

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 673 615**

51 Int. Cl.:

G21F 5/008 (2006.01)
F26B 3/00 (2006.01)
F26B 5/04 (2006.01)
F26B 5/12 (2006.01)
F26B 21/08 (2006.01)
G21F 5/06 (2006.01)
F26B 21/14 (2006.01)
G21C 19/32 (2006.01)
G21F 9/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.12.2008** **PCT/US2008/088075**
87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2009** **WO09120246**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2008** **E 08873562 (6)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.04.2018** **EP 2227665**

54 Título: **Método para preparar un recipiente cargado de elementos radiactivos húmedos para el almacenamiento en seco**

30 Prioridad:

21.12.2007 US 16151 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.06.2018

73 Titular/es:

HOLTEC INTERNATIONAL, INC. (100.0%)
Holtec Technology Campus Corporate
Engineering Office One Holtec Boulevard
Camden, NJ 08104, US

72 Inventor/es:

SINGH, KRISHNA P. y
GRIFFITHS, JOHN D.

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 673 615 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

Método para preparar un recipiente cargado de elementos radiactivos húmedos para el almacenamiento en seco

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a sistemas y métodos para preparar un recipiente cargado de elementos radiactivos húmedos, tales como un contenedor multiusos o un cofre térmicamente conductor, para el almacenamiento en seco, y específicamente a un sistema de ciclo cerrado y a un método para secar un contenedor multiusos para el almacenamiento en seco utilizando un flujo de gas forzado.

Antecedentes de la invención

En la operación de reactores nucleares, los tubos huecos de zircaloy llenos de uranio enriquecido, conocidos como conjuntos de combustible, se queman dentro del núcleo del reactor nuclear. Es habitual extraer estos conjuntos de combustible del reactor después de que su energía haya disminuido hasta un nivel predeterminado. Tras la disminución y la posterior extracción, este combustible nuclear gastado ("SNF", por sus siglas en inglés, spent nuclear fuel) sigue siendo altamente radiactivo y produce un calor considerable, lo que exige que se tenga mucho cuidado en su posterior envasado, 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.

En el vaciado de combustible de un reactor nuclear, un lugar común para extraer el SNF del reactor y colocar el SNF bajo el agua, es el que generalmente se conoce como piscina o estanque de almacenamiento de combustible gastado. El agua de la piscina facilita el enfriamiento del SNF y proporciona un blindaje contra la radiación adecuado. El SNF se almacena en la piscina durante un período de tiempo lo suficientemente largo como para permitir la disminución del calor y de la radiación a un nivel lo suficientemente bajo como para permitir que el SNF se transporte con seguridad. Sin embargo, debido a la seguridad, al espacio y a las preocupaciones económicas, usar únicamente la piscina no es satisfactorio cuando el SNF necesita almacenarse durante un período de tiempo considerable. Por lo tanto, cuando se requiere un almacenamiento del SNF a largo plazo, una práctica común en la industria nuclear es 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 encerrada dentro de una estructura que proporciona un blindaje contra la radiación adecuado. Una estructura típica que se utiliza para almacenar SNF durante largos períodos de tiempo en estado seco es un cofre de almacenamiento.

Los cofres de almacenamiento tienen una cavidad adaptada para recibir un contenedor de SNF y están diseñados para ser estructuras grandes y pesadas hechas de acero, plomo, hormigón y un material hidrogenado ambientalmente adecuado. Sin embargo, debido a que el enfoque en el diseño de un cofre de almacenamiento es proporcionar un blindaje contra la radiación adecuado para el almacenamiento a largo plazo del SNF, el tamaño y el peso (si se consideran) a menudo son consideraciones secundarias. Como resultado, el peso y el tamaño de los cofres de almacenamiento a menudo causan problemas asociados con el levantamiento y la manipulación. Por lo general, los cofres de almacenamiento pesan más de 100 toneladas y tienen una altura superior a 15 pies. Un problema común asociado con los cofres de almacenamiento es que son demasiado pesados para ser levantados por la mayoría de las grúas de las plantas de energía nuclear. Otro problema común es que los cofres de almacenamiento generalmente son demasiado grandes para colocarlos en las piscinas de combustible gastado. Por lo tanto, para almacenar SNF en un cofre de almacenamiento después de que se enfríe en la piscina, el SNF se transfiere a un cofre, se extrae de la piscina, se coloca en un área de almacenamiento, se deshidrata, se seca y se transporta a una instalación de almacenamiento. Se necesita un blindaje contra la radiación adecuado en todos los pasos de este procedimiento de transferencia.

Como resultado de la necesidad del SNF de extraerse de la piscina de combustible gastado y del transporte adicional a un cofre de almacenamiento, normalmente se sumerge un contenedor abierto en la piscina de combustible gastado. Las barras de SNF se colocan directamente en el contenedor abierto mientras se sumerge en el agua. Sin embargo, incluso después del sellado, el contenedor por sí solo no proporciona una contención adecuada de la radiación del SNF. Un contenedor cargado no puede extraerse ni transportarse de la piscina de combustible gastado sin blindaje adicional contra la radiación. Por lo tanto, es necesario un aparato que proporcione blindaje adicional contra la radiación durante el transporte del SNF. Este blindaje adicional contra la radiación se logra colocando los contenedores cargados de SNF en grandes recipientes cilíndricos llamados cofres de transferencia mientras todavía están dentro de la piscina. De forma similar a los cofres de almacenamiento, los cofres de transferencia tienen una cavidad adaptada para recibir el contenedor de SNF y están diseñados para proteger el entorno de la radiación emitida por el SNF en su interior.

En instalaciones que utilizan cofres de transferencia para transportar contenedores cargados, primero se coloca un contenedor vacío en la cavidad de un cofre de transferencia abierto. El contenedor y el cofre de transferencia se sumergen en la piscina de combustible gastado. Antes de almacenar el cofre, el SNF se extrae del reactor y se coloca en estanterías de almacenamiento húmedo dispuestas en el fondo de las piscinas de combustible gastado.

Para el almacenamiento en seco, el SNF se transfiere en el contenedor sumergido que está inundado de agua y dentro del cofre de transferencia. A continuación, se ajusta la tapa del contenedor cargado, encerrando el SNF y el agua de la piscina en su interior. Posteriormente, el contenedor cargado y el cofre de transferencia se extraen de la piscina mediante una grúa y se depositan en un área de almacenamiento para preparar el contenedor cargado de SNF para su almacenamiento en seco a largo plazo. Para que un contenedor cargado de SNF se prepare adecuadamente para el almacenamiento en seco, la Comisión de Reglamentación Nuclear de Estados Unidos ("NRC", por sus siglas en inglés, United States Nuclear Regulatory Commission) exige que el SNF y el interior del contenedor se sequen adecuadamente antes de sellar el contenedor y de transferirlo al cofre de almacenamiento. Específicamente, las regulaciones de la N.R.C. exigen que la presión de vapor ("vP") dentro del contenedor sea inferior a 3 Torr (1 Torr=1 mm Hg) antes de que el contenedor se rellene con un material inerte y se selle. La presión de vapor es la presión del vapor sobre un líquido en equilibrio, en la que el equilibrio se define como la condición en la que un número igual de moléculas se transforman de la fase líquida a la fase gaseosa ya que hay moléculas que se transforman de fase gaseosa a fase líquida. La exigencia de una vP baja de 3 Torr o menos garantiza que exista una cantidad de humedad suficientemente baja en el interior del contenedor y en el SNF, de modo que el SNF esté suficientemente seco para el almacenamiento a largo plazo.

Actualmente, las instalaciones nucleares cumplen con el requisito de una vP de 3 Torr o menos de la N.R.C. al realizar un proceso de secado al vacío. Al realizar este proceso, el agua a granel que está dentro del contenedor primero se vacía del contenedor. Una vez que se vacía la mayor parte del agua líquida, se acopla un sistema de vacío al contenedor y se activa para crear una condición de presión subatmosférica dentro del contenedor. La condición subatmosférica dentro del contenedor facilita la evaporación del agua líquida restante al tiempo que el vacío ayuda a eliminar el vapor de agua. La vP dentro del contenedor se mide colocando instrumentos de medición apropiados, tales como medidores de vacío, en el contenedor y tomando medidas directas de los contenidos gaseosos presentes en el mismo. Si es necesario, este procedimiento de vacío se repite hasta que se obtenga una vP de 3 Torr o menos. Una vez que se alcanza una vP aceptable, el contenedor se rellena con un gas inerte y se sella. El cofre de transferencia (con el contenedor dentro) se transporta entonces a una posición por encima de un cofre de almacenamiento y el contenedor cargado de SNF se baja al almacenamiento bajo para un almacenamiento a largo plazo.

Los métodos actuales para satisfacer el requisito de una vP de 3 Torr o menos de la N.R.C. son potencialmente peligrosos, requieren mucho tiempo, son propensos a errores, someten las barras de SNF a altas temperaturas y son costosos. En primer lugar, la naturaleza intrusiva de la medición directa de la vP es peligrosa porque el contenedor contiene un SNF altamente radiactivo. Cada vez que el contenedor debe abrirse físicamente, existe el peligro de exponer el entorno y el personal de trabajo a la radiación. Además, la creación prolongada de condiciones subatmosféricas en el contenedor puede causar problemas complicados en el equipo. Finalmente, las duraciones operativas para el secado al vacío son inaceptablemente largas ya que son bastante comunes los tiempos de secado al vacío del orden de días. La operación de vacío es propensa a la congelación de la línea y a la formación de hielo dentro del contenedor lo que puede dar lecturas falsas a los instrumentos. La disminución de la presión del contenedor causa una pérdida progresiva del medio de transferencia de calor (el gas que llena los huecos y los espacios abiertos en los contenedores) dando lugar a una elevación sustancial de la temperatura de las barras de SNF que producen calor.

Una de las principales desventajas de los sistemas y métodos de secado al vacío existentes es que la vaina del SNF se calienta a temperaturas inaceptables que pueden comprometer la integridad de la vaina del combustible. Para que el agua líquida se elimine del contenedor de SNF usando el proceso de secado al vacío existente, el contenedor debe mantenerse a un nivel de vacío bajo durante un período prolongado mientras el agua líquida se evapora. El período de tiempo prolongado cuando el combustible está rodeado por un vacío cercano impide la eliminación del calor residual del propio combustible.

Recientemente, el cesionario de la presente solicitud, Holtec International, Inc., ha desarrollado métodos, aparatos y sistemas nuevos y mejorados para preparar contenedores de combustible nuclear gastado para el almacenamiento en seco utilizando deshidratación por gas forzado ("FGD", por sus siglas en inglés, forced gas dehydration). Estas invenciones se describen y se divulgan completamente en la patente de Estados Unidos 7.210.247, emitida el 1 de mayo de 2007, Krishna Singh y en la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos 2006/0272175A1, publicada el 7 de diciembre de 2006, Krishna Singh.

Se ha descubierto que los métodos, aparatos y sistemas de secado FGD divulgados en la patente de Estados Unidos 7.210.247 y en la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos 2006/0272175A1 pueden mejorarse y/o simplificarse de una manera novedosa y no obvia. Haciendo referencia a la figura 3, las tecnologías FGD divulgadas en las referencias mencionadas anteriormente consisten en un módulo condensador refrigerado por aire o líquido, un módulo de secado por congelación, un módulo circulador y un módulo precalentador para hacer circular continuamente un gas inerte a través de un contenedor de combustible nuclear gastado ("SNF") para eliminar la humedad del líquido y para deshumidificar el gas que finalmente se sella dentro del contenedor para su transporte y almacenamiento. Estos sistemas funcionan para eliminar primero la humedad del líquido en el contenedor y después para deshumidificar la corriente de gas circulante antes de sellar el contenedor de SNF. El sistema FGD usa un sistema de refrigerante a baja temperatura e intercambiador de calor para enfriar la corriente de gas circulante hasta

el punto en que el vapor de agua se congela en la superficie del intercambiador de calor. La congelación del vapor de agua sobre la superficie del intercambiador actúa para deshumidificar la corriente de gas circulante. Se propone que la siguiente modificación pueda utilizarse como alternativa al módulo de secado por congelación.

5 Sumario de la invención

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un método y un sistema para secar un contenedor cargado de un residuo radiactivo de alta actividad ("HLW", por sus siglas en inglés, high level radioactive waste), tal como el SNF.

10 Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un método y un sistema utilizados en el método para secar un contenedor cargado de HLW sin acceder físicamente al contenido del contenedor para asegurar que se haya alcanzado un nivel de sequedad aceptable dentro del contenedor.

15 Otro objetivo más de la presente invención es proporcionar un método y un sistema utilizados en el método para secar un contenedor cargado de HLW sin someter el interior del contenedor a condiciones subatmosféricas prolongadas.

20 Un objetivo adicional de la presente invención es proporcionar un método y un sistema utilizados en el método para preparar un contenedor cargado de SNF para el almacenamiento en seco que es fácil de implementar y/o eficiente en términos de tiempo.

25 Un objetivo adicional más de la presente invención es proporcionar un método y un sistema utilizados en el método para preparar un contenedor cargado de HLW para el almacenamiento en seco de una manera más económica y segura.

En un aspecto, la invención es un método como se define en la reivindicación 1.

30 En otro aspecto, la invención puede ser un sistema utilizado en el método para preparar un contenedor que tiene una cavidad cargada con elementos radiactivos para el almacenamiento en seco, comprendiendo el aparato: un sistema de circulación de gas que comprende una fuente de un módulo condensador, un módulo desecante, un módulo circulador de gas; el sistema de circulación de gas adaptado para formar una trayectoria de ciclo cerrado herméticamente sellada cuando está conectado de forma operativa a la cavidad del contenedor que se va a preparar para el almacenamiento en seco; y medios para añadir y eliminar el módulo desecante como parte de la trayectoria de ciclo cerrado herméticamente sellada.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema FGD de la técnica anterior.

40 La figura 2 es una vista en perspectiva de una realización de un contenedor multiusos ("MPC", por sus siglas en inglés, multi-purpose canister) de la técnica anterior que puede utilizarse junto con la presente invención, que se muestra parcialmente en sección y vacío.

La figura 3 es una vista en perspectiva de un cofre de transferencia de la técnica anterior parcialmente en sección con el MPC de la figura 2 sellado y colocado en el cofre de transferencia.

45 La figura 4 es un diagrama esquemático de un sistema FGD de acuerdo con una realización de la presente invención que utiliza un módulo desecante para deshumidificar la corriente de gas circulante.

La figura 5 es un diagrama esquemático de un sistema FGD que no es parte de la presente invención que utiliza un módulo de vacío para deshumidificar el MPC.

50 Descripción detallada de los dibujos

La presente invención es una mejora con respecto a los métodos, aparatos y sistemas de secado divulgados en la patente de Estados Unidos 7.210.247 y en la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos 2006/0272175A1. Se proponen las siguientes mejoras para los sistemas de secado FGD para uso en contenedores de secado diseñados para el almacenamiento en seco de residuos radiactivos de alta actividad, tales como los MPC cargados con SNF.

60 La figura 1 ilustra un contenedor **20** adecuado para su uso con la presente invención. La presente invención no está limitada a geometrías, estructuras o dimensiones específicas del contenedor y es aplicable a cualquier tipo de recipiente cerrado utilizado para transportar, almacenar o contener elementos radiactivos.

65 El contenedor **20** comprende una placa inferior **22** y una pared cilíndrica **24** que forma una cavidad **21**. Como se usa en el presente documento, al extremo **25** del contenedor **20** que está más cerca de la placa inferior **22** se le denominará parte inferior del contenedor **20** mientras que al extremo **26** del contenedor **20** que está más alejado de la placa inferior **22** se le denominará parte superior del contenedor **20**. La cavidad **21** tiene una rejilla alveolar **23** situada en la misma. La rejilla alveolar **23** comprende una pluralidad de cajas rectangulares adaptadas

para recibir barras de combustible nuclear gastado ("SNF"). La invención no está limitada por la presencia de la rejilla alveolar.

5 El contenedor **20** comprende además un tubo de drenaje con la parte inferior abierta (no ilustrado) ubicado en o cerca de la parte inferior del contenedor **20** que proporciona un paso sellable desde el exterior del contenedor **20** al interior de la cavidad **21**. Si se desea, la abertura de drenaje puede ubicarse en la placa inferior **22** o cerca de la parte inferior de la pared del contenedor. El tubo de drenaje puede abrirse o sellarse herméticamente con tapones convencionales, válvulas de drenaje o procedimientos de soldadura.

10 Como se ilustra en la figura 2, el contenedor **20** está vacío (es decir, la cavidad **21** no tiene barras de SNF colocadas en la rejilla alveolar **23**) y la parte superior **26** del contenedor **20** está abierta. Al utilizar el contenedor **20** para transportar y almacenar barras de SNF, el contenedor **20** se coloca dentro de un cofre de transferencia **10** (figura 2) mientras el contenedor **20** está abierto y vacío. El cofre de transferencia **10** abierto, que contiene el contenedor **20** abierto, se sumerge a continuación 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 extraen del reactor nuclear se mueven debajo del agua de la piscina de combustible gastado y se colocan dentro de la cavidad **21** del contenedor **20**.

20 Preferentemente, se coloca un solo lote de barras de SNF en cada caja rectangular de la rejilla alveolar **23**. Una vez que la cavidad **21** está completamente cargada de las barras de SNF, la tapa **27** del contenedor (figura 3) se coloca encima del contenedor **20**. La tapa **27** del contenedor tiene una pluralidad de orificios de tapa **28** sellables que forman un paso hacia la cavidad **21** desde el exterior del contenedor **20**, cuando está abierto. A continuación, el cofre de transferencia **10** (que tiene el contenedor cargado **20** en su interior) se eleva de la piscina de combustible gastado mediante una grúa y se coloca verticalmente en un área de almacenamiento (como se muestra en la figura 3) para que el contenedor **20** pueda prepararse adecuadamente para el almacenamiento en seco. Esta preparación para el almacenamiento en seco incluye secar el interior del contenedor **20** y sellar la tapa **27** al mismo.

30 Haciendo referencia ahora a la figura 3 exclusivamente, cuando en el área de almacenamiento, el contenedor **20** (que contiene las barras de SNF y el agua de la piscina) está dentro del cofre de transferencia **10**. Tanto el contenedor **20** como el cofre de transferencia **10** están en posición vertical. Una vez en el área de almacenamiento, el tubo de drenaje unido a la tapa **27** del contenedor (no ilustrada) con una abertura inferior en o cerca de la parte inferior **25** del contenedor **20** se utiliza para expulsar el agua a granel que queda atrapada en la cavidad **21** del contenedor **20** utilizando un gas de purga (generalmente helio o nitrógeno). A pesar de vaciar el agua a granel de la cavidad **21**, la humedad residual permanece en la cavidad **21** y en las barras de SNF. Sin embargo, antes de que el contenedor **20** pueda sellarse permanentemente y transportarse a un cofre de almacenamiento para el almacenamiento en seco a largo plazo o para el transporte, debe asegurarse que esa cavidad **21** y las barras de SNF contenidas en la misma se sequen adecuadamente.

40 Debido a que una presión de vapor ("vP") baja dentro de un recipiente indica que hay un bajo nivel de humedad, la Comisión de Reglamentación Nuclear de Estados Unidos ("NRC") requiere cumplir con la especificación de una presión de vapor ("vP") de 3 Torr o menos dentro de la cavidad **21** de los cofres que contienen HLW.

45 La figura 4 es un esquema de una realización de un sistema FGD **300** capaz de secar la cavidad **21** a niveles de la NRC aceptables sin la necesidad de medir intrusivamente la vP resultante dentro de la cavidad **21**. Una vez que el cofre de transferencia **10**, que contiene el contenedor **20**, se coloca en el área de almacenamiento y se vacía el agua a granel de la cavidad **21**, el sistema de secado **300** se conecta a la entrada **28** y a la salida **29** del contenedor **20** para formar un sistema de ciclo cerrado. El ciclo cerrado puede incluir o no el módulo desecante **370**, dependiendo del estado de las válvulas de tres vías **421,422**. La línea de suministro de gas **325** está conectada de manera fluida a la entrada **28** del contenedor **20** mientras que la línea de escape de gas **326** está conectada de manera fluida a la salida **29** del contenedor **20**. La entrada **28** y la salida **29** del contenedor son meros orificios en el contenedor **20**. Si se desea, pueden incorporarse conexiones de puerto, sellos y/o válvulas adecuadas en la entrada y en la salida **28, 29**.

50 El sistema de secado **300** generalmente comprende un depósito de gas no reactivo **310**, un módulo circulador de gas **320**, una pluralidad de válvulas de dos vías **321-323**, una pluralidad de válvulas de tres vías **421-422**, un higrómetro de temperatura del punto de rocío **330**, un módulo de condensación **340**, un módulo precalentador **380**, un módulo desecante **370** y un sistema de control **350**, que incluye un microprocesador **351** programado adecuadamente, un medio de memoria **352** de ordenador, un temporizador **353** y una alarma **370**. Aunque la realización ilustrada del sistema de secado **300** está automatizada a través del sistema de control **350**, ni el método ni el sistema de la presente invención son tan limitados. Si se desea, las funciones llevadas a cabo por el sistema de control **350** puede llevarse a cabo de forma manual y/u omitirse en algunos casos.

65 El depósito de helio **320**, el módulo precalentador **380**, el módulo circulador de gas **320**, el contenedor **20**, el higrómetro **330**, el módulo de condensación **340** y el módulo desecante **370** están conectados de manera fluida de forma que un gas no reactivo, como el helio, puede fluir a través del sistema de secado **300** sin escapar al entorno externo. Todas las líneas de gas que conectan el componente mencionado anteriormente pueden estar formadas por tubos o tuberías adecuadas. La tubería y los tubos pueden construirse con conductos flexibles o no flexibles. Los

conductos pueden formarse de cualquier material adecuado, tal como metales, aleaciones, plásticos, caucho, etc. Todas las conexiones herméticas pueden formarse mediante el uso de conexiones roscadas, sellos, abrazaderas anulares y/o juntas.

- 5 El depósito de gas helio **310** se utiliza para almacenar gas helio presurizado y para suministrar gas helio al ciclo para su circulación abriendo la válvula **323**. Aunque que el gas helio es el gas no reactivo preferido para utilizar en la presente invención, puede utilizarse cualquier gas no reactivo junto con el sistema **300** y el funcionamiento 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, incluyendo, pero sin limitarse a, gases nobles (helio, argón, neón, radón, criptón y xenón).

15 Cuando la válvula **323** se abre, el depósito de helio llena el ciclo cerrado con helio. El circulador de gas **320** está operativamente acoplado a la línea de suministro de gas **325**. La posición del circulador de gas **320** en el ciclo puede variarse como se desee. Cuando se activa, el circulador de gas **320**, que puede ser un soplador, fuerza el gas helio a través del ciclo cerrado (que incluye el contenedor **20**) al caudal deseado. Aunque se ilustra un único circulador de gas **320** como incorporado en el sistema de secado **300**, la invención no está tan limitada y puede utilizarse cualquier cantidad de circuladores o bombas. El número exacto de bombas se determinará caso por caso, teniendo en cuenta factores tales como los requisitos de caudal, caídas de presión en el sistema, tamaño del sistema y/o número 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.

25 Las válvulas **321**, **322** están acopladas operativamente a la línea de suministro de gas **325** y a la línea de escape de gas **326** respectivamente. Las válvulas **321**, **322** se utilizan para controlar el flujo a la cavidad **21** del contenedor **20**. Específicamente, las válvulas **321**, **322** pueden utilizarse para aislar el contenedor **20** del resto del bucle cuando se desee, tal como durante la conexión y la desconexión. Todas las válvulas utilizadas en el presente documento pueden ser válvulas de caudal ajustable o válvulas simples de encendido/apagado. En otras realizaciones de la invención, pueden utilizarse controladores del caudal másico. Al igual que con los circuladores, puede incorporarse cualquier número de válvulas en todo el sistema **300** como se desee. Solamente se han ilustrado las válvulas consideradas importantes para los principios de la presente invención. Además, la invención no está limitada por ninguna colocación específica de la(s) válvula(s) o bomba(s) a lo largo del circuito de flujo de ciclo cerrado, siempre que puedan llevarse a cabo los métodos reivindicados.

35 El higrómetro de temperatura del punto de rocío **330** está acoplado operativamente a la línea de escape de gas **326** de manera que puede medirse la temperatura del punto de rocío del gas helio que sale de la cavidad del contenedor **20**. Los medios adecuados para la medición de la temperatura del punto de rocío incluyen dispositivos de detección directa de la humedad, tales como higrómetros, y otros medios, tales como cromatografía de gases o espectroscopía de masas. En algunas realizaciones, el higrómetro **330** preferentemente incluye una señal digital. El higrómetro de temperatura del punto de rocío **330** mide repetidamente la temperatura del punto de rocío del gas helio que sale de la cavidad **21**. No existe un requisito en cuanto a la tasa de muestreo para mediciones repetitivas. Por ejemplo, el higrómetro de temperatura del punto de rocío **330** puede medir la temperatura del 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 de naturaleza continua (es decir, en tiempo real). Los intervalos de tiempo se determinarán en base al diseño caso por caso, teniendo en cuenta factores tales como los requisitos de funcionalidad del sistema y el caudal del gas helio.

45 La entrada **342** del módulo condensador **340** está acoplada a la línea de escape de gas **326** mientras que la salida **343** está acoplada de manera fluida a la línea de recirculación **345**. El módulo condensador **340** se proporciona para deshumectar adecuadamente el gas helio húmedo que sale de la cavidad **21** del contenedor **20** durante el paso de eliminación de líquidos (Fase I) de secado del contenedor **20**. El gas helio que sale del módulo condensador **340** puede recircularse nuevamente al contenedor **20** después de pasar por el módulo precalentador **380** para que pueda absorber más humedad. El módulo condensador **340** está conectado a través del drenaje **341** a un acumulador de humedad. El acumulador de humedad puede monitorizarse para determinar cuándo se completa la Fase 1 y el sistema **300** está listo para el secado de la Fase II (el secado de la Fase II es la deshumectación de la corriente de gas circulante antes de sellar el contenedor de SNF). Al monitorizar el acumulador de humedad, se detecta el final de la Fase I al no acumularse más humedad/líquido en el depósito del acumulador de humedad, se completa el secado de la Fase I. Alternativamente, puede utilizarse el higrómetro **330** para determinar cuándo se completa la Fase 1. Cuando se utiliza el higrómetro **330**, el higrómetro **330** detecta el final de la Fase I obteniendo una medición constante del punto de rocío.

60 El módulo desecante **370** es un recipiente o recipientes a presión que contienen un material desecante de un solo uso o regenerativo. Los materiales desecantes candidatos incluyen gel de sílice, alúmina activada, tamiz molecular y materiales similares de tipo higroscópico que adsorberían o absorberían el vapor de agua de la corriente de gas. Durante el secado de la Fase 1, el módulo desecante **370** sale de la corriente de gas circulante cerrando las válvulas **421**, **422** para que la línea de entrada **371** y la línea de salida **372** del módulo desecante **370** estén selladas de la línea de recirculación **345**. Esto evita sobrecargar los materiales desecantes con agua. Después de que el agua líquida se ha extraído del contenedor **20** y se ha eliminado del gas circulante mediante el módulo

condensador **340** (es decir, se completa el secado de la Fase I), la corriente de gas circulante se encaminará a través del módulo de desecante **370** abriendo las válvulas **421**, **422** para que las líneas de entrada y salida **421**, **422** estén en comunicación fluida con la línea de recirculación **345**. El módulo desecante **370** deshumidifica la corriente de gas circulante a la densidad de masa apropiada antes de sellar el contenedor, completando el secado de la Fase II.

El módulo desecante **370** puede dimensionarse para deshumidificar uno o más contenedores de SNF antes de que el desecante deba ser eliminado o regenerado. El agua puede extraerse del desecante a través de un proceso regenerativo, que consiste en calentar el material desecante a una temperatura conocida y en pasar un gas seco como aire, nitrógeno u otro gas inerte sobre el lecho desecante. El desecante también puede secarse según sea necesario mediante calentamiento, exposición a los rayos UV u otro proceso de secado convencional y posteriormente reutilizarlo.

El sistema de secado **300** comprende además un sistema de automatización **350**. Esto es opcional El sistema de automatización **350** comprende una CPU **351**, un medio de memoria **352** de ordenador, un temporizador **353** y una alarma **370**. La CPU **351** es un controlador lógico programable basado en un microprocesador adecuado, un ordenador personal o similar. El medio de memoria **352** de ordenador puede ser un disco duro que comprende suficiente memoria para almacenar todos los códigos informáticos necesarios, los algoritmos y los datos necesarios para la operación y el funcionamiento del sistema de secado **300**, tales como tiempo predeterminado, la temperatura del punto de rocío predeterminada, caudales, y similares. El temporizador **353** es un mecanismo de temporización de ordenador digitalizado o interno convencional. La alarma **370** puede ser una sirena, una luz, un LED, un módulo de visualización, un altavoz u otro dispositivo capaz de generar estímulos sonoros y/o visuales. Aunque se ilustra y se describe una alarma **370**, puede utilizarse cualquier instrumentación, dispositivo o aparato que informe a un operario que el sistema de secado **300** ha completado un proceso de secado. Por ejemplo, una pantalla de ordenador puede indicar simplemente que el contenedor está seco a través de texto o de imágenes.

La CPU **351** incluye varios puertos de entrada/salida utilizados para proporcionar conexiones a los diversos componentes del sistema de secado **300** que necesitan controlarse y/o comunicarse. La CPU **351** está acoplada de forma operativa a estos componentes a través de cables eléctricos, líneas de fibra óptica, cables coaxiales u otras líneas de transmisión de datos. También puede utilizarse la comunicación inalámbrica. Estas conexiones están indicadas mediante las líneas de puntos de la figura 4. La CPU **351** puede comunicarse con cualquiera y con todos los diversos componentes del sistema de secado **300** a los que está conectada de forma operativa para controlar el sistema de secado **300**, tal como para: (1) activar o desactivar el circulador de gas **320**; (2) abrir, cerrar y/o ajustar las válvulas **321-323**, **421-422**; (3) activar o desactivar el módulo condensador **340** y el precalentador **380**; y (4) activar o desactivar la alarma **370**.

La CPU **351** (y/o la memoria **352**) también está programada con los algoritmos apropiados para recibir señales de datos del higrómetro de punto de rocío **330**, para analizar las señales de datos entrantes, para comparar los valores representados por las señales de datos entrantes con los valores e intervalos almacenados, y para rastrear el tiempo en el que los valores representados por las señales de datos entrantes están en o por debajo de los valores almacenados. El tipo de CPU utilizado depende de las necesidades exactas del sistema en el que está incorporado.

Ahora se describirá un método para preparar un MPC **20** cargado de SNF húmedo de acuerdo con una realización de la presente invención que se ilustra. El método se describirá en relación con el sistema de secado **300** de la figura 4 para facilitar la descripción y la comprensión. Sin embargo, el método no está limitado a ninguna estructura o sistema específico, y puede llevarse a cabo por otros sistemas y/o aparatos.

Un cofre **10** que contiene el contenedor **20** cargado de SNF se coloca en un área de almacenamiento después de extraerse de la piscina/estanque de refrigeración. Como se ha analizado anteriormente, en este momento, la cavidad **21** del contenedor **20** está llena de agua de la piscina. El agua a granel se vacía de la cavidad **21** del contenedor **20** a través de un drenaje adecuadamente situado.

A pesar de que el agua a granel se vacía de la cavidad **21** del contenedor **20**, el interior de la cavidad **21** y el SNF todavía soportan humedad y necesitan una deshumectación adicional para el almacenamiento en seco a largo plazo. Para secar más la cavidad **21** y el SNF, se utiliza el sistema de secado **300**. El contenedor **20** permanece en el cofre **10** durante la operación de secado. La línea de suministro de gas **325** está acoplada de manera fluida a la entrada **28** del contenedor **20** mientras que la línea de escape de gas **326** está acoplada de manera fluida a la salida **29** del contenedor **20**. Como resultado, se forma un circuito de fluido de ciclo cerrado en el que la cavidad **21** del contenedor **20** forma una porción del circuito de fluido cuando las válvulas **321**, **322** están abiertas. En este momento, las válvulas **421**, **422** están en una posición que sella las líneas de entrada y salida **371**, **372** de la línea **345**, eliminando así el módulo desecante **370** del circuito de fluido principal. La válvula **323** también está cerrada en este momento para evitar la liberación desperdiciada de helio.

Una vez que el sistema de secado **300** está correctamente conectado al contenedor **20**, el operario activa el sistema de secado **300**. El sistema de secado **300** puede activarse manualmente encendiendo el equipo o de forma automatizada mediante la CPU **351**. Cuando se activa de forma automatizada, un operario activará el sistema de

secado **300** introduciendo un comando de activación del sistema en un dispositivo de entrada de usuario (no ilustrado), tal como un teclado, un ordenador, un interruptor, un botón o similar, que está acoplado de forma operativa a la CPU **351**. Al recibir la señal de activación del sistema asociada desde el dispositivo de entrada de usuario, la CPU **351** envía las señales de activación apropiadas a los componentes del sistema **300**.

5 Las válvulas **321**, **322** se abren primero. Después se abre la válvula **323**, liberando así helio presurizado del depósito de helio **30** que inunda el circuito de fluido de ciclo cerrado (que incluye la línea de suministro de gas **325**, el módulo precalentador **380**, el contenedor **20**, la línea de escape de gas **326**, el módulo de condensación **340** y la línea de recirculación **345**). El módulo desecante **370** no es parte del circuito de fluido de ciclo cerrado en este momento. Sin embargo, en una realización alternativa, el módulo desecante **370** puede ser parte del circuito de fluido de ciclo cerrado en este momento para evitar una caída de presión posterior cuando se añade al circuito después del secado de la Fase I. En este escenario, el módulo desecante **370** se eliminaría del circuito después de que se haya llenado con helio y antes de continuar con la circulación de gas para el secado de la Fase I.

15 Una vez que el circuito de ciclo cerrado deseado se llena con helio, la válvula **323** se cierra. El circulador de gas **320** se activa entonces, junto con el módulo precalentador **280** y el módulo condensador **340**, haciendo circular de este modo el gas helio a través del circuito de fluido. Como resultado, comienza el secado de la Fase I. El precalentador **380** calienta el helio antes de que entre en el contenedor **20** y el módulo condensador **340** extrae la humedad del helio que sale del contenedor **20**.

20 El caudal del gas helio a través del sistema de secado **300** se controla mediante el circulador de gas **320** o mediante una válvula de caudal. En una realización de la presente invención, la CPU **351** hace fluir gas helio a través del contenedor **20** a un caudal de aproximadamente 400 lb/h. Sin embargo, la invención no es tan limitada y pueden utilizarse otros caudales. El caudal exacto que se utilizará en cualquier operación de secado particular se determinará en base al diseño caso por caso, considerando factores tales como el volumen abierto de la cavidad del contenedor, el nivel de sequedad objetivo dentro de la cavidad del contenedor, el contenido inicial de humedad dentro de la cavidad del contenedor, el contenido de humedad del gas helio mantenido dentro del depósito, el número deseado de renovaciones de volumen por hora para el contenedor, etc.

25 Al activarse, el gas helio seco fluye en la cavidad **21** húmeda del contenedor **20** a través de la entrada **28**. Al entrar a la cavidad **21**, el gas helio seco absorbe el 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 de la cavidad **21** a través de la salida **29**. Si el secado de la Fase I se está monitorizando con el higrómetro **330**, el gas helio húmedo que sale de la cavidad **21** se mide repetidamente mediante el higrómetro **330**. A medida que el higrómetro **330** mide la temperatura del punto de rocío del gas helio mojado, genera señales de datos indicativas de los valores de temperatura del punto de rocío medidos y transmite estas señales de datos a la CPU **351**. Alternativamente, si el secado de la Fase I se está monitorizando a través de un acumulador acoplado al condensador, el higrómetro no es necesario en este momento y puede apagarse.

30 A medida que el gas helio mojado sale del contenedor **20** entra al módulo condensador **340**, que se ha activado mediante la CPU **351**. El gas helio mojado que sale del contenedor **20** se deshumecta dentro del condensador **340** antes de ser recirculado nuevamente al precalentador **380** a través de la línea **345**. El agua líquida condensada del gas helio dentro del módulo condensador **340** drena a través de la línea **341** y en un acumulador de humedad en el que se monitoriza para detectar el final del secado de la Fase I.

35 El flujo de helio a través del circuito continúa hasta que el condensador **340** no condense más líquido (que se detecta porque no se acumula más líquido en el acumulador de humedad o por una lectura de estado permanente en el higrómetro **330**), se determina que el secado en Fase I está completo.

40 En este momento, las válvulas **421**, **422** están abiertas para que las líneas de entrada y salida **371**, **372** estén en comunicación fluida con la línea **345**, añadiendo así el módulo desecante al ciclo/circuito. Esto inicia el secado de la Fase II, la deshumidificación de la corriente de gas helio circulante antes de sellar el contenedor de SNF. Una vez que el módulo desecante **370** se ha añadido al ciclo de circulación de gas, el helio continúa circulando como en la Fase I. Sin embargo, el higrómetro **330** ahora se activa (si no está activo antes) para determinar el final del secado de la Fase II.

45 Durante la Fase II, el higrómetro **330** mide repetidamente el punto de rocío del gas helio húmedo que sale de la cavidad **21**. A medida que el higrómetro **330** mide la temperatura del punto de rocío del gas helio mojado, genera señales de datos indicativas de los valores de temperatura del punto de rocío medidos y transmite estas señales de datos a la CPU **351**. Al recibir las señales de datos indicativas de los valores de temperatura del punto de rocío medidos, la CPU **351** compara los valores medidos con un valor de temperatura del punto de rocío predeterminada que está almacenado en el medio de memoria **352**. La temperatura del punto de rocío predeterminada se selecciona para indicar que el interior de la cavidad **21** y el SNF están suficientemente secos para el almacenamiento a largo plazo. En una realización, la temperatura del punto de rocío predeterminada se selecciona de manera que corresponda a una presión de vapor en la cavidad **21** que es indicativa de un nivel aceptable de sequedad, como por ejemplo 3 Torr o menos. En dichas realizaciones, la temperatura del punto de rocío predeterminada puede

seleccionarse utilizando correlaciones experimentales o simuladas.

Una realización a modo de ejemplo de cómo se selecciona la temperatura del punto de rocío predeterminada se describe en la publicación de solicitud de Estados Unidos. 2006/0272175A1, publicada el 7 de diciembre de 2006 por Krishna P. Singh.

Después de que la CPU **351** compara la temperatura del punto de rocío medida con la temperatura del punto de rocío predeterminada, la CPU **351** determina si la temperatura del punto de rocío medida es menor o igual a la temperatura del punto de rocío predeterminada. Esta comparación se realiza para cada señal recibida por la CPU **351**.

Si se determina que la temperatura del punto de rocío medida del gas helio mojado que sale del contenedor está por encima de la temperatura del punto de rocío predeterminada, la CPU **351** continuará determinando si el temporizador **353** se ha activado. Si el temporizador **353** está activado, la CPU **351** desactiva el temporizador **353** y vuelve a recibir señales de datos para su análisis. Si el temporizador **353** no está activado, la CPU **351** vuelve a recibir datos. De cualquier manera, si se determina que la temperatura del punto de rocío medida del gas helio mojado que sale del contenedor está por encima de la temperatura del punto de rocío predeterminada, el sistema de secado **300** continúa haciendo circular el gas helio seco dentro y a través de la cavidad **21** del contenedor **20**, continuando con el secado de la Fase II.

Sin embargo, si se determina que la temperatura del punto de rocío medida del gas helio mojado que sale del contenedor está a o por debajo de la temperatura de punto de rocío predeterminada, la CPU **351** activará/iniciará el temporizador **353**. El temporizador **470** está programado para ejecutarse durante un tiempo predeterminado. La selección y el fin del tiempo predeterminado se analizarán con mayor detalle a continuación.

Una vez que se activa el temporizador, la CPU **351** procede a determinar si el temporizador **353** ha expirado (es decir, si ha transcurrido el tiempo predeterminado) sin recibir una señal de datos indicativa de una temperatura del punto de rocío medida por encima de la temperatura del punto de rocío predeterminada. Si esta respuesta es NO, la CPU **351** vuelve al principio y al sistema de secado **300** continúa haciendo circular gas helio a través de la cavidad **21** del contenedor **20** y repite las operaciones de las etapas analizadas anteriormente hasta que expire el tiempo predeterminado. En otras palabras, el proceso de secado continúa hasta que la temperatura del punto de rocío medida del gas helio mojado que sale del contenedor cae por debajo de (o se iguala a) la temperatura del punto de rocío predeterminada, y permanece así durante el tiempo predeterminado (sin subir posteriormente por encima de la temperatura del punto de rocío predeterminada).

Al requerir que la temperatura del punto de rocío medida del gas helio mojado que sale del contenedor no solo alcance, sino que permanezca a o por debajo de la temperatura del punto de rocío predeterminada durante el tiempo predeterminado, se asegura que la cavidad **21** y el SNF en su interior estén lo suficientemente secos dentro de un factor de seguridad aceptable. Esto, junto con los medios para seleccionar el tiempo predeterminado, se describe completamente en la publicación de solicitud de Estados Unidos 2006/0272175A1, publicada el 7 de diciembre de 2006 por Krishna P. Singh.

Una vez que expira el tiempo predeterminado, y la temperatura del punto de rocío medida permanece a o por debajo de la temperatura del punto de rocío predeterminada durante todo el tiempo predeterminado, la CPU **351** genera señales de apagado que se transmiten al sistema **300**. Al recibir las señales de apagado, el circulador **320** se desactiva y el flujo de gas helio a través del sistema de secado se detiene. Las válvulas **321**, **322** se cierran.

La CPU **351** genera y transmite una señal de activación a la alarma **370**. Al recibir la señal de activación, la alarma **370** se activa. Dependiendo del tipo de dispositivo que se utilice 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 estímulo visual o sonoro que informará al operario de que el contenedor **20** está seco. 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.

Al ser informado por la alarma **370** de que la cavidad **21** del contenedor **20** y el SNF están suficientemente secos, el operario desconecta el sistema de secado del contenedor **20** y sella el contenedor **20** para su almacenamiento.

Haciendo referencia ahora a la figura 5, se divulga un sistema FGD **500** que no es parte de la presente invención. El sistema de secado FGD **500** es similar al sistema de secado FGD **100** analizado anteriormente tanto en estructura como en funcionamiento. Para evitar la redundancia, solo se analizarán aquellos aspectos del sistema FGD **500** (y su funcionamiento) que difieren del sistema FGD **100**.

El sistema FGD **500** esencialmente sustituye el módulo desecante **370** del sistema FGD **100** con un módulo de vacío **400**, que puede ser una bomba de vacío convencional. El módulo de vacío **400** está aguas abajo de la válvula **321** y aguas arriba del contenedor **20**. El módulo de vacío **400** está acoplado de forma operativa al circuito de fluido y se conecta y se desconecta a través de la válvula **423**.

Cuando se utiliza el sistema FGD **500**, el secado de la Fase I del contenedor **200** se realiza de una manera esencialmente idéntica a la descrita anteriormente para el sistema FGD **100**, en el que el módulo de vacío está aislado del ciclo de circulación de gas en lugar de del módulo desecante.

5 Mientras que el sistema FGD **500** utiliza presión de vacío para realizar el secado de la Fase II, evita que la vaina del SNF se caliente a temperaturas inaceptables que pueden comprometer la integridad de la vaina del combustible. En los sistemas de vacío de la técnica anterior, para que el agua líquida se elimine del contenedor de SNF, el contenedor debe mantenerse a un nivel de vacío bajo durante un período prolongado mientras que el agua líquida se evapora. El período de tiempo prolongado cuando el combustible está rodeado por un vacío cercano impide la
10 eliminación del calor residual del propio combustible. Sin embargo, en el sistema FGD **500** (y en su método) el tiempo en que el contenedor **20** está sometido a presión de vacío es muy corto en comparación con los métodos convencionales.

15 El sistema FGD **500** pasa por el secado de la Fase 1 hasta que se elimina toda el agua líquida como se ha analizado anteriormente. El gas helio circulante mantiene los conjuntos de SNF a una temperatura relativamente baja durante este proceso. El higrómetro **330** del sistema FGD **500** es puramente opcional ya que solo se utiliza para determinar la finalización del secado de la Fase I. No se utiliza en la operación de la Fase II.

20 Una vez que se completa la Fase I con el sistema FGD **500**, las válvulas **321**, **322** se cierran. La válvula **423** se abre y el módulo de vacío **400** se activa, creando así una condición subatmosférica dentro de la cavidad **21**. El módulo de vacío **400** preferentemente evacua la cavidad **21** y mantiene la cavidad **21** a menos de 3 Torr durante 30 minutos para verificar el secado de la cavidad. Una vez que se completa el tiempo, la cavidad se rellena con un gas inerte mediante la manipulación adecuada de las válvulas. Como no hay agua líquida residual en el contenedor **20** después de la Fase I, la cavidad **21** del contenedor se evacua rápidamente (en 30 minutos o menos)
25 a un nivel de presión de vapor por debajo de 3 Torr sin preocuparse por el exceso de vapor de agua que inunda el sistema de vacío. Por lo tanto, el tiempo a vacío bajo puede mantenerse durante un período de menos de 2 horas y, por lo tanto, se evitan temperaturas inaceptablemente elevadas de la vaina del combustible.

30 Específicamente, en algunas realizaciones, el método de secado de la invención puede llevarse a cabo manualmente. En una realización de este tipo, las bombas y todos los demás equipos se activarán/controlarán manualmente. El operario puede observar visualmente las lecturas del higrómetro y del acumulador y las operaciones de la secuencia de tiempo pueden realizarse manualmente.

REIVINDICACIONES

1. Método para preparar un contenedor que tiene una cavidad cargada con elementos radiactivos húmedos para el almacenamiento en seco, comprendiendo el método:

- 5 a) colocar los elementos de combustible nuclear gastado radiactivos húmedos en una cavidad de un contenedor a través de una parte superior abierta del contenedor;
 b) colocar una tapa en la parte superior abierta del contenedor para cerrar el contenedor;
 10 c) proporcionar un sistema de circulación de gas que comprende un módulo de condensación, un módulo desecante y un módulo circulador de gas;
 d) conectar el sistema de circulación de gas al contenedor para formar una trayectoria de ciclo cerrado sellada herméticamente que incluye la cavidad;
 e) llenar la trayectoria de ciclo cerrado sellada herméticamente con un gas inerte no reactivo de un depósito que contiene gas inerte no reactivo presurizado;
 15 f) hacer circular el gas no reactivo a través de la trayectoria de ciclo cerrado sellada herméticamente hasta que el módulo de condensación ya no elimine cantidades sustanciales de agua del gas no reactivo circulante, en el que el módulo desecante está aislado de la trayectoria de ciclo cerrado sellada herméticamente durante la etapa f); y
 g) añadir el módulo desecante a la trayectoria de ciclo cerrado sellada herméticamente y continuar haciendo circular el gas no reactivo a través de la trayectoria de ciclo cerrado sellada herméticamente, deshumidificando el
 20 módulo desecante el gas no reactivo circulante;
 h) desconectar el sistema de circulación de gas del contenedor y sellar el contenedor para su almacenamiento.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además:

- 25 continuar la etapa g) hasta que se logre una presión de vapor deseada en la cavidad del contenedor.

3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además:

- 30 i) medir repetidamente la temperatura del punto de rocío del gas no reactivo circulante cuando sale de la cavidad durante la etapa g); e
 j) interrumpir el flujo de gas no reactivo y sellar la cavidad, cuando la temperatura del punto de rocío medida del gas circulante no reactivo que sale de la cavidad está a o por debajo de una temperatura del punto de rocío predeterminada durante un tiempo predeterminado.

35 4. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se determina que el módulo de condensación ya no elimina cantidades sustanciales de agua del gas no reactivo circulante monitorizando un acumulador de humedad.

5. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se determina que el módulo de condensación ya no elimina cantidades sustanciales de agua midiendo la temperatura del punto de rocío del gas no reactivo circulante que sale de la cavidad durante la etapa f).

6. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la adición del módulo desecante a la trayectoria de ciclo cerrado herméticamente sellada en la etapa g) se consigue manipulando dos válvulas de tres vías.

45 7. Sistema utilizado en el método de la reivindicación 1 para preparar un contenedor que tiene una cavidad cargada con elementos radiactivos para el almacenamiento en seco, comprendiendo el sistema:

- un sistema de circulación de gas que comprende una fuente de un módulo condensador, un módulo desecante, un módulo circulador de gas;
 50 el sistema de circulación de gas adaptado para formar una trayectoria de ciclo cerrado sellada herméticamente cuando está conectado de forma operativa a la cavidad del contenedor a preparar para el almacenamiento en seco; y
 medios para añadir y extraer el módulo desecante como parte de la trayectoria de ciclo cerrado herméticamente sellada.

55 8. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el medio para añadir y extraer el módulo desecante comprende dos válvulas de tres vías.

9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además medios de medición de la temperatura del punto de rocío situados aguas arriba del módulo de condensación y aguas abajo de la cavidad.

60 10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 9 que comprende además:

- un controlador acoplado de forma operativa a los medios de medición de la temperatura del punto de rocío;
 65 en el que los medios de medición de la temperatura del punto de rocío están adaptados para crear señales indicativas de la temperatura del punto de rocío medida del gas no reactivo y para transmitir las señales al

controlador; y

5 en el que el controlador está adaptado para analizar las señales y al determinar que las señales indican que la temperatura del punto de rocío medida está a o por debajo de una temperatura del punto de rocío predeterminada durante un tiempo predeterminado, el controlador se adapta adicionalmente para i) detener el flujo de gas reactivo a través de la cavidad; y/o ii) activar un medio para indicar que la cavidad está seca.

10 11. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además un depósito de gas no reactivo presurizado acoplado de manera fluida al sistema de circulación de gas, una válvula situada entre el depósito de gas no reactivo y el sistema de circulación de gas.

15 12. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7 que comprende además un controlador acoplado de forma operativa a los medios para añadir y extraer el módulo desecante, el controlador adaptado para añadir el módulo desecante como parte de la trayectoria de ciclo cerrado sellada herméticamente al determinar que el módulo de condensación ya no está eliminando cantidades sustanciales de agua durante la operación.

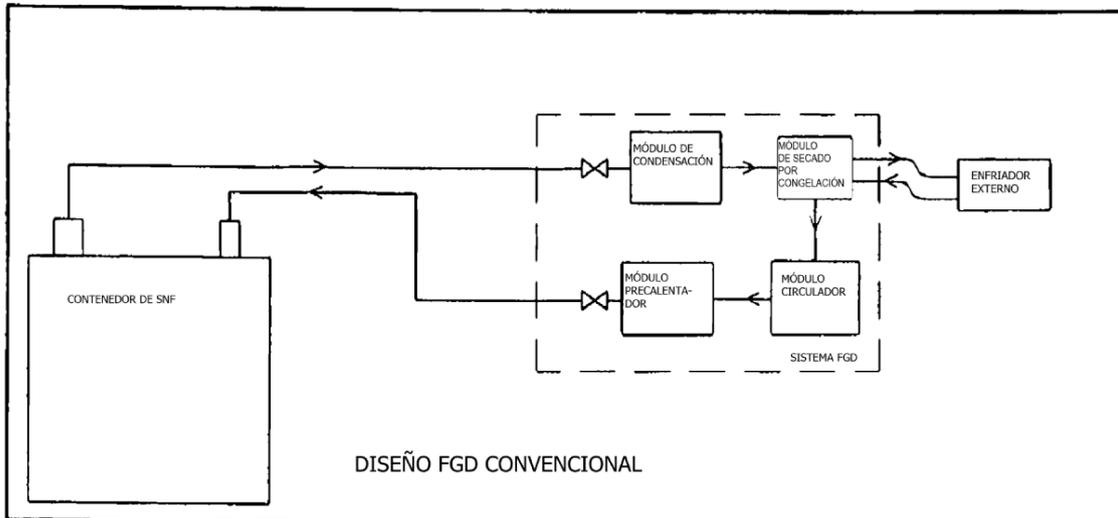


FIGURA 1 (TÉCNICA ANTERIOR)

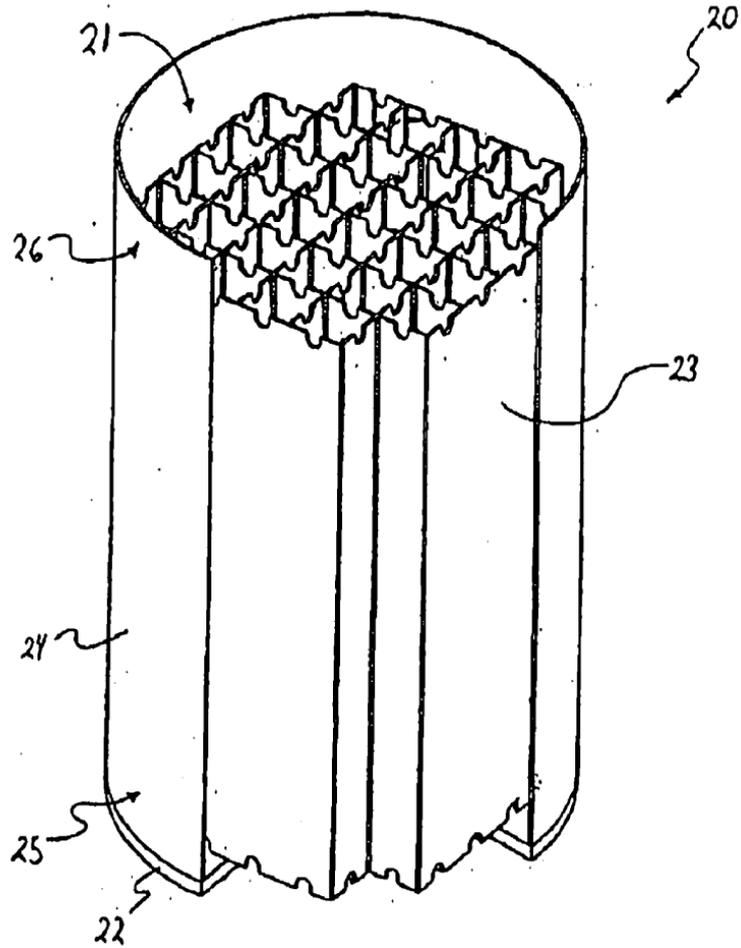


FIGURA 2 (TÉCNICA ANTERIOR)

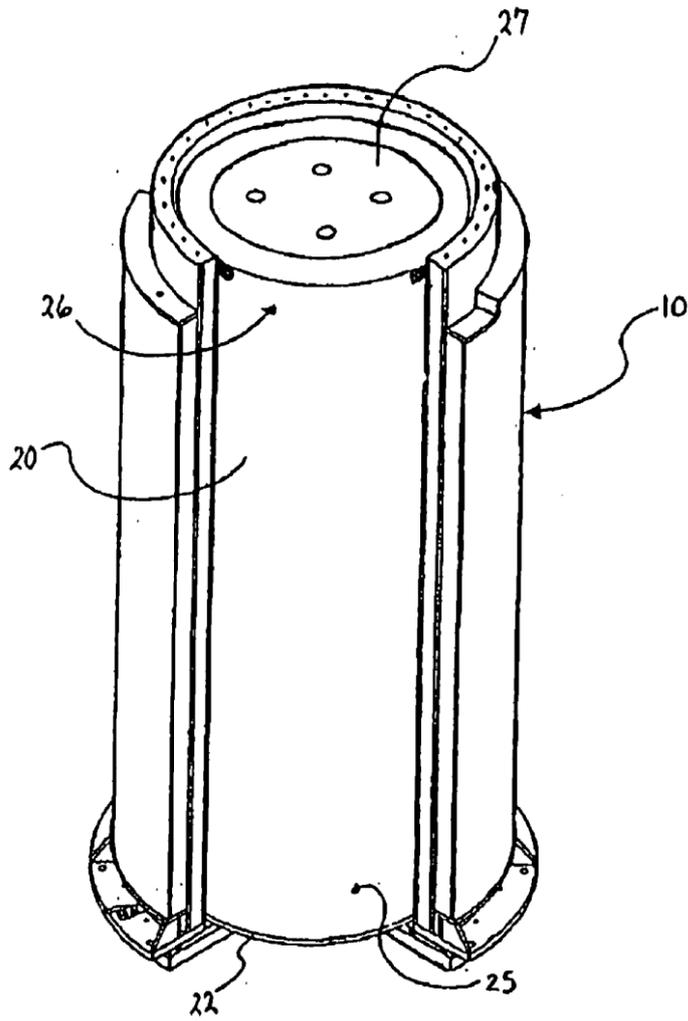


FIGURA 3 (TÉCNICA ANTERIOR)

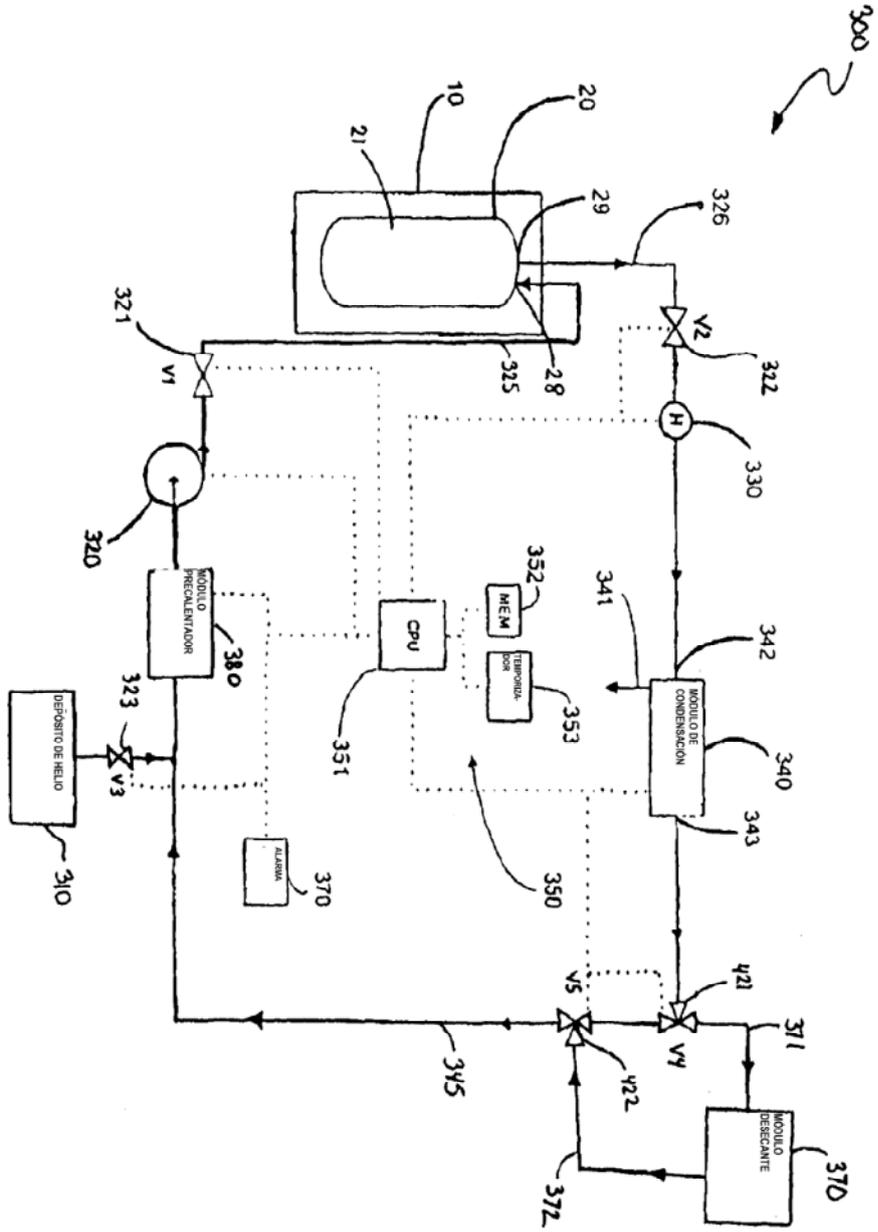


FIGURA 4

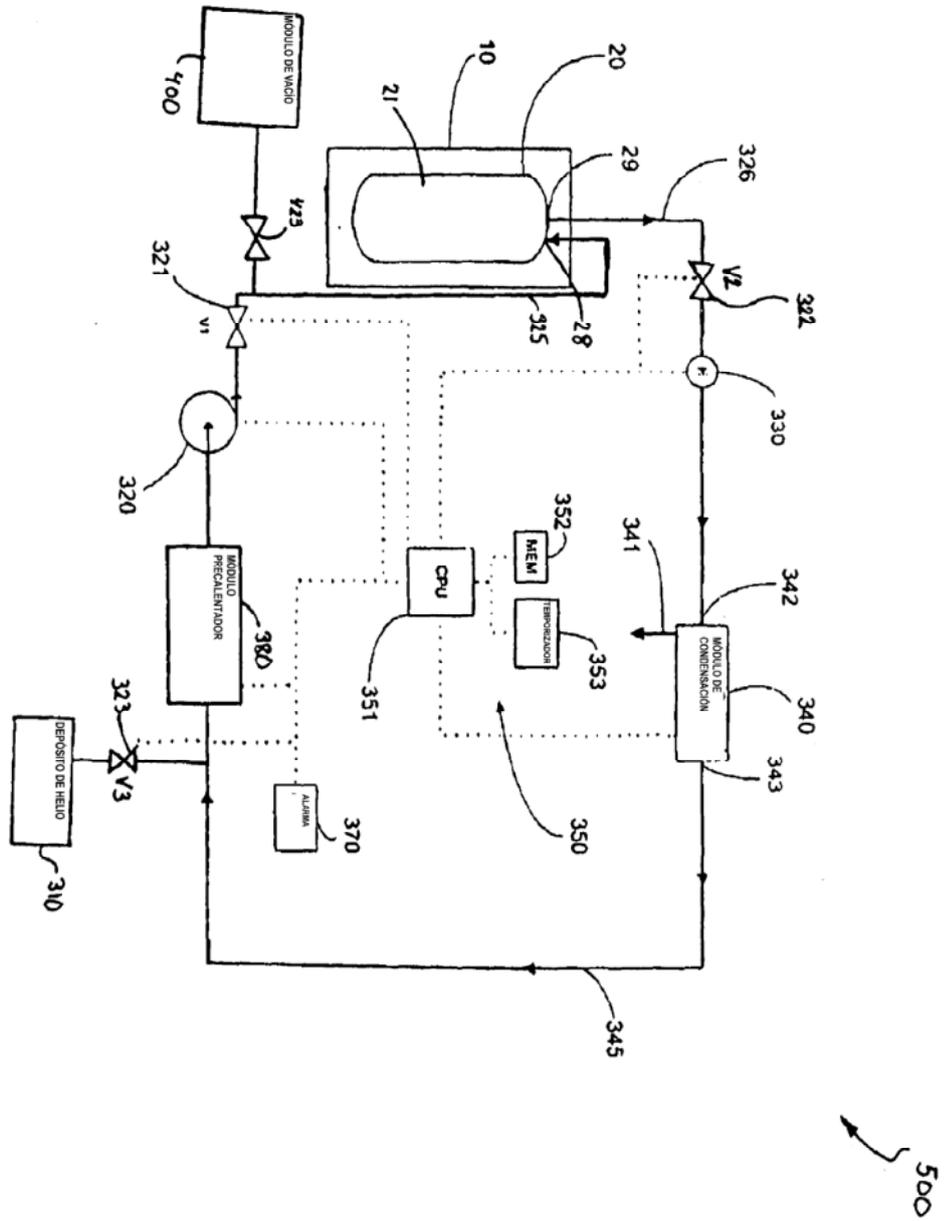


FIGURA 5