenheit), y T_C está fijada a o es inferior a -6°C (21 grados Fahrenheit); tiempo t es de 22,5 minutos.

Figura 1



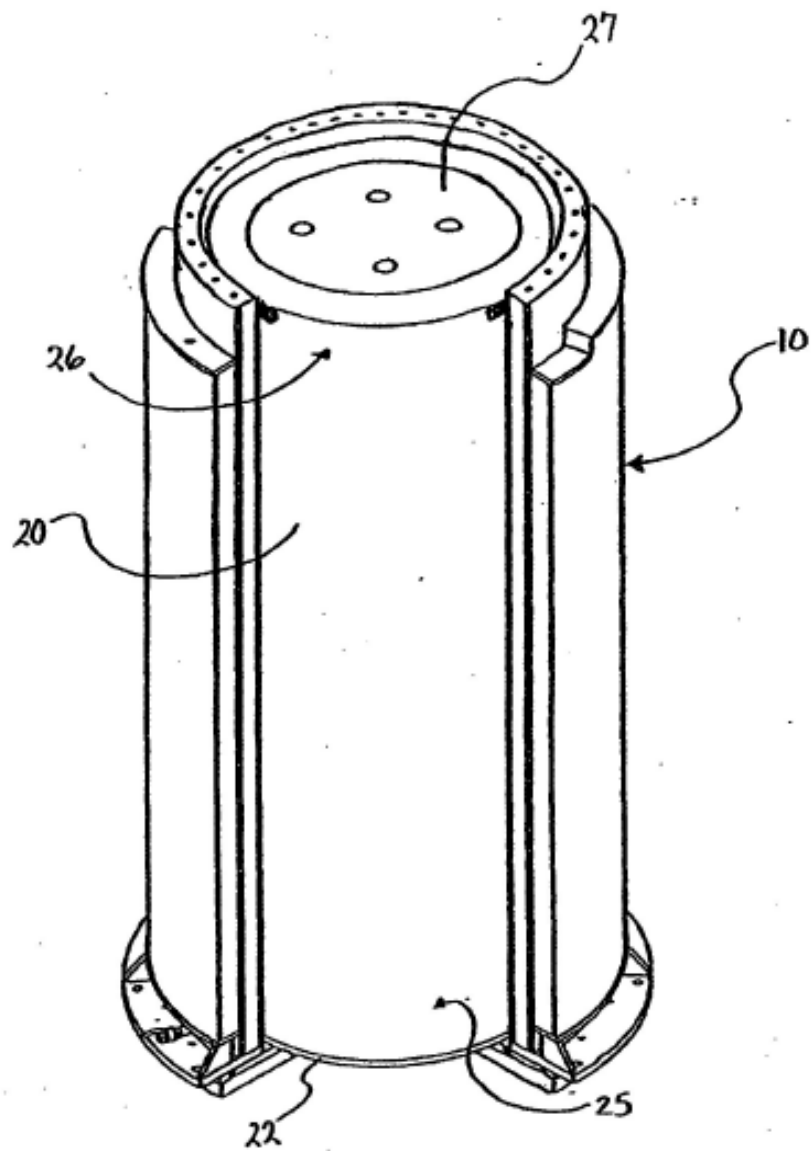
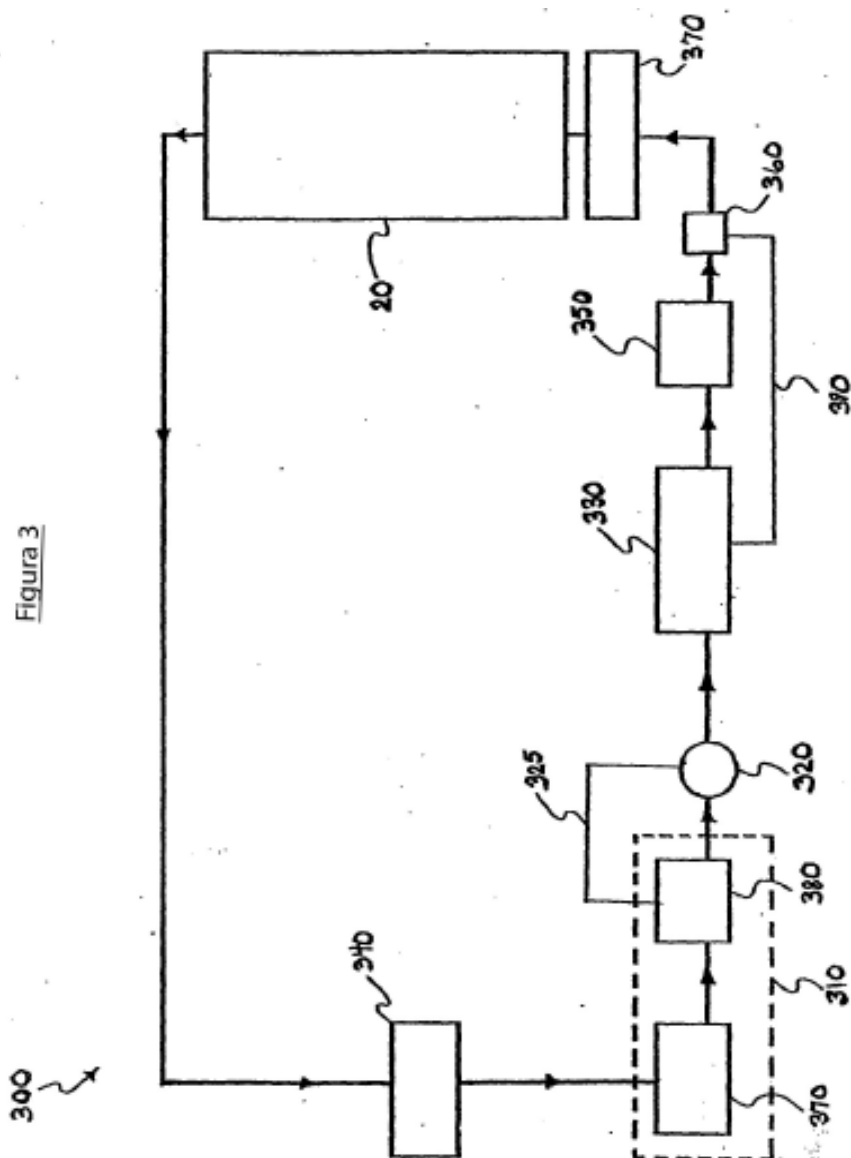


Figura 2



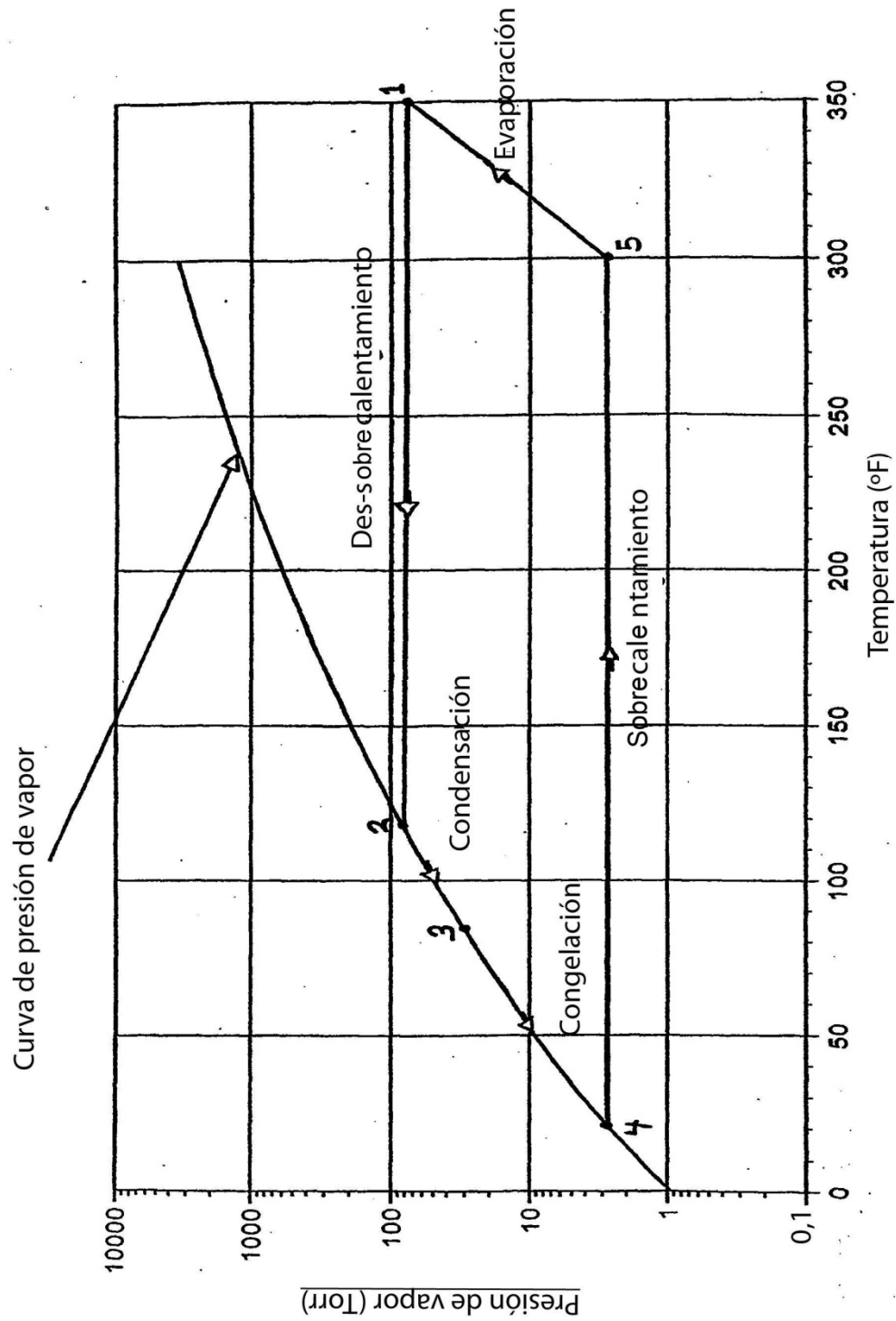


Figura 4: Ciclo termodinámico de secado de helio forzado

Figura 5

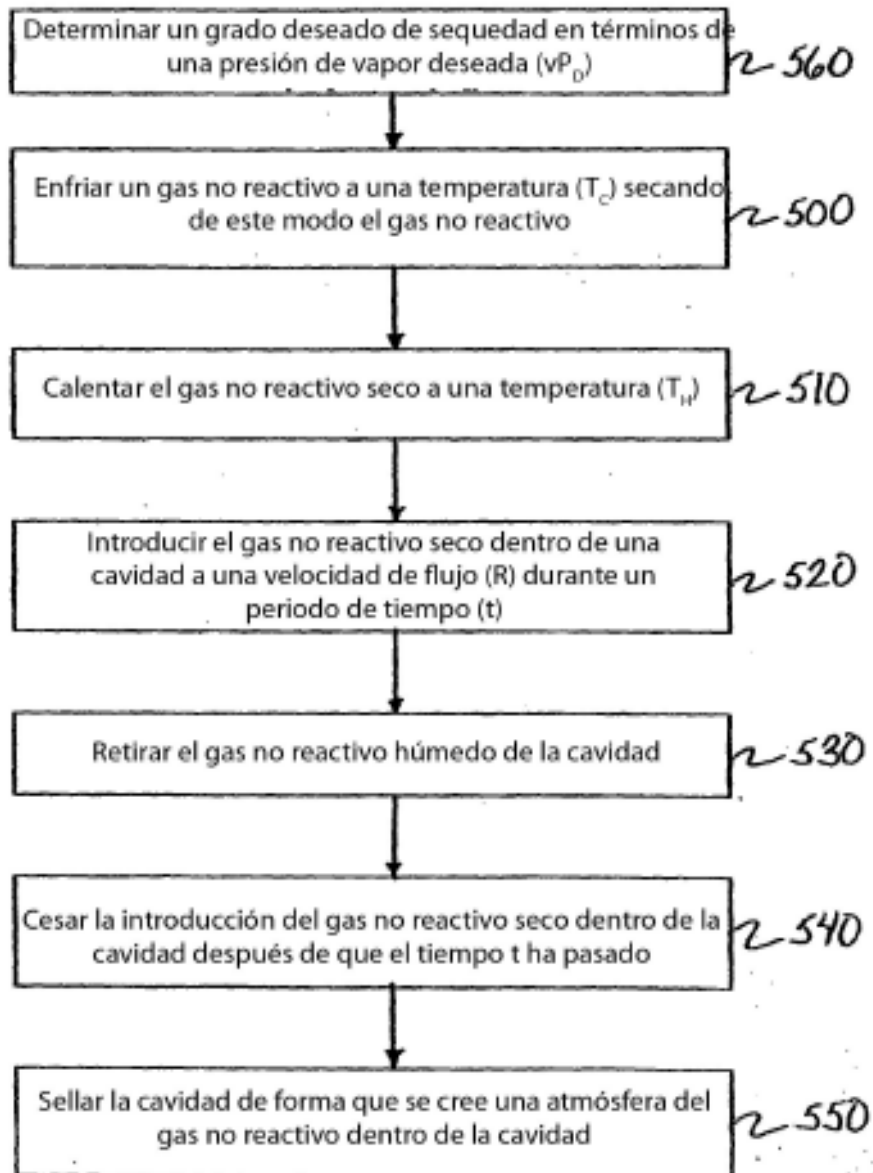
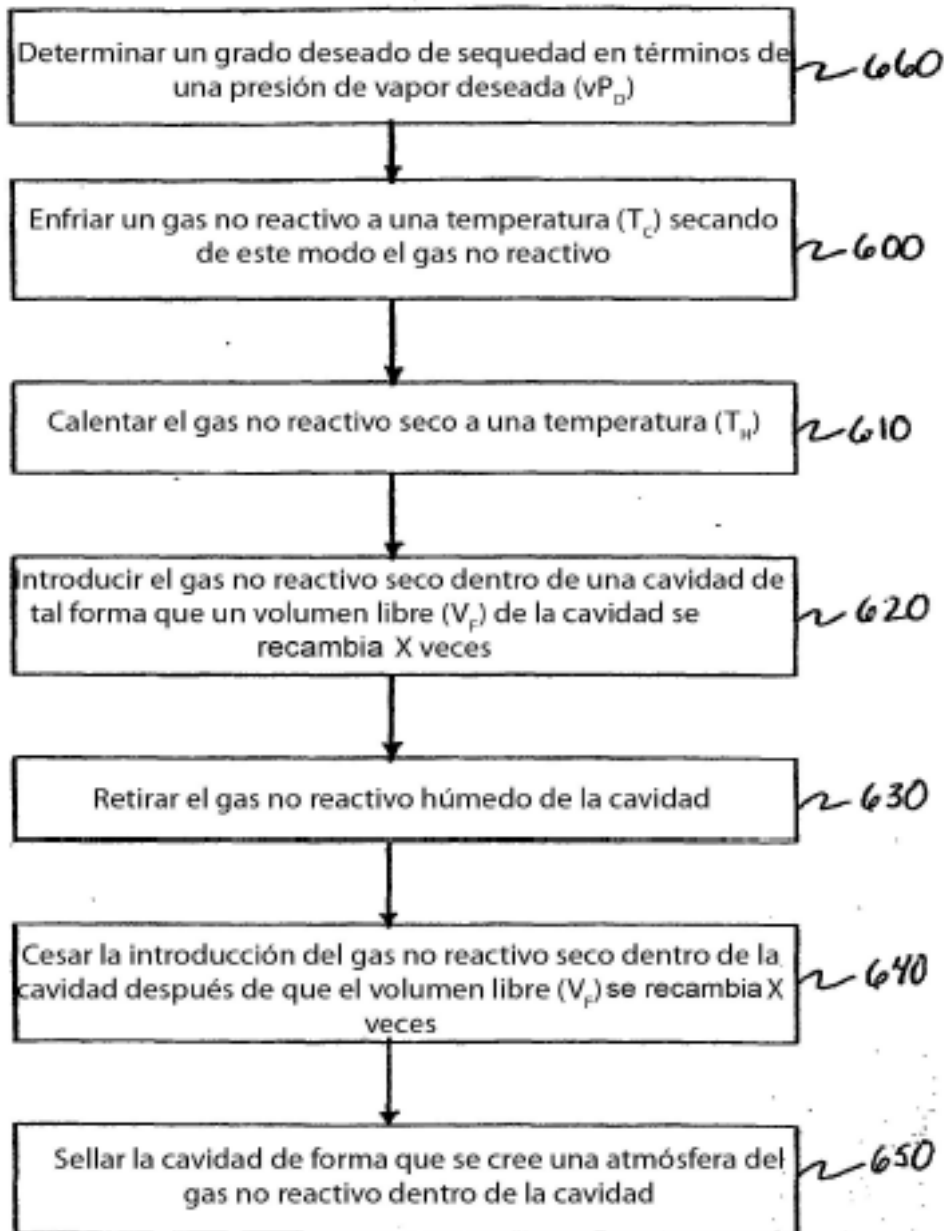


Figura 6



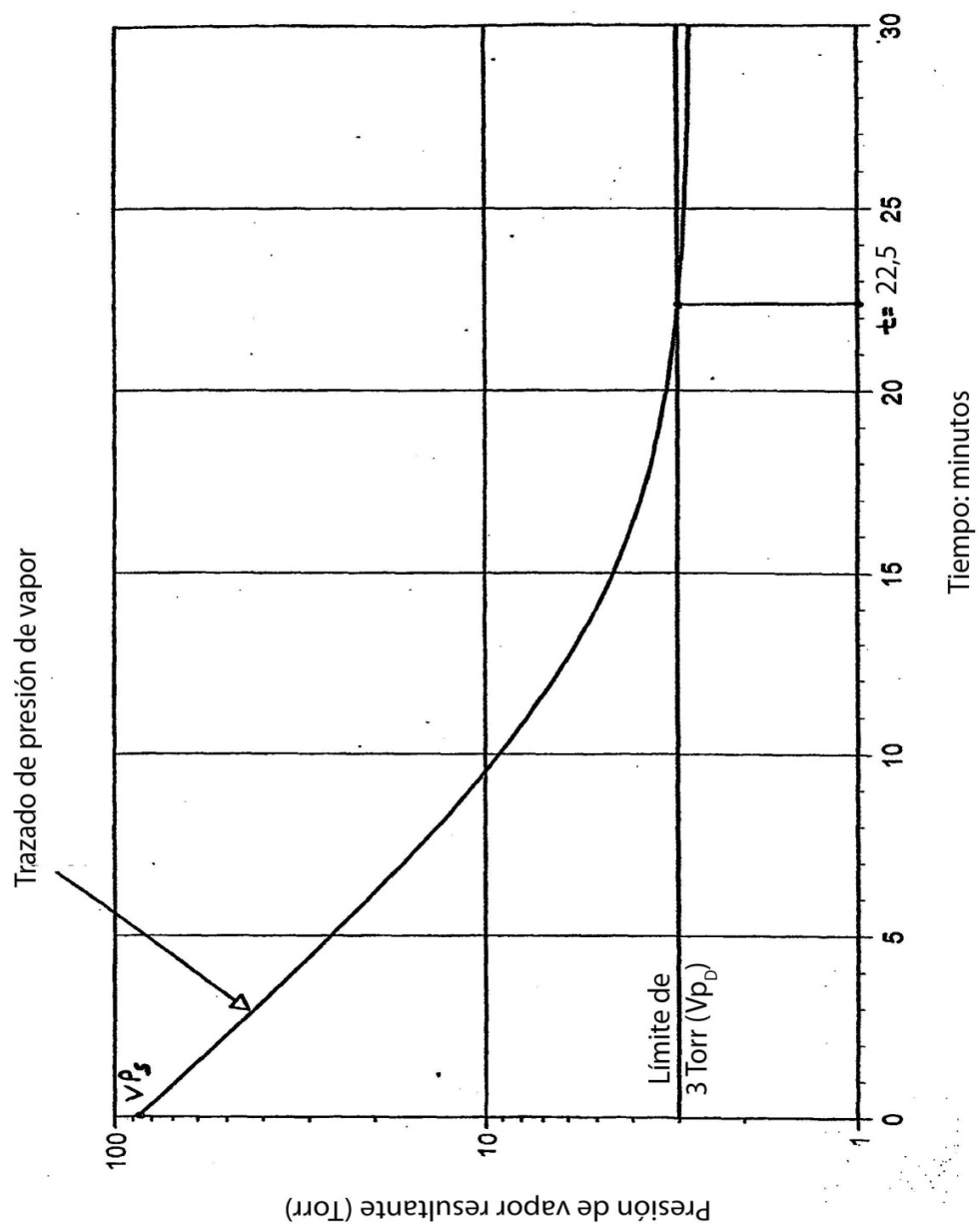


Figura 7: Gráfico de atenuación de presión de vapor de gas en lata

Figura 8: Atenuación de la presión de vapor de cápsula en base al volteo del volumen libre de la cavidad

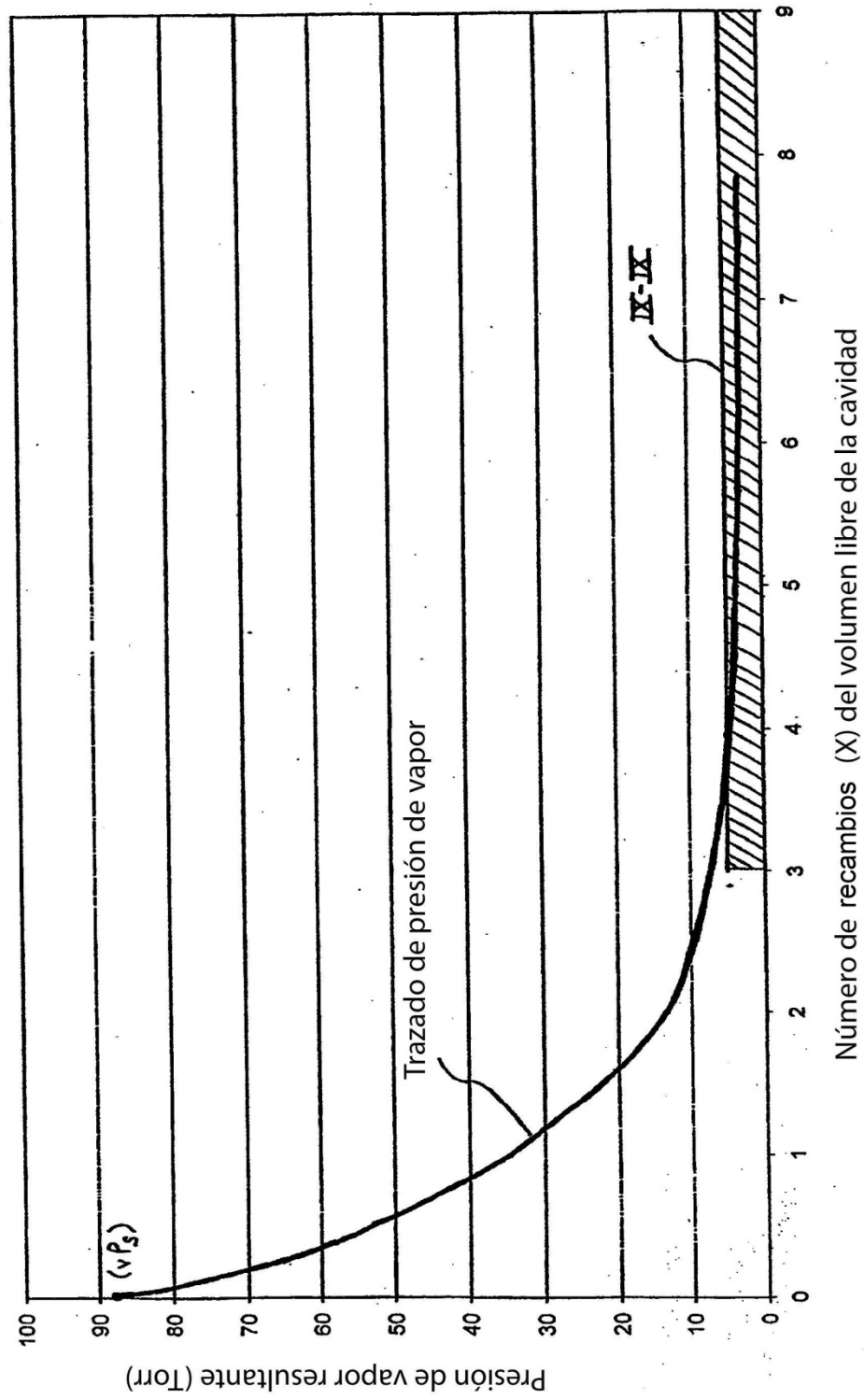


Figura 9: Vista ampliada del área IX-XI de la figura 8

