

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 955**

51 Int. Cl.:

G21C 3/32 (2006.01)

G21C 5/02 (2006.01)

G21C 19/307 (2006.01)

B01D 46/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.12.2012 PCT/US2012/069171**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.09.2013 WO13130164**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.12.2012 E 12869624 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017 EP 2791944**

54 Título: **Sistema de remoción de partículas**

30 Prioridad:

12.12.2011 US 201161569631 P

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

14.11.2017

73 Titular/es:

**DOMINION ENGINEERING, INC. (100.0%)
12100 Sunrise Valley Drive Suite 220
Reston, Virginia 20191, US**

72 Inventor/es:

**LITTLE, MICHAEL J.;
ARGUELLES, DAVID y
VARRIN, ROBERT D., JR.**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 641 955 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

Sistema de remoción de partículas

5 Antecedentes de la invención

Esta invención se relaciona con mejorar la seguridad, confiabilidad y desempeño de reactores nucleares. Más específicamente, la invención se relaciona con un método y aparato para mejorar las condiciones en el sistema primario de los reactores de agua ligera al retirar impurezas que pueden de otra forma activarse en el núcleo del reactor y depositarse sobre las superficies dentro del circuito primario, conduciendo a la degradación del componente y a índices de dosis crecientes. La invención es aplicable a reactores de agua presurizada (PWR) y a reactores de agua en ebullición (BWR).

Los reactores de energía nuclear PWR utilizan agua subenfriada recirculante en el sistema refrigerante del reactor (RCS) para retirar la energía producida por la fisión en el núcleo. El agua recirculante fluye hacia arriba bajo presión a través del núcleo y luego al "lado primario" de uno o más generadores de flujo, en donde la energía es transferida a través de los tubos generadores de vapor al lado secundario de los generadores de vapor en donde el agua se hace bullir para producir vapor saturado y supercalentado. La mayoría del vapor producido en el generador de vapor está dirigida a un generador de turbina para producir electricidad. Algo del vapor se utiliza para recalentar el vapor en el ciclo secundario, impulsar las bombas impulsadas de la turbina de vapor o precalentar el agua de alimentación que se alimenta a los generadores de vapor. En algunas plantas, el vapor se puede utilizar para otro propósito tal como la desalinización del agua de mar.

Los reactores de energía nuclear BWR utilizan agua recirculante para retirar la energía producida por la fisión en el núcleo, pero a diferencia de los PWR, la ebullición en el depósito ocurre dentro del núcleo del reactor. Para mantener favorable la transferencia de calor y el control del proceso de fisión en los BWR, se utilizan uno o más bucles de recirculación para circular de manera forzada agua líquida hacia arriba a través del núcleo. Las condiciones favorables incluyen: (1) flujo de calor mejorado de convección y ebullición a velocidades superiores producidas por la recirculación, y (2) una fracción mayor del agua líquida que incrementa la moderación de los neutrones. El vapor generado en el núcleo se separa de la mezcla de agua de vapor recirculante producida en el núcleo y se dirige a un generador de turbina para producir electricidad, los recalentadores de vapor de ciclo secundario, las bombas impulsadas de la turbina de vapor, o para los calentadores de agua de alimentación para precalentar el agua de alimentación reciclada. El agua de fase líquida que existe en el núcleo con el vapor se separa del vapor y es bombeada de regreso hacia el extremo inferior del núcleo con las bombas de recirculación. Las bombas de recirculación pueden ser bombas centrífugas impulsadas por un motor o una combinación de bombas de chorro y bombas centrífugas.

Los reactores de energía nuclear generan calor en sus núcleos por fisión de materiales fisionables tal como el U-235 o el Pu-239. Los núcleos también pueden contener materiales fértiles tales como Th-233, que se puede convertir a especies fisionables mediante la irradiación en el núcleo. La concentración de material fisionable en el combustible PWR o BWR se enriquece típicamente sobre lo que se encuentra en la naturaleza. El enriquecimiento es típicamente del 2 al 20% pero puede ser mucho mayor. El balance del combustible es típicamente material no fisionable de ocurrencia natural (por ejemplo, U-238). En los reactores de agua ligera, los neutrones producidos por el proceso de fisión son "moderados" por el agua. La moderación baja la energía de los neutrones y hace más probable que se promuevan reacciones en cadena de fisión deseables con el combustible.

La forma química del combustible en la mayoría de los reactores es óxido de uranio sólido o una mezcla de óxido de uranio y óxido de plutonio, pero se pueden utilizar otras formas que incluyen aleaciones de metal sólido de uranio o de plutonio. En general, el combustible óxido se forma en gránulos cilíndricos, que se apilan en varillas de combustible dentro de revestimientos, y se agrupan además en montajes de varillas de combustible. La mayoría de los revestimientos se fabrican de aleaciones de circonio debido a la transparencia del circonio para los neutrones, conocida como sección transversal baja de neutrón, así como también la buena resistencia a la corrosión de las aleaciones de circonio. Un PWR típico puede contener aproximadamente 200 montajes de combustible, cada uno de los cuales contiene aproximadamente 250 barras de combustible (o pasadores) que son de 3 a 5 metros de longitud. Un BWR típico puede contener 600 a 800 montajes de combustible, cada uno de los cuales típicamente contiene 60 a 100 varillas de combustible (o pasadores) que son de 3 a 4 metros de longitud. El combustible BWR también es típicamente alojado en "canales" removibles que son tubos cuadrados alargados. El propósito principal de los canales es evitar el flujo cruzado del agua y el vapor de montaje a montaje que además sirve para asegurar hidráulicas térmicas favorables, transferencia de calor y control del proceso de fisión. En los PWR, el flujo transversal del agua de montaje a montaje no se evita; por lo tanto, las varillas de combustible no se acanalan sino se distribuyen en un arreglo de paso triangular de agua. El documento US-A-2009/225924 describe un mecanismo para retirar partículas sólidas del medio de refrigeración dentro de un reactor utilizando una serie de separadores para dirigir el flujo del medio de refrigeración para hacer que las partículas se depositen en áreas de recolección dentro del mecanismo. El documento US-A-2008/0296236 describe un mecanismo de filtración que utiliza una combinación de retrolavado mejorado ultrasónicamente y la configuración del medio del filtro modificado para incrementar la capacidad de soporte de partículas del filtro. El documento JP-A-H08-75883 divulga un sistema purificador de agua para un reactor nuclear en donde las varillas del montaje de combustible son remplazadas por varillas de filtro que contienen un adsorbente. El

documento JP-A-S56-117194 describe un dispositivo de filtrado para ubicarse dentro del núcleo del reactor nuclear que incluye filtros formados de alambres de acero inoxidable o filtros de cerámica.

Breve descripción de los dibujos

5

La Figura 1 es una ilustración esquemática de una realización de un ciclo refrigerante primario PWR:

La Figura 2 es una vista de planta de una realización del núcleo de recipiente del reactor, que incluye montajes de combustible dentro de una envoltura circular

10

La Figura 3 es un esquema de una vista de planta de una realización de un aparato de remoción de partícula;

La Figura 4 es una vista en elevación de una realización del aparato de remoción de partículas con de una zona única de filtración;

15

La Figura 5 es una vista en elevación de una realización del aparato de remoción de partícula con múltiples zonas de separación dentro de la región de filtrado.

La Figura 6 es una vista en elevación de una realización de un aparato de remoción de partícula con múltiples zonas de separación dentro de la región de filtrado;

20

La Figura 7 es una vista en elevación de una realización de un aparato de remoción de partícula que ilustra la senda de flujo de derivación a través del aparato;

25

La Figura 8 es un esquema de vista de planta de una realización de la remoción de partículas que incluye un número de varillas de combustible además de la región de filtración;

La Figura 9 es una vista en elevación de una realización de un aparato de remoción de partículas en el cual los elementos de filtración comprenden solo una porción de la longitud total del aparato; y

30

La Figura 10 es una gráfica que ilustra la acumulación teórica de partículas en el núcleo (capa de suciedad) sobre un ciclo operativo típico de 12 a 18 meses versus la eficiencia de la remoción de partículas de acuerdo con una realización de la invención.

35

Descripción detallada de la invención

Tanto los núcleos PWR como BWR aproximadamente un tercio de los montajes de los combustibles se reemplazan cada corte para recarga de combustible después de 12 a 24 meses del ciclo de operación. El nuevo combustible cargado en los reactores PWR y BWR que generan energía eléctrica pueden contener enriquecimiento en especies fisionables hasta del 5% aproximadamente. El combustible que ha estado en el núcleo para un ciclo contiene menos material fisionable, de otro lado aproximadamente la mitad o a un tercio del material fisionable original. El combustible que ha sido utilizado dos veces, pero está recargado en el núcleo para un tercer ciclo puede contener aún menos material fisionable, tan poco como 0.1 a 1% de material fisionable después de dos ciclos de uso. De hecho, el material fisionable inicial en algo del combustible más viejo puede contribuir con menos del 0.02% de la salida de la planta (por montaje) comparado con un promedio del 0.5% (por montaje) para un núcleo con 200 montajes. En otras palabras, estos montajes altamente vaciados pueden contribuir con tan poco como un 1/25 de energía del nuevo montaje de combustible con base en el enriquecimiento de material fisionable inicial. Esta baja contribución es desfasada por la fisión de los materiales fisionables producidos en el combustible durante los ciclos anteriores de operación, tal como el Pu-239 y el Pu-241 que pueden formarse de U-238 en el combustible PWR.

50

Algo de combustible más viejo, o las así llamadas "montajes de barrera", son colocadas en la periferia del núcleo de reactor primariamente como un escudo de neutrones para el recipiente del reactor e internas para mitigar la irradiación inducida por el agrietamiento de corrosión por tensión de las partes internas o la fragilización del recipiente del reactor debido a la alta afluencia de neutrones (ver por ejemplo NUREG 1.99 Revisión 2). El combustible quemado dos veces a menudo se utiliza como un escudo debido a la masa significativa de materiales combustibles de alta densidad, y de esta manera la alta afinidad para absorber radiación y neutrones. En algunas de las estrategias de diseño de núcleo PWR, del orden de 4 a 8 montajes se pueden utilizar como barreras en la periferia del núcleo. El refrigerante del reactor fluye a través de cada uno de los montajes de combustible en un núcleo PWR típico, que incluye los montajes de barrera, que es de aproximadamente 0.5% de flujo total. Los cuatro montajes de barrera en un PWR recibirían un total de aproximadamente 2% del flujo RCS.

60

El peso del montaje de combustible PWR típico es de aproximadamente 1200 libras (0.75 toneladas métricas). El peso de un montaje PWR típico es de aproximadamente 550 libras (0.5 toneladas métricas). Durante la operación normal, las fuerzas de arrastre sobre combustible debido al flujo de fluido son comparables con el peso del combustible de tal manera que no existen cargas de arrastre hacia arriba inaceptables sobre los soportes de núcleo superior.

65

En un PWR, los RCS operan a aproximadamente 2000 a 3000 psi (140 a 200 bar) y 550 a 625°F (285 a 330°C) (condiciones de subenfriado). En los BWR típicos, los RCS operan de 1000 a 1100 psi (68 a 75 bar) y 550°F (285°C) (condiciones saturadas). La caída de presión a través del núcleo en un PWR es típicamente 25 a 75 psi (1.7 a 5 bar), que se combina con otras pérdidas de presión en el recipiente del reactor, los generadores de vapor y la tubería RCS es contrarrestada con las bombas refrigerantes del reactor. La caída de presión promedio a través del núcleo de un BWR es del orden de 25 psi (1.70 bar). En ambos diseños de combustible PWR y BWR, una serie de “rejillas” de soporte de entramado abierto se utilizan para soportar las varillas de combustible para hacer el paquete de combustible, mantener la separación entre las varillas y suprimir la vibración debido al flujo de agua o la mezcla de vapor – agua a lo largo o a través de las varillas. Estas rejillas se pueden fabricar de aleaciones de circonio u otros metales. La parte superior y el fondo de los montajes de combustible, “boquilla”, superior o inferior o placas de amarre soportan estructuralmente el combustible, y acoplan con las placas de soporte de núcleo inferior y superior en el recipiente del reactor. Las boquillas superior e inferior son típicamente fabricadas de acero inoxidable. Las placas de soporte de núcleo superior e inferior en el reactor que soportan y acoplan el combustible son parte del arreglo de internos del recipiente del reactor general.

Los montajes de combustible PWR y BWR también pueden contener otras características que incluyen pero no están limitadas a: (1) varillas tóxicas quemables (2) distancias o pasajes para la inserción axial de barras de control o elementos de control (3) pasajes para inserciones o instalación de instrumentos que miden y monitorizan hidráulicos térmicos o procesos de fisión (por ejemplo flujo de neutrones), (4) inicio de fuentes de neutrones, o (6) pasajes de fluido que incrementan la fracción de agua líquida local y como tal incrementan la moderación de neutrones. En algunas ubicaciones en todo el núcleo, incluyendo las posiciones de combustible en la periferia del núcleo donde se insertan los montajes de barrera, el combustible puede no requerir suministro para acomodar alguna instrumentación, tóxicos, o fuentes de neutrones, ya que estos son ubicaciones “no instrumentadas” en el núcleo.

Las especies de combustible utilizadas en los reactores de energía nuclear son riesgosas para el público y el ambiente si se liberan. También son riesgosos los “productos” de fisión producidos como resultado de las reacciones de fisión nuclear o los procesos de decaimiento. Estos incluyen el Cs-137, Sr-90 y Kr-85. Tanto los productos de fisión de cesio como de estroncio son no volátiles y como tal susceptibles de transportarse a través del suelo o el agua subterránea.

El combustible nuclear también es altamente radiactivo y como tal se almacena bajo agua hasta el momento en que los productos de fisión hayan decaído en una proporción que sea practicable de manejar o almacenar en el aire.

Además de los productos de fisión solubles, otras especies sólidas solubles e insolubles que circulan en el ciclo refrigerante o primario incluyen: (1) productos de corrosión activados y no activados, (2) impurezas metálicas (tanto solubles como de partículas), (3) materiales extraños. Por convención materiales “solubles” en el circuito primario de una planta nuclear son realmente solubles como porciones iónicas o no iónicas, o se definen como aquellas partículas que pasan a través de un filtro con un índice definido, por ejemplo 0.45 μm . En realidad, las especies de partículas pueden exhibir tamaños por debajo de 0.45 μm . A menudo con tamaños tan pequeños como 0.1 μm . Las partículas más pequeñas son a menudo denominadas coloides, reconociendo que en la medida en que el tamaño de la partícula disminuye, las partículas comienzan a manifestar algunas propiedades de especies disueltas. Las partículas insolubles más grandes pueden exhibir tamaños o diámetro efectivos de hasta 8 μm o más.

Los productos de corrosión tal como los óxidos de hierro y níquel se generan como superficies de componentes humedecidos por el refrigerante primario oxidado y los óxidos son liberados hacia el refrigerante. Las especies metálicas solubles tales como el níquel iónico, el cromo, cobalto y el hierro son liberadas desde las superficies límites de presión del refrigerante primario las cuales pueden ser de acero inoxidable o aleaciones de níquel, otros componentes tales como asientos de válvula que llevan cobalto. En el caso de los BWR donde el sistema refrigerante primario puede incluir intercambiadores de calor fabricados con aleaciones que llevan cobre, las especies solubles también pueden incluir cobre.

Los finos metálicos y las partículas particuladas, que exhiben tamaños del orden de 0.1 μm o mayores de 8 μm , son liberadas de las superficies debido al desgaste o a la erosión. Los materiales extraños incluyen metales, polvos, desechos, y “objetos extraños” que son dejados en el sistema primario después de la construcción y el montaje de la planta, o durante el reabastecimiento de combustible y los cortes de mantenimiento cuando el sistema primario es abierto al ambiente. Los objetos extraños pueden incluir recortes de metal, herramientas, aseguradores, partes sueltas y desechos.

La concentración de los productos de corrosión en circulación a través del núcleo y de esta manera a través de los montajes de combustible es típicamente del orden de 2 ppb. Para el inventario del refrigerante del reactor de 200000 a 750000 libras (100 a 350 toneladas), la masa de productos de corrosión circulante en cualquier momento es muy pequeña, del orden de 1 gramo. A pesar de que tal inventario bajo en circulación en cualquier momento, cada montaje de combustible en un núcleo PWR puede acumular varios cientos de gramo de depósito de capa de suciedad u otras partículas de producto de corrosión en el curso de un ciclo operativo. Los análisis han mostrado que la capa de suciedad y los productos de corrosión que circulan a través del núcleo probablemente pasan a través del núcleo muchas veces antes de depositarse o platearse sobre las superficies de combustible. De manera similar, la deposición de las superficies exnúcleo ocurre lentamente durante el tiempo. A una tasa de flujo de PWR RCS típico de 70 a 150 millones de libras por hora (32,000 a 68,000 toneladas por hora), el flujo de productos de corrosión a través de un montaje de

combustible individual puede ser de varios gramos por día o más, y varios kilogramos durante un ciclo operativo de 18 meses.. Como tal, aunque los montajes de combustible no son filtros eficientes para la capa de suciedad ellos eventualmente capturarán la capa de suciedad debido a los diferentes mecanismos de deposición que incluyen aquellos promovidos por una pequeña cantidad de ebullición en el núcleo o especialmente en la medida en que el refrigerante primario es circulado muchos miles de veces a través del núcleo.

Además de la capa de suciedad en el combustible, los depósitos de capa de suciedad se forman sobre esencialmente todas las superficies límites de presión del ciclo primario (así llamadas superficies exnúcleo). La cantidad de capa de suciedad sobre las superficies exnúcleo se estiman que son del orden de uno a diez kilogramos en un PWR, y mucho mayores en un BWR debido al uso de acero al carbón en los RCS de un BWR, que tiene mayor susceptibilidad a la corrosión que las aleaciones a base de austenítica y de níquel utilizadas en los PWR.

Un problema específico con los objetos extraños que circulan con el núcleo es potencial para el daño físico al combustible cuando aún pequeños desechos se alojan cerca del revestimiento. Los mecanismos de daño incluyen desgaste, frotamiento y pinzamiento. Numerosos métodos y aparatos se han diseñado por los vendedores de combustible para capturar desechos antes de que estos puedan ingresar al combustible mismo. Ejemplos incluyen dispositivos integrales a los montajes de combustible como se describieron en numerosas patentes tales como las patentes US 4, 664, 880; 4, 684, 495; 5, 024, 807; 5, 219, 517; 5, 390, 221; 5, 473, 649; 5, 479, 461; 5, 490, 189; 5, 524, 031; 5, 867, 551; 6, 847, 695; 6, 901, 128; 7, 889, 829; y las Publicaciones de Patente US2004/0071255 US2004/0076253; US2005/0031067, US2006/00452317, 889, 929 y 6, 901, 128; US2008/00136678 y WO2010/076315. Los filtros de desecho, trampas o pantallas están casi siempre ubicadas cerca o como parte de la boquilla inferior o placa de amarre en todos los montajes de combustible, y tienden a tener unas aberturas de flujo relativamente grandes comparadas con el tamaño de los productos de corrosión y la capa de suciedad en todos los montajes de combustible, y tienden a tener aberturas de flujo relativamente grandes comparadas con el tamaño de los productos de corrosión y la capa de suciedad o que ellas tenderían a restringir indeseablemente el flujo a través del montaje de combustible que tiene consecuencias negativas en términos del control de reactividad, la remoción de calor y la optimización del núcleo térmico- hidráulico en escenarios normales y de accidente. Además, los filtros de desecho, trampas, y pantallas son específicamente diseñadas para evitar la captura de capa de suciedad en la medida en que esta podría taponar y estar hambriento del montaje de combustible de agua, que tendría un impacto de seguridad potencialmente serio como refrigerante de los montajes de combustible que es un requisito de diseño crítico para la planta. Así, las aberturas de flujo en los filtros de desechos que están integradas con el montaje de combustible mismo son típicamente mayores de 1 mm de diámetro (o un diámetro hidráulico equivalente)

Los productos de corrosión, los finos metálicos, y los objetos extraños pueden todos activarse o hacerse radioactivos debido a la adsorción de neutrones a medida en que ellos pasan a través o cerca del núcleo durante la operación de la planta. Los productos de corrosión y los finos han sido a menudo denominados como "capas de suciedad" (Depósitos no Identificados Chalk River, en referencia al sitio de la planta nuclear Chalk River en Ontario, Canadá). En la medida en que estos materiales se activan y se espacian a través del circuito primario, los campos de dosis de radiación se incrementan, lo cual a su vez incrementa la exposición a la radiación o el potencial para la contaminación de los trabajadores. La capa de suciedad se genera continuamente por la corrosión o la erosión del circuito primario. La activación posterior de los depósitos que descansa sobre superficies de combustible se puede liberar y redepositar sobre superficies exnúcleo.

El combustible retirado después de un periodo de operación típicamente es recubierto con una capa de suciedad. El grosor de esta capa puede variar desde unos pocos micrómetros a más de 100 micrómetros. En los PWR esto tiende a ser más grueso cerca a la parte superior del montaje de combustible, donde en algunos BWR se tienden a ser más grueso cerca a la parte inferior del combustible.

La capa de suciedad que se deposita en el combustible en los PWR puede conducir a un fenómeno conocido como anomalía de desfase axial (AOA), también denominada como cambio de energía inducido por la capa de suciedad (CIPS), en donde el boro que se utilizó para control de reactividad se acumula en los poros de la capa de suciedad y afecta la densidad de energía local del núcleo. Las acumulaciones de capa de suciedad sueltas sobre las superficies del combustible también pueden complicar el movimiento del combustible para secar el almacenamiento y pueden complicar el transporte del combustible a sitios alejados de la planta nuclear debido al riesgo de la dispersión de la capa de suciedad altamente radioactiva al ambiente.

Los actuales métodos para tratar con el tema de la capa de suciedad incluyen: (1) incorporar sistemas de limpieza en la planta, (2) diseñar combustible que sea tolerante a las generaciones de capa de suciedad, y (3) desarrollar programas de control de química de agua primaria que minimicen la generación de capa de suciedad y maximice la liberación y captura de capa de suciedad en los sistemas de plantas existentes durante los apagados de la planta, que es una práctica química típica en los PWR. Tales evoluciones de los "estallidos de capa de suciedad" son costosas porque ellas retrasan el apagado de la planta para recarga de combustible.

Típicamente, un PWR incorpora un sistema en el lado primario de la planta denominado Sistema de Control de Volumen Químico (CVCS) o "Sistema de Bajado". Los propósitos primarios de los CVCS en los PWRs son: (1) ajustar la concentración de químicos que absorben neutrones en el RCS, típicamente ácido bórico, (2) mantener el inventario de

líquido de RCS, (3) acondicionar y limpiar el refrigerante del reactor requerido como agua de sello para los sellos RCP. (4) ajustar la química RCS a través de la adición o remoción de especies tales como el litio, (5) controlar la actividad RCS durante las operaciones de energía y purgar los gases nobles tales como isótopos radioactivos de xenón y criptón, (6) hacer inerte, rellenar presurizar y desgasificar los RCS, (7) controlar la concentración de hidrógeno del RCS, y (8) suministrar unos medios para agregar especies que mitiguen la corrosión de los componentes RCS, tales como el zinc. El CVCS también incluye filtros en línea (algunas veces como filtros separados, pero también algunas veces como lechos de intercambio de ion, que sirven tanto a la filtración como a la función de desionización) para retirar en la medida en que sea viable la capa de suciedad (productos de corrosión) del RCS durante el arranque, operación y apagado de la planta. Como se discute posteriormente, el CVCS opera continuamente, pero es solamente parcialmente efectivo como un sistema de filtración.

El refrigerante del reactor típicamente fluye a los CVCS de una línea de bajada "pata fría" RCS sobre el lado de succión de la bomba del refrigerante del reactor (RCP). En el CVCS, el flujo de bajada se despresuriza, enfría, limpia, filtra desgasifica, equilibra con gases deseados, se represuriza y se recalienta antes de que este regrese al RCS o se almacene.

La velocidad de flujo de bajada normal es del orden de 16000 a 32000 libras por hora (7 a 14 toneladas por hora) que corresponden a un flujo volumétrico de 40 a 80 galones por minutos (13 a 18 metros cúbicos por hora) a una temperatura y presión RCS. Como se discutió anteriormente, el flujo RCS normal es del orden de 70 a 150 millones de libras por hora (32000 a 68000 toneladas por hora) sobre una base de flujo de masa. Así, el flujo de bajada del CVCS es del orden de 0.01 a 0.02 % de flujo de RCS. Con un inventario líquido de RCS de aproximadamente 600000 libras (300 toneladas) de refrigerante, una rotación completa del RCS a través del CVCS toma el orden de 30 horas (1.800 minutos). De otro lado, el tiempo de residencia para el refrigerante recirculante en el RCS es menor de 1 minuto. Por lo tanto, un volumen de los productos de corrosión que contienen refrigerante primario pasa a través del núcleo muchas veces antes de que este pase a través del CVCS.

El flujo de bajada exacto es específico de la planta y puede depender de numerosos factores que incluyen el diseño RCS total, el número de ciclos RCS, la estrategia de control de la química y varias metas específicas de la planta para el control de actividad química y del RCS. Esta puede incluir preocupaciones con relación al RCS y a la integridad del revestimiento de combustible, como algunos mecanismos de corrosión que afecten el RCS y dependientes de combustible de la química enfrente del RCS tal como los límites de pH, la concentración de litio e hidrógeno, la concentración de zinc. El zinc es a menudo agregado al RCS para mitigar el cuarteamiento de corrosión por estrés de ciertos componentes RCS susceptibles, a índices más bajos de dosis de planta al reducir la incorporación de especies de Co-58 y Co-60 en superficies exnúcleo (es decir, superficies de componentes a los cuales los trabajadores puedan exponerse durante periodos de reabastecimiento de combustible o mantenimiento).

Existen varias sendas típicamente mediante las cuales el flujo de bajada puede ser regresado al RCS o almacenado. Estos incluyen reinyección directamente hacia el RCS o a través de los sellos RCP. La mayoría del flujo de bajada a los CVCS es típicamente regresada al RCS a través de la pata fría de un ciclo diferente por vía de una línea de carga conectada al lado de descarga de un RCP.

En el sistema CDCS, el refrigerante del reactor pasa a través de los filtros del refrigerante del reactor y los desmineralizadores. Estos filtros y desmineralizadores se diseñan para (1) retirar tanto de la capa de suciedad insoluble como de las especies de producto iónico y de corrosión (por ejemplo óxidos y las espinelas de Cr, Fe, Ni, Co) como sea posible, (2) retirar el exceso de Li producido por la absorción de los neutrones de B-10, (3) retirar los productos de fisión radioactivos no volátiles tales como el cesio (por ejemplo, Cs-137) del RCS y (4) controlar la concentración de boro para control de reactividad.

El sistema CVCS incorpora características y componentes que son diseñados para permitir el control total del inventario líquido RCS también.

Generalmente, los filtros CVCS se diseñan para recolectar los finos y las partículas de 5 micrómetros o mayores. Los medios de filtros más finos también se pueden utilizar para recolectar finos y partículas tan pequeñas como de 0.1 micrómetro. Sin embargo, esto puede complicar la operación del sistema CVCS y requerir cambios de filtro más frecuentes. De acuerdo con la invención, el aparato de remoción de partículas se puede adaptar para retirar partículas en el rango de aproximadamente 0.5 a 8 micrómetros. Como se apreciará, tal aparato tenderá a retirar partículas del tamaño calificado o mayores. Adicionalmente, los dispositivos calificados por la remoción de partículas más grandes tenderán a capturar alguna fracción de partículas más pequeñas también. Así, por ejemplo, el dispositivo calificado para 50 micrómetros también capturará algunas partículas de 10 micrómetros. Adicionalmente, como las partículas se acumulan, la acumulación tenderá a actuar para reducir el tamaño de las partículas que pueden pasar a través de esta.

Adicionalmente, las plantas que agregan zinc a RCS algunas veces experimentan partículas mayores en el RCS y realmente tienden a utilizar medios de filtros más gruesos para evitar el número excesivo de reemplazos de filtros. Incrementar el flujo a través de los CVCS para mejorar la filtración por encima de 0.01 a 0.02 % del flujo de RCS que podría lograrse en principio, pero esto disminuye la eficiencia de la planta. El flujo hacia abajo es refrigerado en intercambiadores de calor no regenerativos, y solamente recalienta parcialmente mediante el intercambiador de calor

regenerativo; así, algo de la energía en el refrigerante que pasa a través del CVCS se pierde al ambiente opuesto a estar disponible para generar electricidad. Adicionalmente, incrementar el flujo a través del CVCS puede requerir mayores bombas para represurizar el flujo de bajada antes de que este regrese al RCS, y puede complicar otras funciones del sistema CVCS total tal como el control de reactividad, el control químico y el control de volumen RCS.

5 Evidencia de la incapacidad del CVCS para servir como un sistema de filtro efectivo está difundida. Entre la evidencia está la siguiente. (1) el combustible PWR y BWR se contaminan con la capa de suciedad en un ciclo operativo, (2) las dosis de radiación exnúcleo causadas primariamente por la capa de suciedad circulante y se depositan sobre las superficies exnúcleo en lugar de ser recolectadas en los CVCS, (3) estimar que los inventarios de capa de suciedad RCS son mucho menos que la cantidad de material recolectado de los filtros RCS, y (4) la parada de la planta puede intencionalmente o no intencionalmente conducir a estallidos de “capas de suciedad” en el RCS

15 En los BWR, la limpieza del refrigerante primario es primariamente con el Sistema de Limpieza de Agua del Reactor (RWCU). El RWCU recibe aproximadamente 300 o 400 galones por minuto (66 a 90 metros cúbicos por hora) o 1 % del flujo RCS proveniente del refrigerante primario recirculante por vía de los flujos de bajada desde la parte inferior del recipiente del reactor o el sistema de recirculación. El sistema RWCU enfría el flujo de bajada y utiliza filtros y desmineralizadores para reducir el inventario de la capa de suciedad en el RCS. A pesar de los índices de flujo mayores comparados con los sistemas PWR CVCS la cantidad de capa de suciedad depositada residual en un BWR RCS es típicamente órdenes de magnitud superiores que aquella en un PWR. La mayoría de estos depósitos de capa de suciedad en el núcleo debido a un mucho mayor trabajo de ebullición de un BWR (aunque una cantidad pequeña de ebullición también ocurre típicamente en los núcleos PWR cerca al extremo superior del combustible).

25 Para evitar la liberación del combustible y los productos de fisión desde dentro de las varillas de combustible, los diseñadores de los reactores de energía nuclear ponen particular atención al diseño, fabricación y calidad del revestimiento de la barra de la varilla nuclear para hacerla tan fuerte como sea posible. A pesar de estos esfuerzos, existen temas de integridad del revestimiento, la severidad de los temas de integridad del combustible está bien documentada en “The Path to Zero Defects: EPRI Fuel Reliability Guidelines” (2008). Como se discutió en esta referencia, la confiabilidad del combustible es crítica para la seguridad y la operación económica de las plantas de energía nuclear y el coste del combustible falla debido a aún menores violaciones en el revestimiento de un número limitado de varillas de combustible que pueden constar tanto como 40 a 80 millones de dólares.

35 Adicionalmente, los propietarios y operadores de las plantas nucleares gastan gran esfuerzo para “diseñar el núcleo” con el fin de colocar una vez, dos veces y tres veces combustible quemado en un patrón que optimiza la producción de energía, pero minimiza el potencial para la deposición de capa de suciedad y de esta manera la corrosión del revestimiento o la deposición de la capa de suciedad.

40 Los diseñadores y operadores de las plantas de energía nuclear se esfuerzan para mantener la química del refrigerante primario y minimizar las impurezas a través de los programas de control de química primaria. Los objetivos del control de agua primaria incluyen. (1) mantener la química y el pH, (2) controlar la concentración de la capa de suciedad, (3) control de la reactividad bajo condiciones normales y accidentales. Durante la parada, la química del refrigerante RCS se puede ajustar para promover la liberación de especies solubles e insolubles del núcleo (es decir superficies de combustible) o superficies ex núcleo (es decir RCS). Esto se hace típicamente al producir secuencialmente la reducción química seguido por condiciones de oxidación químicas en la medida en que el RCS se refrigera. Durante tales explosiones de capa de suciedad, se ha estimado que desde aproximadamente 100 a varios cientos de gramos de capas de suciedad se desalojan de la superficie exnúcleo y se recolectan en los CVCS durante un periodo de aproximadamente 24 horas en la medida en que la planta se refrigera. Esto comparado con las decenas de miles de gramos (o decenas de kilogramos) de capa de suciedad que son resistentes en el RCS antes de la detención de la planta. A este respecto, el aparato de remoción de partículas de acuerdo con las realizaciones se puede adaptar para retirar 100 o cientos de gramos, o se puede adaptar para retirar mil o diez mil gramos, o rangos dentro de aquellos puntos extremos.

55 Los propietarios y operadores de las plantas nucleares se enfrentan con dos tareas críticas que se relación con la presencia de productos de corrosión, impurezas, fisión y fragmentos de combustible, y materiales extraños en el sistema refrigerante primario. El primero es minimizar el potencial de las fallas de combustible; el segundo es manejar los campos de radiación. La remoción de estas especies también es deseable en la medida en que puedan reducir la radiación emitida del sistema refrigerante primario durante los periodos de mantenimiento de planta.

60 El significado económico de maximizar la confiabilidad del combustible, reducir las dosis de radiación, y optimizar la seguridad y la operación económica de las plantas es alto. Específicamente, el coste de extender el corte de recarga de combustible por solo un día para acomodar un “estallido de capa de suciedad” puede exceder \$ un millón. Un corte forzado debido a combustible fallido puede exceder \$ 10 millones. El coste de reducir energía por la capa de suciedad inducida por AOAS puede exceder de 10 millones de dólares.

65 La economía del significado de reducir la dosis de radiación al trabajador también es significativa. Por ejemplo, una reducción en una dosis de un trabajador en un corte por un hombre- rem se le asigna un “valor” de \$ 10.000 a \$ 30.000.

Si una dosis de corte típica es 100 hombres- rem, en la exposición a radiación del trabajador es equivalente de \$ 250000 a \$ 750000.

5 Un aspecto de una realización de la invención es reducir el inventario de la capa de suciedad circulante en el RCS de una planta nuclear y de esta manera la deposición de la capa de suciedad sobre el combustible y las superficies exnúcleo.

10 Otro aspecto de una realización de la invención es recolectar la capa de suciedad de tal manera que esta pueda ser retirada del RCS durante los cortes de recarga de combustible.

Otro aspecto de una realización de la invención es lograr los inventarios reducidos de capas de suciedad circulante con impacto moderado en la salida eléctrica de la planta mientras que se evita o se reduce la fragilización del recipiente de presión del reactor u otros riesgos potenciales para integridad de la planta.

15 Las realizaciones de la presente invención se relacionan con métodos y aparatos para capturar partículas y capa de suciedad proveniente del fluido RCS en una planta de energía nuclear. Uno o más aparatos de remoción de partículas se ubican en el núcleo de una planta PWR o BWR que produce energía eléctrica. La planta es operada con el aparato en el lugar. El aparato de remoción de partículas puede remplazar uno o más montajes de combustible, o se puede modificar el montaje de combustible con una filtración integral u otros medios de captura de partículas (por ejemplo, un hidrociclón o combinación de filtración e hidrociclones). A este respecto, el aparato se dimensiona sustancialmente de manera similar al montaje de combustible e incluye conectores que son similares a aquellos en un montaje de combustible típico para permitirle ser colocado en una posición de montaje de combustible sin la modificación al núcleo. Como se apreciará, sustancialmente de manera similar en este contexto se significa que las dimensiones y conectores son suficientemente idénticos a aquellos del montaje de combustible de tal manera que el aparato se puede ubicar apropiadamente.

20 El aparato de remoción de partículas se puede colocar en cualquier sitio del núcleo. En una realización, el aparato de remoción de partículas se coloca en la periferia del núcleo. En una realización adicional, el aparato se puede colocar en una ubicación normalmente reservada para un montaje de combustible de barrera. Al colocar el aparato en una ubicación normalmente utilizada para un montaje de barrera de quemado de dos veces o tres veces, puede haber una reducción en pérdida posible de la generación de energía durante el sitio de operación, ya que el combustible normalmente cargado en estas ubicaciones contribuiría menos a la salida de la planta que el montaje combustible promedio. En otra realización, uno o más pares de aparatos de remoción de partículas son colocados en ubicaciones simétricas en el núcleo para promover la simetría neutrónica total y la hidráulica térmica del núcleo. En otra realización, el "diseño de núcleo" total y el resto de los montajes de combustible se diseñan para compensar cualquier reducción en la generación de energía local en el o los sitios del aparato, por ejemplo, por pequeños incrementos en el enriquecimiento de los otros montajes de combustibles.

30 La hidráulica térmica total del núcleo y las cargas sobre las estructuras de soporte del núcleo se mantienen cuando se emplea el aparato ya que este se diseña de tal manera que el fluido refrigerante del reactor fluye a través del aparato es similar a aquel de un montaje de combustible normal. El aparato también se diseña de tal manera que la caída de presión del refrigerante en la medida en que este pasa a través del aparato es similar a aquella de un montaje de combustible normal o aproximadamente 0.5 % del flujo de núcleo, y el área en sección transversal el arrastre de forma y las pérdidas de fricción en el aparato son similares a aquellas en un montaje de combustible. Aunque realizaciones específicas de la invención pueden involucrar utilizar más de un aparato, el uso de solo un aparato es posible, en la medida en que el flujo a través del aparato es de aproximadamente 25 a 50 veces mayor que el flujo a través del CVCS en un PWR. Además, el uso de aparatos múltiples mejoraría adicionalmente la proporción del flujo filtrado (es decir el índice de flujo a través de dos aparatos de filtro sería de 50 a 100 veces mayor que a través de los CVCS en un PWR y así sucesivamente). De esta manera, el potencial del aparato que sirve como medio de filtración durante un periodo de tiempo dado se mejora grandemente sobre el CVCS en eficiencias de filtración equivalentes.

35 La Figura 1 ilustra un ciclo de refrigerante primario PWR típico que muestra un recipiente 1 del reactor y un núcleo 2, presurizador 3, generador 4 de vapor, bomba 5 refrigerante de reactor, CVCS 6, y bomba 7 de carga.

55 La ecuación 1 describe un modelo simple de eficiencia de filtración de la invención:

$$= ST \frac{(N - N_c) \eta_a}{(N - N_c) \eta_a + N_c \eta_c + \frac{F_f}{F_t} N}$$

60 Donde A = a acumulación de capa de suciedad de núcleo sobre los montajes de combustible (kg/ciclo)

S = índice de generación de capa de suciedad (kg/s)

ES 2 641 955 T3

T = longitud del ciclo (s/ciclo)

N = número de ubicaciones para los montajes de combustible en el núcleo (el total de aquello es ocupado por los montajes de combustible y aquellos ocupados por los aparatos de filtro)

N_c = número de Aparatos de filtración en el núcleo

n_a = eficiencia de remoción de la capa de suciedad del montaje de combustible

n_c = eficiencia de remoción de la capa de suciedad del aparato de filtración

F_1 = la velocidad de flujo del refrigerante a la bajada del CVCS o RWCU (kg/s)

F_t = la velocidad de flujo del refrigerante a través del núcleo (kg/s)

La Figura 10 muestra un ejemplo del potencial para la captura de producto de capa de suciedad/corrosión aun con la presunción de que la remoción mediante el sistema de bajada es 100 % eficiente. Aun con una eficiencia de conservación del 80 %, la capacidad para reducir los inventarios de capa de suciedad del núcleo por un factor de tres o más se predice. Con cuatro aparatos, la reducción puede ser de aproximadamente el 90 % o de 3 kg sin los aparatos a aproximadamente 0.3 kg con los aparatos.

Un ejemplo ilustrativo, no parte de la invención reivindicada, el aparato incluyó medios de filtro que pueden ser más finos que aquellos utilizados en un CVCS típico (del orden de 5 micrómetros). Por ejemplo, un medio de filtro de metal poroso con un índice del orden de aproximadamente 100 pies² de 0.1 a 0.5 micrómetros permitirá un flujo equivalente a aquel que fluye a través de un montaje de combustible normal y dará como resultado una caída de presión del orden de 10 a 20 psi, con una caída de presión posterior que ocurra después de la retención de varios kilogramos de material de partícula (un inventario que es similar a aquel que existe en el sistema PWR RCS). Este rango de caída de presión es similar o inferior a aquel visto a través de cada montaje de combustible en el núcleo, y se incorporan las características en el aparato de filtración para hacer coincidir la caída de presión aún más cercanamente con aquella del montaje de combustible normal. Más específicamente, las restricciones de flujo adicional tal como orificios se pueden incorporar en el aparato para adaptar la caída de presión para que sea aún más cercana a aquella de un montaje de combustible normal. Como se apreciará por aquellos expertos en la técnica, también se pueden incorporar medios de filtro con aberturas mayores en un aparato de remoción de partículas de la presente invención, por ejemplo, para retirar partículas de hasta 10 micrómetros de diámetro en aglomeraciones de partículas de 100 micrómetros de diámetro efectivo. Estas aglomeraciones pueden estar comprendidas de partículas de capa de suciedad exfoliadas, por ejemplo

En una realización, el aparato de recolección de partícula incluye un componente de restricción de flujo pasivo que reduce el flujo a través del aparato de recolección de partícula en respuesta a cambios en la temperatura del agua, el índice de flujo, la presión, la densidad, la viscosidad, u otra condición local que varía como función del estado de la planta. Tales componentes de restricción de flujo incluyen, pero no están limitados a, válvulas de disco bimetálico, válvulas de alivio con carga de resorte, válvulas de cheque, válvulas de pie, sellos de laberinto y orificios. Tales componentes de restricción de flujo generalmente tienden a mejorar la retención de los tiempos de las partículas capturadas cuando no se requiere la remoción de partícula, tal como durante el apagado de la planta y las evoluciones de la oxidación forzada (estallido de capa de suciedad).

Otras características pueden opcionalmente ser incorporadas en varias realizaciones de la invención que incluyen filtros de desecho o válvulas de aislamiento para evitar el escape de material extraño del aparato. Como se discutió anteriormente, los filtros de desechos que están típicamente integrados en el diseño de los montajes de combustible nuclear deben tener un diámetro de abertura mínimo para asegurar el adecuado flujo de enfriamiento al montaje de combustible. En contraste, los filtros de desechos incorporados en un aparato de remoción de partícula del tipo divulgado aquí pueden estar comprendidos en un rango amplio de tamaños de abertura porque el aparato de remoción de partícula se separa del montaje de combustible. Por ejemplo, los filtros de desecho incorporados como parte de la invención actual pueden tener aberturas que son hasta de 0.1 mm de diámetro efectivo, que lo que se esperaría atrapar en los finos metálicos pequeños y otros objetos extraños pequeños que pasarían a través de las aberturas de requisito en los filtros de desecho del montaje de combustible estándar. Los filtros de desechos incorporados como parte de la invención actual también pueden tener aberturas que sean de 1 mm o mayores con el fin de capturar las partículas mayores y los desechos.

En una realización, los materiales resistentes a la corrosión y tolerantes a la radiación se pueden utilizar para la construcción del aparato que incluye cualquier medio de filtración en el aparato. Un ejemplo es un medio de filtro de metal poroso. El medio de filtro metálico bajo en cobalto se puede utilizar para reducir la contribución potencial de las especies radiactivas al RCS desde el filtro mismo.

En una realización, la masa de metal pasivo se incluye como parte del aparato para no solo replicar el peso del montaje de combustible (que se debe al componente de captura de partícula del aparato tal como el medio de filtro que probablemente es menos pesado que las barras de combustible), sino también suministrar capacidad de escudo mucho

más como un montaje de combustible de barrera. Esta masa de metal está en la forma de placas o una pluralidad de barras sólidas.

5 En una realización, los diseños de boquilla superior e inferior se replican de tal manera que el manejo y el almacenamiento del aparato con el equipo de planta existente tal como las máquinas de recarga de combustible y la estantería de estanque de combustible gastado.

10 En una realización, la senda de flujo de derivación se incluye para asegurar que el agua de refrigeración aun fluya a través del aparato aun en el caso de que el filtro se tapone con la capa de suciedad.

15 En una realización, los componentes que capturan partículas del aparato se incorporan en una porción de un montaje de combustible que contiene una pluralidad de varillas de combustible normales, pero un número reducido comparado con el montaje típico. En esta realización, el aparato de montaje/filtración de combustible híbrido sirve tanto como un filtro como una fuente de energía nuclear.

20 En una realización, el aparato de remoción de partículas se puede retirar del reactor nuclear y la capacidad de remoción de partículas se puede regenerar. Esta remoción puede ocurrir, por ejemplo, durante el corte de mantenimiento normal y se puede lograr la regeneración, por ejemplo, al retro lavar el aparato de remoción de partículas o al utilizar técnicas de limpieza ultrasónica.

25 En una realización, el aparato de remoción de partículas se puede manejar, almacenar y desechar de la misma manera que el montaje de combustible nuclear cuando su capacidad de remoción de partículas se agota. Por ejemplo, el aparato de remoción de partícula agotado se puede transferir y almacenar en el estante de combustible gastado.

30 La Figura 1 ilustra una realización de un ciclo de refrigerante primario PWR típico que muestra un recipiente 1 del reactor y el núcleo 2, el presurizador 3, el generador 4 de vapor, la bomba 5 de refrigerante del reactor, el CVCS 6, y la bomba 7 de carga.

35 La Figura 2 es una vista de planta de una realización del núcleo del recipiente del reactor, comprendido de una parrilla de montajes de combustible dentro de una envoltura circular. Uno o más montajes de combustible cerca a los bordes exteriores de núcleo 8, denominados como montajes de barrera, se pueden instalar en las ubicaciones indicadas para suministrar blindaje al recipiente 9 del reactor de radiación de los montajes de energía superior más cercano al centro del núcleo. En otra realización, los pares de aparato de remoción de partícula se instalan en sitio simétrico del núcleo tal como 9a o 9b. uno, dos o más de los pares de los aparatos se pueden utilizar.

40 La ubicación exacta de cada uno de los aparatos individuales que constituyen un par puede depender del diseño del núcleo exacto que tendría en cuenta los neutrónicos locales, los neutrónicos de núcleos totales, la ubicación de los instrumentos del núcleo y las varillas de control, así como también la simetría física de las ubicaciones. Como se apreciará por aquellos expertos en la técnica, múltiples aparatos de remoción de partículas se pueden utilizar en configuraciones simétricas o no simétricas. El número exacto de aparatos a ser utilizados y las ubicaciones en la instalación serían dependientes del diseño exacto del núcleo.

45 Una realización más particular se muestra en las Figuras 3 a 9, que incluye un aparato de remoción de partícula con un perfil exterior similar a aquel del montaje de combustible.

50 La Figura 3 es un esquema de una vista de planta de una realización de un aparato de remoción de partícula, que incluye una carcasa 10, una zona 11 de remoción de partícula, y un hueco 12 de derivación.

55 La Figura 4 es una vista en elevación de una realización de un aparato de remoción de partícula con una zona simple de remoción de partícula. Una boquilla 13 superior se conecta a la boquilla 14 inferior mediante una carcasa 10. Una válvula 15 de pie se ubica a la entrada de la remoción 11 de partícula

60 La Figura 5 es una vista en elevación de una realización de un aparato de remoción de partícula con múltiples zonas individuales de remoción 16 de partícula dentro de la zona 11 de remoción de partícula total.

65 La Figura 6 es una vista en elevación de una realización del aparato de remoción de partícula unas zonas múltiples de remoción de partícula dentro de la región 11 de remoción de partícula de diferentes tipos que incluyen una etapa 17 de separación ciclónica y una etapa 18 de separación de filtración convencional.

La Figura 7 es una vista en elevación de una realización de un aparato de remoción de partícula la senda 19 de flujo de derivación a través del módulo

La Figura 8 es una vista de planta de una realización de un aparato de remoción de partícula híbrido que incluye una zona 11 de remoción de partícula dentro de un arreglo de las varillas 22 de combustible nuclear.

La Figura 9 es una vista en elevación de una realización de un aparato de remoción de partícula con una o más características 16 de remoción de partícula que se extiende sobre una longitud parcial del aparato integral a la boquilla 13 superior o a la boquilla 14 inferior

- 5 El flujo ingresa al montaje a través de la boquilla 14 inferior, y se divide en un flujo de remoción de partícula y un flujo 19 de derivación. El flujo de remoción de partícula se dirige a través de la válvula 15 de pie opcional, a través de una región 11 de remoción de partícula, y luego sale del montaje a través de la boquilla 13 superior.
- 10 La válvula 15 de pie se diseña de tal manera que esta se abre completamente durante la operación de energía (flujo de núcleo alto, alta temperatura), pero se cierra durante las evoluciones de estallido de capa de suciedad apagadas (flujo de núcleo bajo, temperatura reducida), de tal manera que se minimiza la disolución de la capa de suciedad capturada durante las evoluciones del estallido de la capa de suciedad. Además, la válvula de pie evita que la capa de suciedad capturada caiga fuera del montaje durante el manejo o almacenamiento.
- 15 El flujo 19 de derivación se dirige desde la región de la boquilla inferior a través de un orificio 12 derivando la válvula 15 de pie y la región 11 de filtrado, y se une al flujo de remoción de partícula a través del montaje y hacia afuera a través de la boquilla 13 superior.
- 20 Las porciones del montaje integrales o adyacentes a la carcasa 10 entre las boquillas 13 y 14 inferiores y superiores están comprendidas de miembros gruesos que funcionan como la estructura del montaje, suministran blindaje de neutrones para un recipiente similar a un montaje de barrera, y contribuyen a la masa de tal manera que la masa del montaje es similar a aquella del montaje de combustible.
- 25 La región 11 de remoción de partícula puede estar comprendida de una o más zonas de filtración, que incorporan uno o más diferentes procesos de filtración o separación. En una realización, la región 11 de filtrado está comprendida de uno o más elementos de filtro hechos de fibra de metal sinterizada, polvo de metal sinterizado, alambre perfilado, malla de alambre, u otros medios tolerantes a la radiación.
- 30 Otra realización se muestra en la Figura 6, en la cual la región 11 de remoción de partícula incluye tanto separadores 17 ciclónicos como elementos 18 de filtro. En esta realización, el flujo a través de los separadores del ciclón se divide en una concentración de partícula alta "infra flujo" 21 y una concentración de partícula baja "sobre flujo" 20. El infra flujo 21 se dirige a través de los elementos 18 de filtro y luego sale del montaje a través de la boquilla 13 superior. Algo o todo del sobre flujo 20 deriva los elementos de filtro y se descarga fuera de la boquilla 13 superior.
- 35 La invención se diseña para ser manejada y dispuesta de la misma manera que el combustible nuclear gastado. La geometría de la boquilla superior 13 e inferior 14 se diseña para semejar aquella de un montaje de combustible con propósitos de manejo, y para hacer interfaz con los componentes de recipiente del reactor apropiados.
- 40 En la realización ilustrada en la Figura 7, la senda 19 de flujo de derivación se diseña para controlar la caída de presión a través del montaje, suministrar flujo refrigerante en el evento del taponamiento de los medios de filtro completos, y suministrar una senda de flujo para drenar el agua proveniente del montaje para desecho.
- 45 La invención también se puede adoptar para uso en reactores de agua pesada presurizada (PHWR) o los diseños PWR de Europa del este tales como las plantas VVER.
- 50 En una realización, el aparato de remoción de partícula se maneja, almacena y se desecha de una manera similar al montaje de combustible. A este respecto, después del uso, el aparato de remoción de partículas se puede colocar en un estante de combustible gastado después de que se ha agotado su capacidad de remoción de partícula
- 55 En realizaciones, la capacidad de remoción de partículas se regenera. La regeneración se puede efectuar, por ejemplo, al retro lavar el aparato de remoción de partícula o mediante pieza ultrasónica, aunque están disponibles otras aproximaciones. Puede ser útil para efectuar regeneración durante un corte de mantenimiento normal, de tal manera que la función de regeneración no reduce la disponibilidad de la planta.
- 60 En realizaciones, el aparato de remoción de partículas puede incorporar una pluralidad de zonas de remoción de partículas dentro de una región de remoción de partículas. La pluralidad de las zonas se puede arreglar en series o en paralelo.
- 65 En una realización, un dispositivo que limita el flujo pasivo se utiliza para restringir el flujo que pasa las partículas recolectadas durante las condiciones de operación específicas de la planta para mejorar la retención de las partículas capturadas.
- Como se apreciará de lo anterior, los diseñadores del núcleo pueden optimizar el enriquecimiento y la carga de otros montajes de combustible con el fin de compensar la pérdida de producción de energía que resulta de la remoción de uno o más montajes de combustible del núcleo y remplazarlos con los aparatos de remoción de partícula descritos. Como se discutió anteriormente, colocar el aparato en el sitio del montaje de barrera tendería a resultar en una

penalización reducida con respecto a la producción de energía, en la medida en que aquellos montajes están esencialmente desocupados. La ubicación de los pares de aparatos en ubicaciones simétricas en el núcleo puede simplificar el diseño de núcleo y resultan en hidráulicas y neutrónicas térmicas simétricas.

- 5 Aquellos expertos en la técnica apreciarán que las realizaciones divulgadas descritas aquí son por vía de ejemplo solamente, y que numerosas variaciones existirán. Donde se pueda entender de otra manera por aquellos expertos en la técnica, los términos “sustancialmente” o “aproximadamente” se debe entender que comprende diferencias de aproximadamente 10%. La invención está limitada solamente por las reivindicaciones, que comprenden las realizaciones descritas aquí, así como también las variantes evidentes para aquellos expertos en la técnica. Además, se debe apreciar que las características estructurales y las etapas del método mostrado o descrito en cualquiera de las realizaciones presentes se puede utilizar en otras realizaciones también.
- 10

REIVINDICACIONES

1. Un método para remoción de depósitos de productos de corrosión y partículas de refrigerante primario recirculante en una planta nuclear que comprende:
- 5 operar la planta nuclear para generar energía con un aparato de remoción de partículas que incluye un medio de filtración, el aparato de remoción de partículas se suministra en un núcleo (2) de la planta nuclear durante la generación de energía, y se instala en lugar de al menos un montaje de combustible estándar,
- 10 caracterizado porque
- el medio de filtración se adapta para filtrar las partículas de producto de corrosión con los poros de filtración de un tamaño para remover las partículas en el rango de 0.1 a 8 micrómetros.
- 15 2. El método de la reivindicación 1 en donde el aparato de remoción de partículas se remueve del núcleo (2) después de un ciclo de operación
3. El método de la reivindicación 1 en donde el aparato de remoción de partículas se remueve del núcleo (2) después de más de un ciclo de operación.
- 20 4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3 en donde el aparato de remoción de partículas se instala en la periferia del núcleo (2) del reactor.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-3 en donde el aparato de remoción de partículas se instala en el centro del núcleo (2)
- 25 6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-5 en donde los pares de los aparatos de remoción de partículas se instalan en ubicaciones simétricas dentro del núcleo (2) del reactor.
- 30 7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-6 en donde el diseño del núcleo se ajusta para compensar la producción de energía perdida del combustible que hubiera sido instalada en la ubicación utilizada para el aparato de remoción de partícula
- 35 8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-7 en donde la planta nuclear es una PWR, BWR, CANDU o VVER.
9. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-8 en donde el aparato de remoción de partícula comprende un filtro (18) o un separador (17) de ciclón.
- 40 10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-9 en donde el medio de filtración está comprendido de metal poroso, fibra de metal sinterizado, polvo de metal sinterizado, alambre perfilado, malla de alambre, o combinaciones de las mismas.
- 45 11. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-10 en donde la capacidad de remoción de partícula del aparato de remoción de partícula se regenera.
- 50 12. Un aparato configurado y dispuesto para instalación en el lugar de al menos un montaje de combustible estándar en el núcleo de un reactor nuclear durante la operación de generación de energía del reactor nuclear y además configurado y dispuesto para remoción de partículas de producto de corrosión del circuito primario de una planta de energía nuclear que comprende:
- Una boquilla (14) corriente arriba, configurada y dispuesta para recibir flujo refrigerante que contiene contaminantes en partículas del circuito primario de la planta de energía nuclear;
- Un aparato de remoción de partícula en comunicación fluida con la boquilla (14) corriente arriba y configurada para remover al menos una porción de los contaminantes en partícula como los flujos de refrigerante a través del aparato de remoción de partícula;
- y
- 60 Una boquilla (13) corriente abajo, en comunicación fluida con el aparato de remoción de partícula y configurada y dispuesta para recibir un flujo refrigerante del mismo,
- Caracterizada porque
- 65 el aparato de remoción de partícula comprende un medio de filtración con poros de filtración de un tamaño para remover las partículas del producto de corrosión en el rango de 0.1 a 8 micrómetros.

- 5 13. El aparato de la reivindicación 12 dimensionado sustancialmente equivalente a las dimensiones de un montaje de combustible para uso en el reactor nuclear y que comprenden estructuras de interfaz sustancialmente equivalente a las estructuras de interfaz para el montaje de combustible.
14. El aparato de la reivindicación 12 o 13 en donde la boquilla (14) corriente arriba acopla con una placa de soporte del núcleo inferior del reactor.
- 10 15. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12 -14 en donde la boquilla (13) corriente abajo acopla con la placa de soporte del núcleo superior del reactor.
16. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12-15 en donde el aparato de remoción de partícula comprende una región (11) de remoción de partícula que se extiende sobre solamente una longitud parcial del aparato.
- 15 17. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12-16 en donde la región (11) de remoción de partícula del aparato ocupa una porción de la sección transversal del aparato con un resto de la sección transversal siendo ocupado por las varillas de combustible nuclear.
- 20 18. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12-17, en donde el aparato de remoción de partícula comprende una pluralidad de zonas de remoción de partícula, y cada una de las zonas de remoción de partícula está diseñada para remover partículas de un rango de tamaño diferente.
- 25 19. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12-18 configurados para recolectar hasta 10000 gramos de partícula.
20. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12-19 en donde el aparato de remoción de partícula comprende además un separador (17) de ciclón
- 30 21. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12-20 en donde al menos una porción del medio de filtración está comprendida de metal poroso, fibra de metal sinterizado, polvo de metal sinterizado, alambre perfilado, malla de alambre, o combinaciones de los mismos.
- 35 22. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12-21, que incluye además una senda de flujo que deriva el aparato de remoción de partículas
- 40 23. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12-22 en el cual las sendas de flujo dentro del montaje son de un tamaño de tal manera que la fuerza ejercida sobre las estructuras de soporte del núcleo mediante el arrastre resultante del flujo de fluido a través del aparato cuando el aparato de remoción de partícula está al menos parcialmente taponado está dentro de las tolerancias de diseño para la carga de soporte de núcleo.
- 45 24. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12-23 que comprende además una o más estructuras seleccionadas del grupo que consiste de: un filtro de desechos, válvula de cheque, válvula (15) de pie, o combinaciones de las mismas, que son construidas y dispuestas para reducir el flujo a través del aparato con el fin de retener las partículas capturadas.
- 50 25. El método de la reivindicación 1, en donde el aparato de remoción de partículas incluye una senda (12) de derivación, configurada para permitirle al flujo de fluido derivar el medio de filtro, y en donde el método además comprende abrir el flujo a través de la senda de derivación para reducir la disolución de la capa de suciedad capturada durante el evento de estallido de la capa de suciedad.

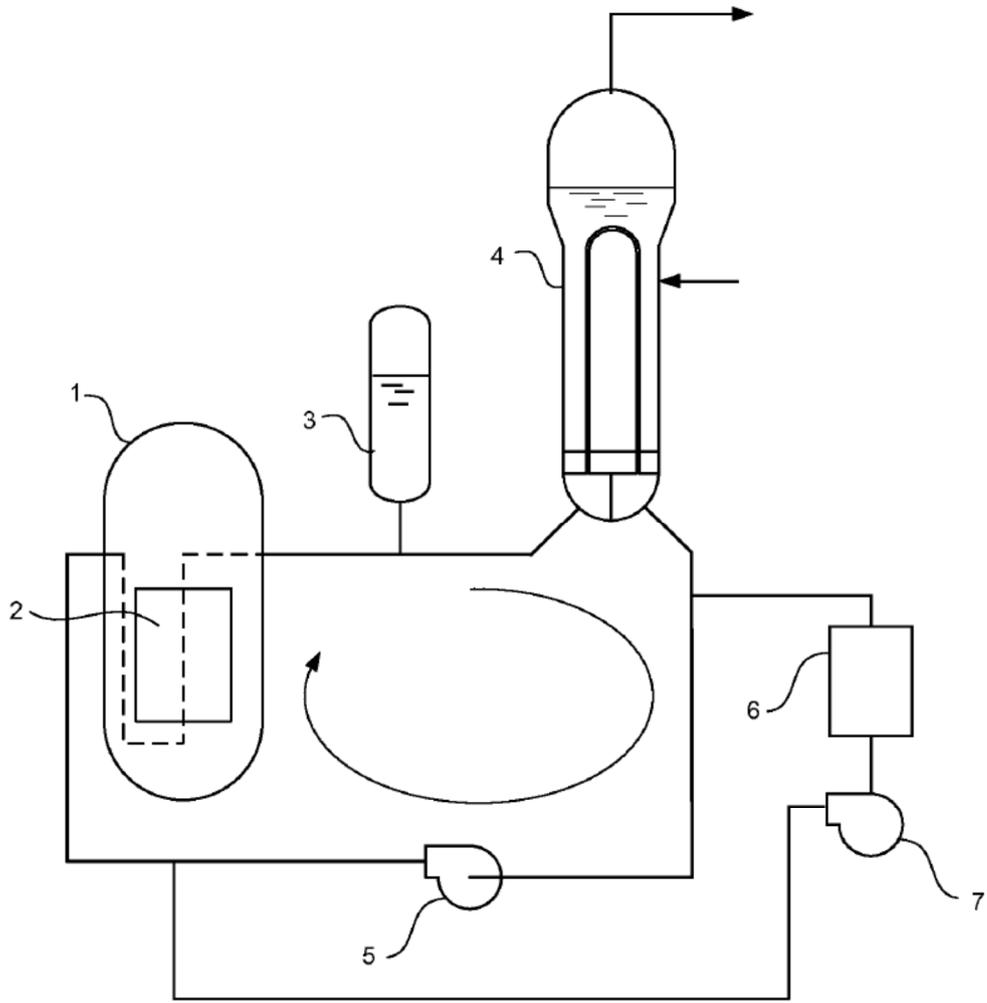


FIG. 1

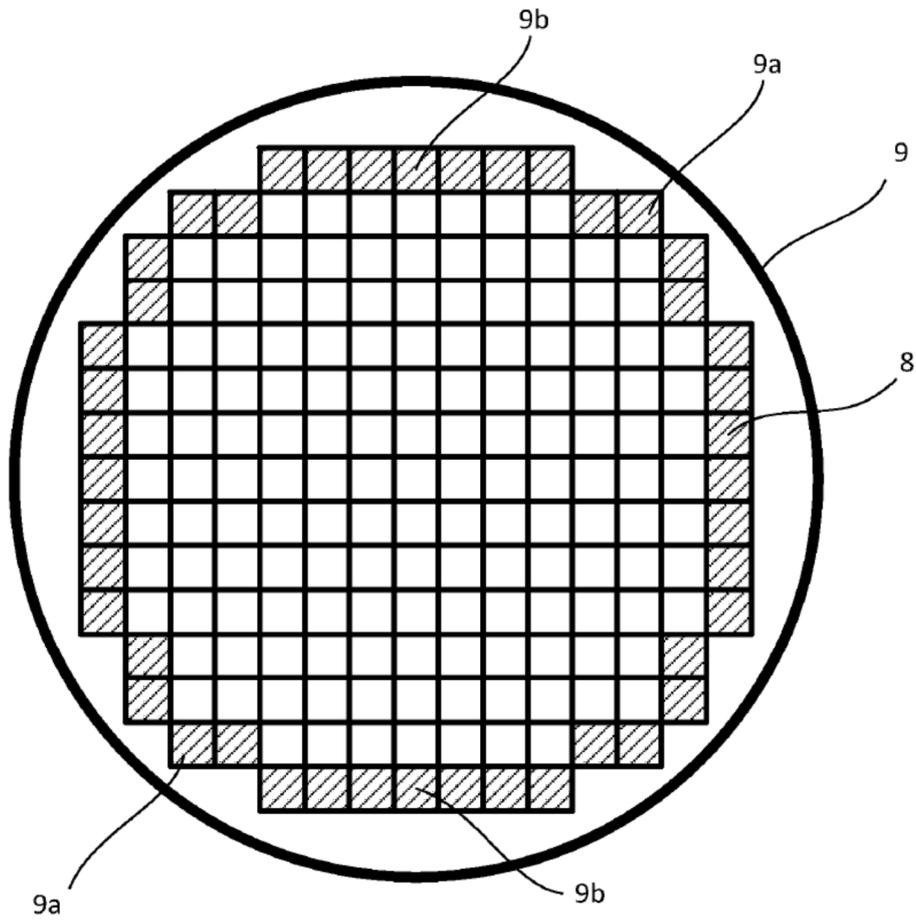


FIG. 2

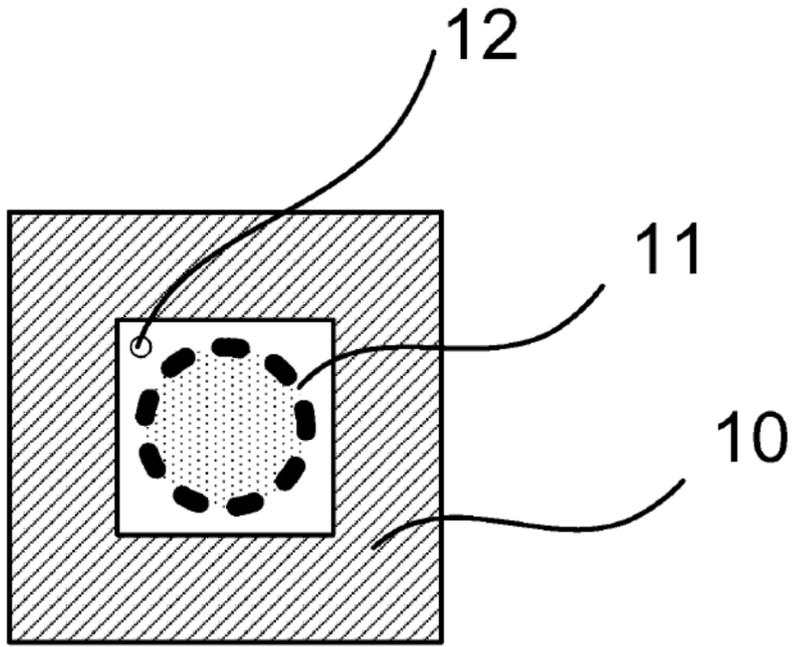


FIG. 3

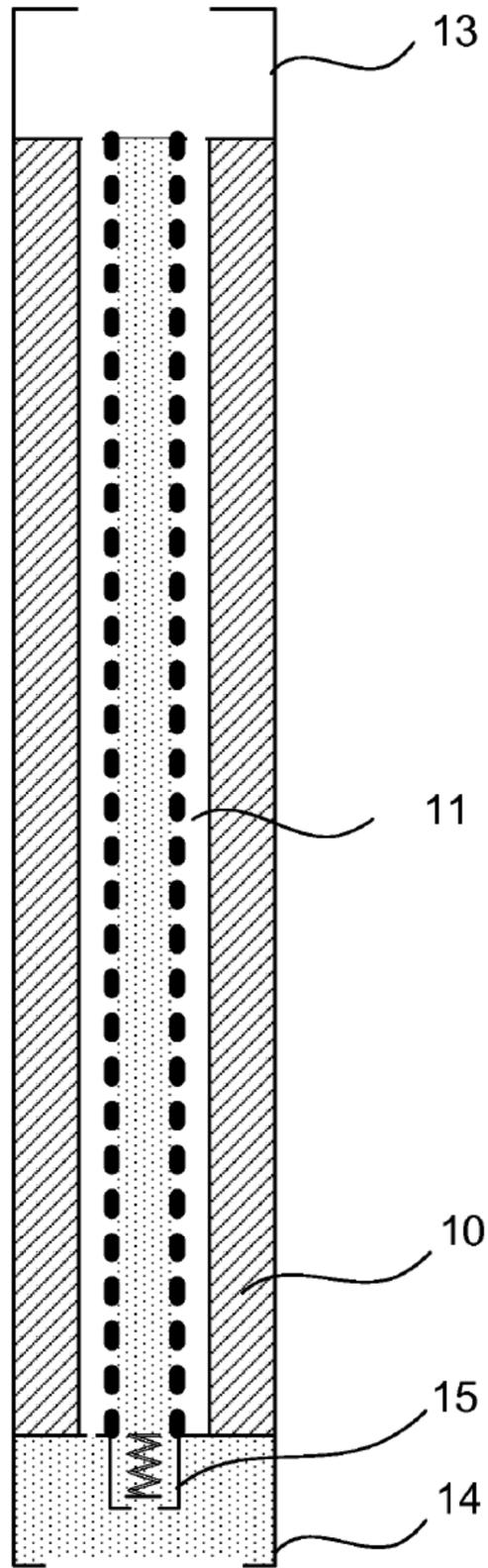


FIG. 4

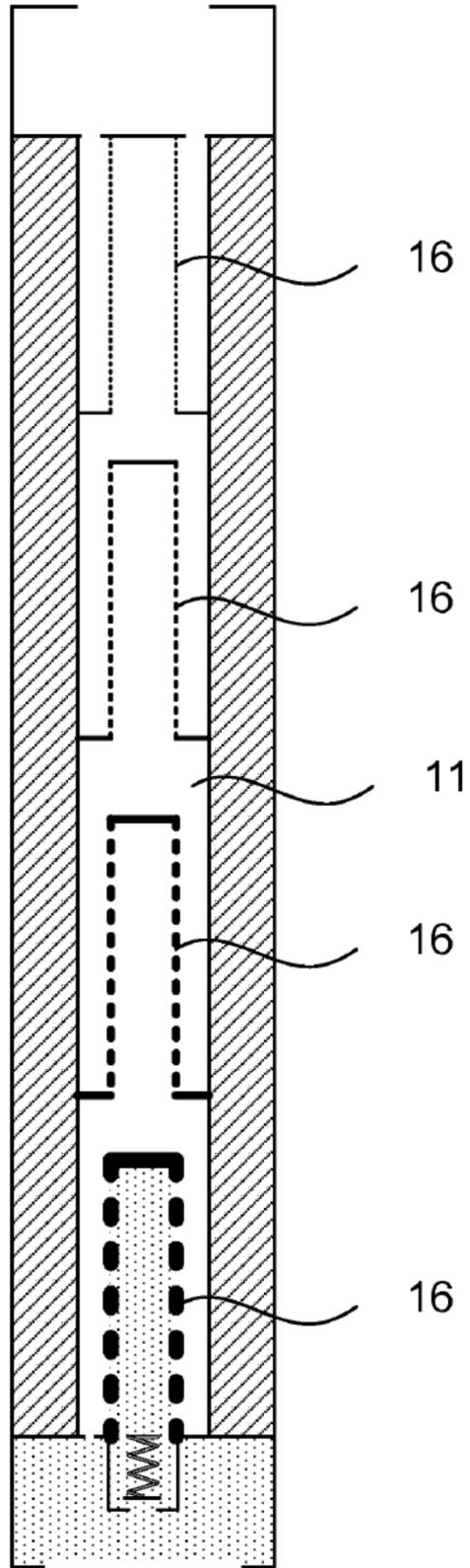


FIG. 5

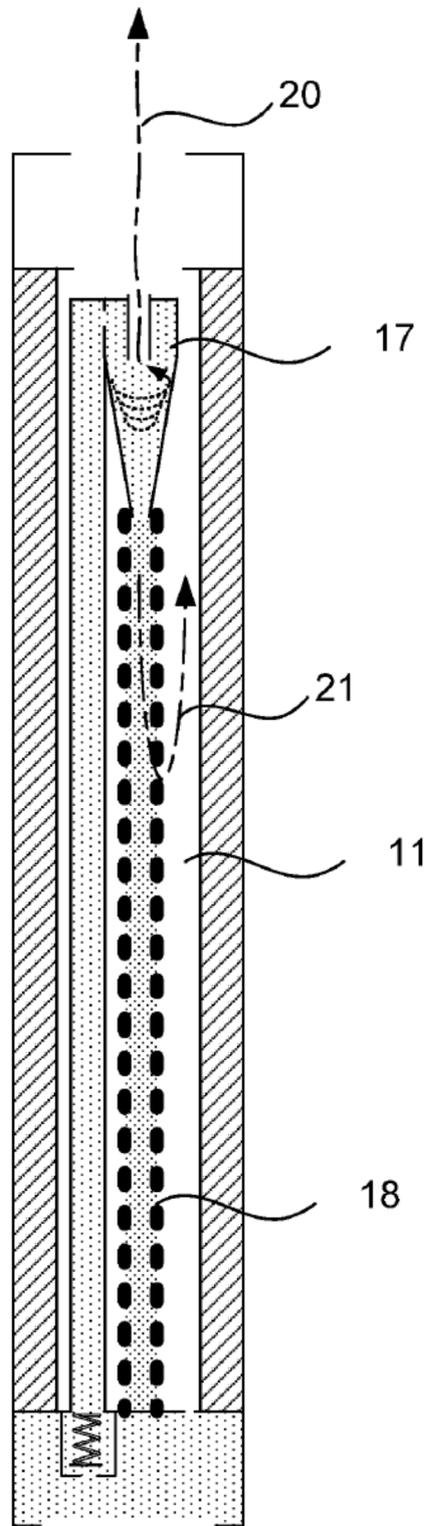


FIG. 6

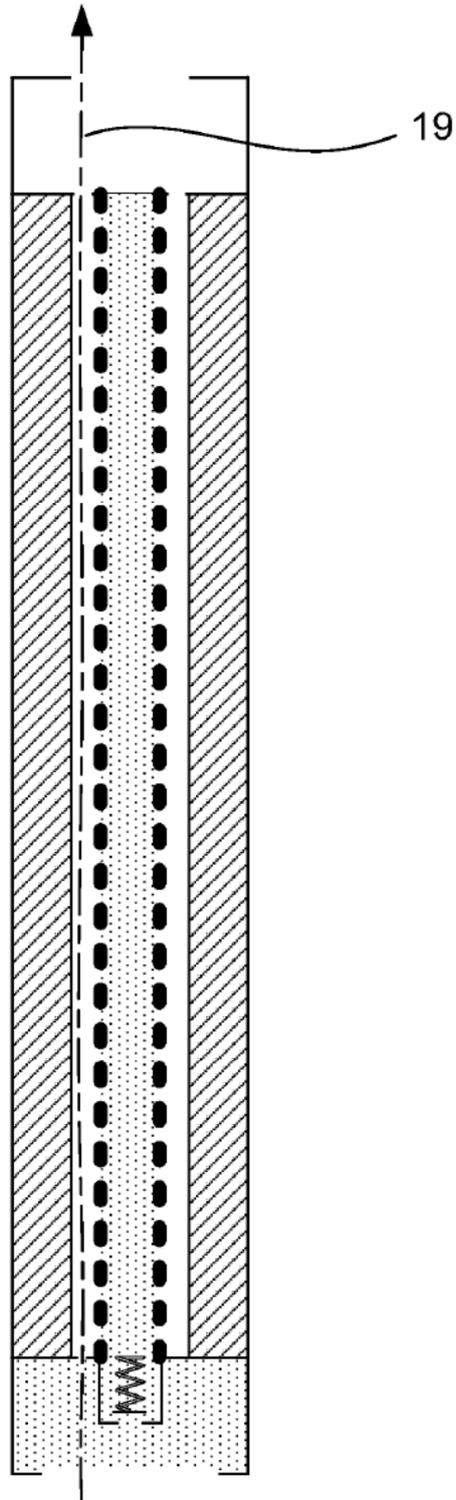


FIG. 7

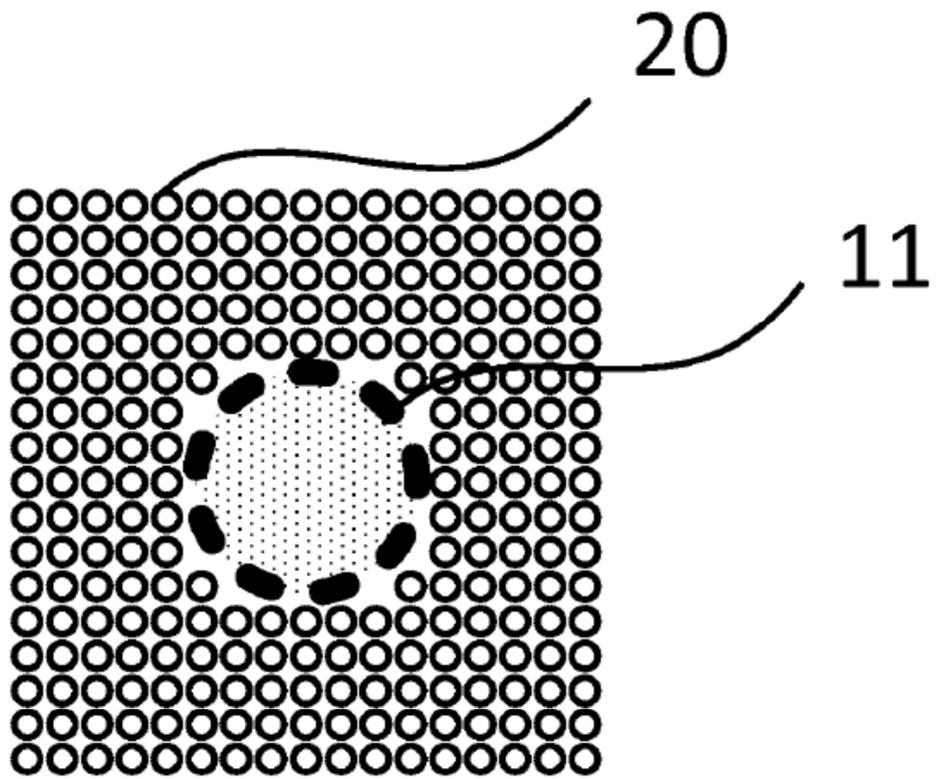


FIG. 8

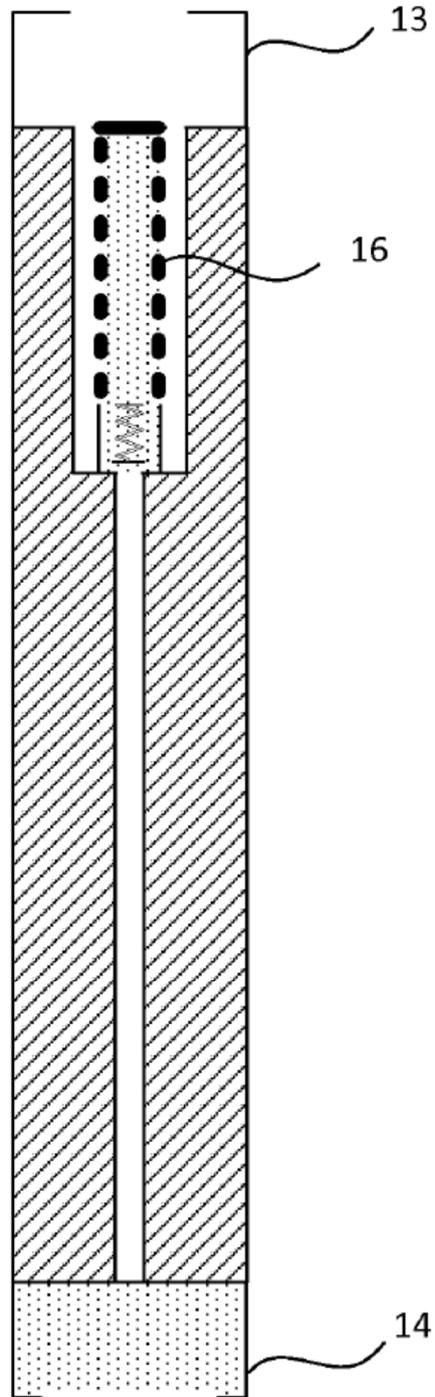


FIG. 9

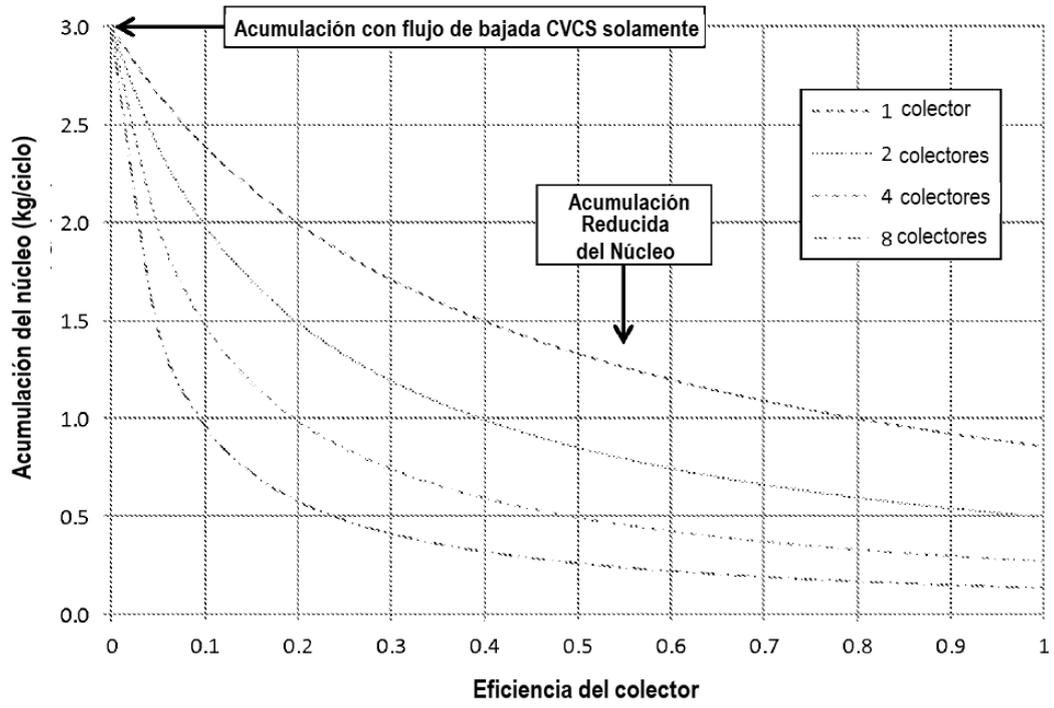


FIG. 10