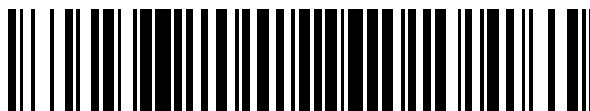


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 239**

51 Int. Cl.:

G21C 7/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2008 E 08014321 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.12.2014 EP 2026358**

54 Título: **Barra de control gris robusta de un reactor nuclear**

30 Prioridad:

17.08.2007 US 840424

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

18.02.2015

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)**

**4350 NORTHERN PIKE
MONROEVILLE, PA 15146-2866, US**

72 Inventor/es:

**POMIRLEAUNU, RADU, O.;
HONE, MICHAEL, J.;
LONG, JOSEPH, C.;
MISVEL, MICHAEL, C. y
STUCKER, DAVID, L.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 529 239 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

Barra de control gris robusta de un reactor nuclear

Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere, en general, a conjuntos de barras de control grises para reactores nucleares y, más concretamente, se refiere a una mejora en la reducción del hinchamiento y calentamiento del material de absorción de neutrones en una región de amortiguador de un manguito de guía de un conjunto combustible cuando una barra de control gris es completamente insertada dentro del núcleo del reactor nuclear.

2. Descripción de la técnica relacionada

- 10 En un reactor nuclear típico, el núcleo del reactor incluye un gran número de conjuntos combustible, cada uno de los cuales está compuesto por unas toberas superior e inferior con una pluralidad de manguitos de guía alargados separados transversalmente que se extienden longitudinalmente entre las toberas y una pluralidad de rejillas de soporte transversales separadas axialmente y fijadas a los manguitos de guía. Así mismo, cada conjunto combustible está compuesto por una pluralidad de elementos combustible alargados o varillas separadas
 15 transversalmente a intervalos regulares unas de otras y respecto de los manguitos de guía, y soportados por las rejillas transversales entre las toberas superior e inferior. Las varillas de combustible contienen material fisible y están agrupadas conjuntamente en una formación que está organizada para proporcionar un flujo de neutrones dentro del núcleo suficiente para soportar una alta tasa de fisión nuclear y, de esta manera, la liberación de una gran cantidad de energía en forma de calor. Un refrigerante líquido es bombeado hacia arriba a través del núcleo con el fin de extraer parte del calor generado dentro del núcleo para la obtención de trabajo aprovechable.

- Dado que la tasa de generación de calor dentro del núcleo del reactor es proporcional a la tasa de fisión nuclear y esta, a su vez, viene determinada por el flujo de neutrones dentro del núcleo, el control de la generación térmica en la puesta en marcha del reactor, durante su operación y su suspensión, se consigue modificando el flujo de neutrones. En general, esto se lleva a cabo absorbiendo el exceso de neutrones utilizando barras de control que
 25 contienen un material absorbente de los neutrones. Los manguitos de guía, además de ser elementos estructurales del conjunto combustible, proporcionan también unos canales para la inserción de las barras de control absorbentes de los neutrones dentro del núcleo del reactor. El nivel del flujo de neutrones, y con ello la producción de calor del núcleo, es normalmente regulada por el movimiento de las barras de control por dentro y desde los manguitos de guía.

- 30 Una disposición habitual que utiliza barras de control en asociación con el conjunto combustible se puede encontrar en la Patente estadounidense No. 4,326,919 de Hill y transferida al cesionario de la presente invención. Esta patente muestra una formación de barras de control soportadas en sus extremos superiores por un conjunto de cruceta el cual, a su vez, está conectado a un mecanismo de arrastre de las barras de control que verticalmente sube y baja
 35 (designada como acción escalonada) las barras de control dentro y fuera de los manguitos de guía huecos del conjunto combustible. La construcción típica de la barra de control en una disposición de este tipo se dispone bajo la forma de un tubo de vaina metálico alargado que presenta un material absorbente de los neutrones dentro del tubo y con los tapones terminales en sus extremos opuestos para cerrar herméticamente el material absorbente dentro del tubo. En general, el material absorbente de los neutrones se presenta bajo la forma de una pila de pastillas
 40 cerámicas o metálicas sólidamente empaquetadas las cuales, en el caso de un material absorbente B4C, solo parcialmente llenan el tubo, dejando un espacio vacío o huelgo axial entre la parte superior de las pastillas y el tapón terminal superior que define una cámara impelente para recibir los gases generados por la operación de control. Un resorte en espiral está dispuesto dentro de la cámara impelente y se mantiene en estado de compresión entre el tapón terminal superior y la pastilla superior para mantener la pila de pastillas en su disposición sólidamente empaquetada durante el escalonamiento de las barras de control.

- 45 De esta manera, las barras de control influyen en la reactividad modificando la absorción directa de los neutrones. Las barras de control son utilizadas para un control rápido de la reactividad. Un controlador químico, por ejemplo ácido bórico, está disuelto en el líquido refrigerante para controlar los cambios de la reactividad a largo plazo. Distribuido más uniformemente por todo el núcleo, la solución de boro conduce a una distribución de la potencia más uniforme y a un agotamiento del combustible de lo que lo hacen las barras de control. La concentración de boro
 50 normalmente se reduce con el envejecimiento del núcleo para compensar el agotamiento del combustible y la acumulación de los productos de fisión.

- La acumulación de los productos de fisión, como por ejemplo el xenón 135, reduce la reactividad mediante la absorción parasitaria de los neutrones, reduciendo con ello la utilización térmica. El xenón 135 (en lo sucesivo designado únicamente como "xenón") es eliminado por la absorción de neutrones o por desintegración. Tras una
 55 reducción de la potencia del núcleo (por ejemplo durante el seguimiento de la carga, que es una reducción en la potencia del reactor en respuesta a una reducción de demanda de potencia), hay disponibles menos neutrones térmicos para eliminar el xenón. Por tanto, la concentración de xenón en el núcleo aumenta.

Este aumento de la concentración del xenón que acompaña a una reducción en la reactividad del núcleo es generalmente compensada o bien mediante la reducción de la concentración del boro disuelto en el líquido refrigerante del núcleo, o bien retirando del núcleo las barras de control. Sin embargo, ambos procedimientos presentan inconvenientes. La modificación de la concentración de boro requiere el tratamiento del refrigerante, esto es, agua, lo que es difícil y no es deseable para la instalación especialmente hacia el final de la vida del núcleo. La eliminación de las barras de control significa que el retorno del núcleo a la capacidad de potencia se reduce incrementándose los factores de pico.

La solución habitual a este problema es incorporar varios bancos de barras útiles de reactividad reducida, conocidas como barras grises, dentro del núcleo a toda potencia y que están disponibles para ser retiradas cuando la potencia se reduzca para compensar la acumulación de xenón. En una planta nuclear pasiva avanzada, conocida como el reactor AP1000, diseñado por el cesionario de la presente invención, serán utilizadas barras grises con un valor de reactividad relativamente bajo para compensar los cambios brutos de la reactividad del núcleo durante el estado estable y de las operaciones de seguimiento de la carga. Esta estrategia operativa se traducirá en un control de las barras grises constantemente mantenidas cíclicamente dentro y fuera del núcleo tanto en el estado estable a toda potencia como en condiciones transitorias de potencia reducida. Durante esta operación, uno o más bancos de barras grises pueden quedar completamente insertados durante extensos periodos de tiempo, situándose las puntas de las barras de control en la región de amortiguador de los tubos de los manguitos de guía. La región de amortiguador presenta una sección de diámetro interior reducido en la porción interior de los tubos de guía de los manguitos que ralentiza el descenso de las barras de control cuando son depositadas para remitir el impacto de la cruceta sobre la tobera superior del conjunto combustible. La región de amortiguador dispuesta en el fondo de cada tubo de manguito de guía es de aproximadamente 0,61 metros de largo. El caudal del refrigerante y el área en sección transversal de refrigerante en la región de amortiguador es ligeramente inferior a la del resto del tubo de manguito de guía cuando la barra de control está insertada.

Los retos técnicos anticipados asociados con esta estrategia operativa pueden incluir:

- la posibilidad de la interferencia mecánica o unión entre la punta de las barras de control grises y el tubo del manguito de guía en la región de amortiguador, debido al hinchamiento producido por la radiación del material absorbente en algunas de las barras grises como resultado de la operación de las barras a largo plazo cuando estén operando a la potencia regular;
- la ebullición del líquido refrigerante en la región de amortiguador cuando las barras grises están completamente insertadas, lo que conduce a la posibilidad de unas tasas de corrosión de los manguitos de guía incrementadas y a una transferencia de calor reducida desde el interior de la barra de control; y
- los retos de la integridad del combustible debidos a los cambios de potencia locales a corto plazo cuando las barras de control grises son en último término retiradas.

El documento EP 0 175 455 D1 divulga una barra de control de reactor nuclear que presenta una punta inferior de utilidad reducida con unas pastillas de un material de absorción de los neutrones y un material inerte dispuesto de manera alternada dentro de aquél para reducir gradualmente la tasa de cambio del flujo de neutrones experimentada en la porción terminal inferior de las barras cuando se desplazan dentro y fuera del conjunto combustible, aliviando de esta manera la interacción del revestimiento de las pastillas y reducir la probabilidad de fallo de las barras de combustible.

La Patente estadounidense 4,820,478 divulga una barra de control de un reactor nuclear para obtener una compensación por xenón, que incluye un miembro cilíndrico interno alargado y un miembro cilíndrico externo alargado con una configuración en sección transversal angular que rodea al miembro interno, en el que cada uno de los miembros está compuesto por regiones alternas de veneno neutrónico "negro" y sin veneno neutrónico. Así mismo, el miembro interno es axialmente amovible con respecto al miembro externo para ajustar el grado en el que las regiones de veneno neutrónico de los miembros se superponen con las regiones sin veneno neutrónico y de esta forma modifican la utilidad global de la barra de una manera axialmente uniforme.

La Patente estadounidense 5,064,607 divulga unas barras grises de reactor nuclear híbridas en las que se utilizan combinaciones geométricas de materiales absorbentes de neutrones relativamente grandes y materiales absorbentes de neutrones relativamente fuertes. Se describen diversas formas de realización que presentan unas pastillas de absorción débiles y fuertes alternadas que pueden tener alturas diferentes, o que incorporen solo pastillas de absorción de neutrones relativamente fuertes decididas dentro de una vaina de acero inoxidable relativamente grueso o que presenten unas pastillas de absorción de neutrones débiles angulares con un material de absorción fuerte contenido dentro de la abertura de cada pastilla de absorción débil.

Por consiguiente, constituye un objetivo de la presente invención solventar la ampliación del diámetro de la vaina de las barras de control debido al hinchamiento inducido por la radiación del material de absorción de neutrones dentro de la barra de control en la región de la vaina de la barra de control que tropieza con el amortiguador cuando la barra de amortiguación está totalmente insertada.

Constituye un objetivo adicional de la presente invención reducir el calentamiento de la punta de la barra de control en la región del amortiguador cuando la barra de control está completamente insertada.

Constituye un objetivo adicional de la presente invención reducir el rápido cambio de la reactividad que se produce en el núcleo cuando las barras de control grises son lentamente retiradas.

5 **Sumario de la invención**

Estos y otros objetivos se consiguen mediante la presente invención, según se define en las reivindicaciones adjuntas, la cual emplea un material absorbente de valor inferior con unas excelentes características de hinchamiento inducidas por la radiación en las puntas de las barras de control grises. El material de la punta preferente es cualquiera de las diversas aleaciones estructurales de níquel comerciales que son conocidas y que muestran un hinchamiento mínimo (sustancialmente inferior a los materiales de absorción típicos como por ejemplo Ag - In - Cd) bajo condiciones de fluencia de los neutrones extremadamente altas. Esto reducirá de manera significativa el riesgo de que las barras de control grises interfieren mecánicamente con la región de amortiguador o que caigan para insertarse completamente cuando sea necesario después de una reducción de la potencia de cualquiera de los circuitos de seguridad del reactor. El valor de reactividad de la sección inferior de la aleación de níquel de la barra gris es de aproximadamente de un 50 a un 60% de la estructura de absorción principal situado por encima de la sección inferior, lo que proporciona una región de transición de baja absorción entre la absorción y la punta más inferior de la barra de control gris. Así mismo, la aleación de níquel presenta aproximadamente la mitad del peso atómico medio de la estructura del material de absorción principal y presenta una temperatura de fusión significativamente más elevada. La tasa de calentamiento interna se reducirá de manera más considerable en la zona de la punta de la aleación de níquel debido tanto a la absorción de neutrones baja como al calentamiento de rayos gamma menor. Como resultado de ello, se reducirá de manera significativa el riesgo tanto de ebullición del líquido refrigerante en la región de amortiguador como la fusión de la línea central del material de absorción si se utilizan puntas de aleación de níquel. Finalmente, la inclusión de la zona de absorción de valor baja en la punta se traducirá en un incremento más gradual en los niveles de potencia locales cuando las barras grises sean retiradas a ritmos lentos (como sería típico para la mayoría de la operación a toda potencia en condiciones de estado estables). Este incremento más gradual en la potencia local reducirá de manera significativa la posibilidad de daños al combustible debidos a cambios de la potencia local excesivamente amplios o rápidos.

De modo preferente, las puntas de aleación de níquel se extienden en altura hasta ligeramente por encima del amortiguador cuando las barras de control grises están completamente insertadas, hasta un punto en el que cualquier abultamiento probable de la vaina de las barras de control grises no se extienda por el interior de la región de amortiguador.

Breve descripción de los dibujos

Una comprensión más acabada de la invención puede obtenerse a partir de la descripción posterior de las formas de realización preferentes leídas en combinación con los dibujos adjuntos, en los cuales:

35 La Fig. 1 es una vista en alzado de un conjunto combustible, ilustrado en forma verticalmente acortada, y de un conjunto al efecto, parcialmente mostrado en el dibujo en línea oculta;

la Fig. 2A es una vista en alzado parcialmente en sección del conjunto de control de la Fig. 1, que ha sido retirado del conjunto combustible;

40 la Fig. 2B es una vista en planta del conjunto de cruceta de barras de control para el conjunto de control de la Fig. 2A;

la Fig. 3A es una vista en sección de unas barritas de un conjunto de control de barras grises, que muestra una porción inferior de las barritas insertadas dentro de una porción de amortiguador de un tubo de guía de manguito; y

45 la Fig. 3B es una vista en sección de tamaño ampliado de la región e amortiguador superior mostrada en la Fig. 3A.

Descripción de las formas de realización preferentes

Por razones de sencillez, la invención se describirá con referencia a un diseño de núcleo de reactor de agua a presión comercialmente conocido con la denominación AP1000. El reactor AP1000 es un diseño de Westinghouse Electric Company LLC. La Westinghouse Electric Company LLC tiene sus oficinas centrales en el Gran Pittsburgh, área de Pensilvania. La referencia al diseño del reactor AP1000 se ofrece únicamente con fines ejemplares ilustrativos y no pretende constituir una limitación sobre el alcance de la invención. Por tanto, se debe apreciar que el diseño del conjunto de control de las barras grises ejemplares de la presente forma de realización preferente de la invención se aplica a una amplia variedad de diseños de reactor distintos.

Las frases direccionales utilizadas en la presente memoria, como por ejemplo superior, inferior, de arriba, de fondo, izquierda, derecha y sus derivadas, en su mayor parte, se refieren a la orientación de los elementos mostrados en los dibujos y no pretende ser limitativa de las indicaciones a menos que se exprese en la presente memoria lo contrario.

- 5 Según se emplea en la presente memoria, la declaración de que dos o más partes están “acopladas” entre sí, se referirá a que las partes están unidas entre sí, ya sea directamente o unidas por medio de una o más piezas intermedias.

Según se emplea en la presente memoria, el término “número” se referirá a uno o más de uno, esto es a una pluralidad.

10 **Conjunto Combustible**

Con referencia ahora a los dibujos y, en particular, a la Fig. 1, en ella se muestra una vista en alzado de un conjunto combustible de reactor nuclear, representado en forma verticalmente acortada y que se designa globalmente mediante la referencia numeral 10. El conjunto combustible 10 es del tipo utilizado en un reactor de agua a presión y presenta un esqueleto estructural el cual, en su extremo inferior, incluye una tobera 12 de fondo para soportar el conjunto combustible 10 sobre una placa 14 de soporte en la región del núcleo del reactor nuclear (no mostrado), una tobera 16 superior en su extremo superior y una pluralidad de tubos de guía o manguitos 18 que se extienden longitudinalmente entre y que están rígidamente acoplados en extremos opuestos al fondo y a la parte superior de las toberas 12 y 16.

El conjunto combustible 10 incluye además una pluralidad de rejillas 20 transversales separadas axialmente a intervalos regulares y montadas sobre los tubos 18 de los manguitos de guía y una formación organizada de varillas de combustible 22 alargadas separadas transversalmente y soportadas por las rejillas 20. El conjunto 10 incorpora también un tubo 24 de instrumentación situado en su centro y que se extiende entre y que está montado sobre las toberas 12 y 16 de fondo y superior. Teniendo en cuenta la disposición precedente de las piezas, se debe entender que el conjunto combustible 10 forma una unidad integral capaz de ser cómodamente manejada sin daños del conjunto de las piezas.

Según se analizó con anterioridad, la formación de varillas combustible 22 dentro del conjunto combustible 10 es mantenida en relación separada unas con otras por las rejillas 20 las cuales están separadas a intervalos regulares a lo largo de la longitud del conjunto combustible. Cada varilla de combustible 22 incluye unas pastillas 26 de combustible nuclear y está cerrada en sus extremos opuestos por unos tapones 28 y 30 terminales superior e inferior. Las pastillas 26 se mantiene en una pila de resorte 32 impelente dispuesto entre el tapón 28 superior y la parte superior de la pila de pastillas. Las pastillas 26 de combustible, compuestas por material fisible, son responsables de la creación de la potencia reactiva del reactor. Un líquido moderador / refrigerante, como por ejemplo agua o agua con boro, es bombeado hacia arriba a través de una pluralidad de aberturas de flujo dispuestas en la placa 14 inferior del núcleo hacia el conjunto combustible. La tobera 12 de fondo del conjunto combustible 10 hace pasar el líquido refrigerante hacia arriba a través de los tubos 18 de guía y a lo largo de las varillas de combustible 22 del conjunto, con el fin de extraer el calor generado en su interior para la obtención de trabajo útil. Para controlar el proceso de fisión, una pluralidad de barras 34 de control son amovibles en vaivén dentro de los manguitos 18 de guía situados en posiciones predeterminadas dentro del conjunto combustible 10. Un conjunto de cruceta 398 situado por encima de la tobera 16 superior soporta las barras 34 de control.

Las Figs. 2A y 2B muestran el conjunto 36 de barras de control grises después de que ha sido retirado del conjunto combustible 10 de la Fig. 1. En términos generales, el conjunto 36 de barras de control grises presenta un miembro 37 cilíndrico con una pluralidad de aletas o brazos 38 los cuales comprenden el conjunto 39 de cruceta, mostrado de forma óptima en la Fig. 2B. Cada brazo 38 está interconectado con las barras 34 de control grises de forma que el conjunto 36 de barras de control grises puede ser operado para desplazar las barras 34 de control grises por dentro de los manguitos 18 de guía (Fig. 1) para de esta manera controlar el proceso de fisión del conjunto combustible 10 (Fig. 1), todo ello de una forma bien conocida. Con la excepción del conjunto de barras de control grises ejemplar que comprende un diseño de barras de control grises avanzado, el cual se analizará más adelante, todo lo precedente es antiguo y en términos generales bien conocido en la técnica. La forma de realización preferente posterior de la presente invención se mostrará en cuanto a su aplicación en un conjunto de control de barras grises, el cual sustancialmente en todos los aspectos es el mismo que el de un conjunto de barras de control normales, excepto porque el valor de reactividad total de un conjunto de barras de control grises es sustancialmente inferior al de un conjunto de barras de control normales que se basa en su aplicación al cierre.

Conjunto de Barras de Control Avanzado

Se presenta un conjunto de barras de control nuclear que es capaz de mayor medida de: (a) reducir las posibilidades de interferencia con la región de amortiguador de un conjunto combustible nuclear debido al hinchamiento de la punta del absorbedor; (b) potenciar el margen de diseño térmico con respecto a la ebullición del amortiguador y de la fusión del absorbedor; (c) reducir el trabajo térmico - mecánico de la vaina de las varillas de combustible tras la retirada de las barras de control. Este concepto proporciona todos los beneficios relacionados con anterioridad si se

utilizan en reactores en los que los conjuntos combustible presenten una sección de diámetro interior reducido de los tubos de guía de los manguitos, conocida como la región de amortiguador. Cuando las barras de control se depositan dentro del núcleo, desplazan el agua existente en los tubos de los manguitos de guía lo que ralentiza su descenso. La porción de diámetro reducido en el extremo inferior de los tubos de los manguitos de guía reduce aún más la velocidad del descenso de la barra de control de forma que llega a detenerse con un suave aterrizaje separado axialmente de un tapón terminal de los tubos de los manguitos de fondo. Esto reduce el impacto de la cruceta sobre la tobera 16 superior. En el reactor AP1000 las barras 34 de color grises con un valor de reactividad relativamente bajo serán utilizadas para compensar los cambios bruscos en la reactividad del núcleo durante el estado estable y las operaciones de seguimiento de la carga. Esta estrategia operativa se traducirá en la presencia de unas barras de control grises que se desplacen constantemente en ciclo dentro y fuera del ciclo, tanto en el estado estable de potencia plena como en las condiciones transitorias de potencia reducida. Durante esta operación, uno o más bancos de barras de control grises resultarán completamente insertados durante extensos de tiempo con las puntas de las barras de región de las barras de control situadas en la región de amortiguador de los tubos 18 de los manguitos de guía. La región de amortiguador dispuesta en el fondo de cada tubo de manguito de guía tiene aproximadamente 0,61 metros, y tiene un diámetro interno reducido. El caudal del líquido refrigerante y el área en sección transversal del refrigerante en la región de amortiguador son considerablemente inferiores que en el resto de los tubos de manguitos de guía cuando la barra de control está insertada. Como se indicó con anterioridad, esto se anticipa para crear una pluralidad de retos técnicos. El material absorbedor de Ag - In - Cd es sabido que se hincha cuando se somete a una irradiación prolongada y presiona sobre la vaina de las barras 34 de control, expandiendo la vaina en alguna medida. La operación de las barras a largo plazo en la potencia es anticipada para crear una cierta interferencia mecánica entre el amortiguador de diámetro reducido y la vaina de las barras de control que podría impedir que las barras quedaran o bien completamente insertadas o retiradas. En segundo lugar la ebullición del líquido refrigerante en la región de amortiguador cuando las barras grises están completamente insertadas es probable que se produzca debido a las tasas de calentamiento de los materiales de Ag - In - Cd y el caudal del refrigerante inferior. Esto podría conducir a la posibilidad de unas tasas de corrosión incrementadas de los manguitos 18 de guía y a una reducción de la transferencia de agua desde el interior de la barra 34 de control. Por último, existe la preocupación relacionada con la integridad de las varillas de combustible debido a los cambios locales de potencia a corto plazo cuando las barras grises son en último término retiradas.

El concepto de la presente invención resuelve estas inquietudes mediante la sustitución de la sección inferior de una barra 34 de control gris por un material con unas características de absorción de los neutrones menores que las de las secciones superiores y que no muestra ningún hinchamiento significativo cuando se somete a radiación. Ejemplos de estos tipos de materiales son la Aleación 600 [UNS N06600], Aleación 625 [UNS N06625], Aleación 690 [UNS N06690] o Aleación 718 [UNS N07718]. La longitud de la sección inferior es convenientemente lo suficientemente larga para que el material de la sección superior no se superponga con la zona de diámetro interior reducido de los tubos de los manguitos de guía del conjunto combustible, conocida como región de amortiguador. El material de la sección inferior podría presentar la forma de una barra, unas barras o pastillas.

Con referencia a las Figs. 2A y 2B, en ellas se muestran la configuración general de las barras de control. Con el fin de aprovechar las capacidades de control de la reactividad del elemento de compensación mecánico suministradas por las barras grises de utilidad para la reactividad, por oposición a un elemento de composición químico que requiera el cambio de la concentración del boro soluble del líquido refrigerante del reactor, conocidas como conjuntos de las barras de control, por ejemplo los conjuntos 36 de barras de control existentes para el reactor AP1000, emplean unos conjuntos de barras de control grises. Sin embargo, aunque el diseño de los conjuntos de control de las barras grises para el diseño del reactor AP1000 presenta 24 barras que están globalmente configuradas según se muestra en la Fig. 2B, algunas (si es que alguna) de las 24 barras pueden ser barras de desplazamiento de agua de acero inoxidable (por ejemplo, sin limitación SS-304) y el resto de las barras son barras de absorción de los neutrones. Por tanto, esencialmente todo el material de absorción de neutrones está localizado y aislado en los emplazamientos de los conjuntos de las barras grises que no presentan barras de desplazamiento de agua.

Así mismo, en una forma de realización del diseño AP1000, el material de absorción comprende un material absorbedor de Ag - In - Cd compuesto por aproximadamente un 80% de plata, aproximadamente un 15% de Indio y aproximadamente un 5% de Cadmio. Este material absorbente está en consonancia con los conjuntos de control de aglomeraciones de barras de gran resistencia estándar en las que todas las 24 barras son de Ag - In, Cd. Sin embargo, se debe apreciar que el diseño final del AP1000 puede, por el contrario, emplear otro material absorbente de los neutrones tradicional como por ejemplo plata (Ag) como el absorbente principal, por ejemplo la configuración descrita en la Solicitud de Patente estadounidense con el No. de Serie 11/189,472, depositada el 26 de julio de 2005 y transferida al cesionario de la presente invención.

De acuerdo con la presente invención, el uso de un material absorbente de valor menor con unas excelentes características de hinchamiento inducidas por la radiación en las puntas de las barras de control grises reducirá la probabilidad de que todos los riesgos señalados identificados para la estrategia de control que deben ser empleados con el reactor AP1000. El material de punta preferente es cualquiera de las diversas aleaciones estructurales comerciales de níquel que son conocidas y que muestran un hinchamiento mínimo (sustancialmente menos del material absorbente típico, por ejemplo Ag - In - Cd) bajo condiciones de fluencia de neutrones extremadamente elevadas, por ejemplo Aleación 600 [UNS N06600], Aleación 625 [UNS N06625], Aleación 690 [UNS N06690] y

Aleación 718 [UNS N07718]. Esto reducirá de manera significativa el riesgo de que las barras de control grises interfieran mecánicamente con la región de amortiguador o que caigan completamente en un inserto cuando se las requiera como consecuencia de la reducción de potencia iniciada por cualquiera de los circuitos de seguridad del reactor nuclear. Como se indicó con anterioridad, el valor de la reactividad de la sección inferior de la aleación de níquel de la barra gris de la presente invención es de aproximadamente un 50 a un 60% del material absorbedor que se planea utilizar por encima de esta sección inferior de la barra de control gris que proporcione la región de transición de la absorción baja entre la porción absorbente superior y de la punta de más debajo de la barra de control gris. Así mismo, la aleación de níquel presenta la mitad del peso atómico medio del material absorbente principal y presenta una temperatura de fusión significativamente más alta. La tasa de calentamiento interno se reducirá de manera considerable en la zona de la punta de la aleación de níquel debido tanto a la absorción de neutrones baja como al calentamiento menor de los rayos gamma. Como resultado de ello, el riesgo tanto de ebullición del líquido refrigerante en la región de amortiguador como en la fusión de la línea central del material absorbente será considerablemente inferior si se utilizan las puntas de aleación de níquel. Por último, la inclusión de una zona de absorbente de valor menor en la punta se traducirá en incrementos graduales en los niveles de potencia local cuando las barras grises sean retiradas a velocidades lentas (como resultaría típico para la mayor parte de la operación en toda potencia en condiciones de estado estable). Este incremento más gradual de la potencia local reducirá de manera considerable la posibilidad de daños al combustible debidos a los cambios de potencia excesivamente largos o locales rápidos.

La Fig. 3A muestra la porción inferior de una barra 34 de control completamente insertada dentro del amortiguador 42. La barra 34 de control comprende una vaina 40 tubular alargada que presenta un tapón 46 terminal inferior y un tapón terminal superior que no se muestra. El material 50 de aleación de níquel se extiende desde el tapón 46 terminal inferior hasta una elevación 56 a lo largo de la barra 34 de control que está justo por encima de la parte superior del amortiguador 44. El material 48 absorbente superior gris se extiende desde la elevación 56 hasta un punto por debajo de la tapa terminal superior de la barra de control. La longitud combinada del material 50 de aleación de níquel y del material 48 absorbente gris debe ser aproximadamente igual o mayor que la longitud de la pila de pastillas de combustible del conjunto combustible en el que la barra de control debe ser insertada. Cuando la barra de control está completamente insertada dentro del amortiguador 42 se asienta por encima de un tapón terminal interior del tubo 18 del manguito de guía. La altura total del amortiguador es típicamente justo por debajo de los 0,61 metros. La longitud del material de aleación de níquel está calibrada para que se extienda justo más allá del extremo 44 superior del amortiguador, una distancia que impedirá cualquier abultamiento de la vaina 40 de la barra de control debido al hinchamiento del material 48 absorbente llegue a la parte superior del amortiguador 44. La Fig. 3B muestra una sección de tamaño ampliado de una porción superior de la Fig. 3A, que proporciona una vista mejor de la superficie de contacto entre las paredes del tubo 18 del manguito de guía y del amortiguador 42 y de la vaina 40 de metal de la barra de control gris en el área de la punta 50 de la aleación de níquel. De modo preferente, la punta 50 de la aleación de níquel no se extiende más de un 20% de la longitud combinada de la punta 50 de la aleación de níquel y del material 48 absorbente superior gris.

Aunque se han descrito con detalle formas de realización específicas de la invención, se debe apreciar por parte de los expertos en la materia que podrían desarrollarse diversas modificaciones y alternativas a esos detalles a la luz de las enseñanzas globales de la divulgación. Por consiguiente, las formas de realización concretas divulgadas tienden a ser solo ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención la cual se ofrece en toda su amplitud en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un conjunto combustible (10) nuclear que presenta una sección de diámetro interior reducido de los tubos (18) de guía de los manguitos conocidos como región (42) de amortiguador, y que comprende una barra (34) de control, comprendiendo la barra (34) de control:
- 5 una vaina (40) tubular alargada que presenta una dimensión axial con un primer extremo en una extensión de la dimensión axial y un segundo extremo en la dimensión axial, presentando la vaina (40) tubular un diámetro exterior dimensionado para insertarse dentro de una dimensión más estrecha de un interior hueco de un manguito (18) de guía de barras de control del conjunto combustible (10) nuclear, presentando el interior hueco del manguito (18) de guía de barras de control un extremo superior que recibe la barra (34)
- 10 de control y el extremo inferior que presenta un diámetro interno reducido que funciona como un amortiguador (42) cuando la barra (34) de control se deposita dentro del manguito (18) de guía, extendiéndose la porción de diámetro reducido desde una porción inferior del manguito (18) de guía de las barras de control hacia arriba hasta no más del veinte por ciento de una altura del interior hueco del manguito (18) de guía,
- 15 un primer tapón (46) terminal que cierra el primer extremo de la vaina (40) tubular alargada y diseñado para ser recibido de manera deslizante dentro del amortiguador (42),
- un primer material (50) de absorción de los neutrones que ocupa una porción inferior de la vaina (40) tubular alargada en proximidad al tapón (46) terminal inferior y que se extiende hasta una distancia axialmente a través de la vaina (40) tubular alargada; sustancialmente igual o ligeramente mayor que una
- 20 longitud sobre la que la vaina (40) tubular alargada sería recibida dentro del amortiguador (42) cuando la barra (34) de control haya sido completamente insertada dentro del manguito (18) de guía de las barras de control;
- un segundo material (48) de absorción de neutrones que ocupa una porción de un resto del interior hueco del miembro (40) tubular alargado por encima del primer material (50) de absorción de neutrones, presentando el segundo material (48) de absorción de neutrones un valor de reactividad sustancialmente
- 25 más alto que el del primer material (50) de absorción de neutrones, y un segundo tapón terminal para el cierre del segundo extremo de la vaina tubular alargada
- en el que dicho primer material (50) de absorción de neutrones no experimenta ningún hinchamiento significativo sometido a radiación.
- 30 2.- El conjunto combustible (10) nuclear de la reivindicación 1, en el que el primer material (50) de absorción de neutrones es una aleación de níquel seleccionada entre el grupo de Aleación 600, Aleación 625, Aleación 690 y Aleación 718.
- 3.- El conjunto combustible (10) nuclear de la reivindicación 1, en el que la barra (34) de control es una barra gris.
- 4.- El conjunto combustible (10) nuclear de la reivindicación 1, en el que el segundo material (48) de absorción de
- 35 neutrones es Ag-In-Cd o Ag.
- 5.- El conjunto combustible (10) nuclear de la reivindicación 1, en el que el primer material (50) de absorción de neutrones se extiende hasta una distancia axialmente a través de la vaina (40) tubular alargada la medida suficiente por encima de la longitud que la vaina (40) tubular alargada sería recibida por dentro del amortiguador (42) cuando la barra (34) de control haya sido completamente insertada dentro del manguito (18) de guía de barras de control
- 40 para que un ensanchamiento probable de la vaina debido al hinchamiento del material (48) de absorción de neutrones sometido a la radiación no se extienda por dentro de la vaina (40) recibida dentro del amortiguador (42).
- 6.- El conjunto combustible (10) nuclear de la reivindicación 1, en el que la distancia sobre la que el material (50) de absorción de neutrones se extiende axialmente a través de la vaina (40) tubular alargada no es mayor que la distancia sobre la que se extiende el amortiguador (42) desde un tapón (46) terminal del manguito de guía de barras de control inferior.
- 45 7.- El conjunto combustible (10) nuclear de la reivindicación 6, en el que la distancia sobre el que el primer material (50) de absorción de neutrones se extiende axialmente a través de la vaina (40) tubular alargada es inferior a 0,61 m.
- 8.- El conjunto combustible (10) nuclear de la reivindicación 7, en el que el primer material (50) de absorción de neutrones y el segundo material (48) de absorción de neutrones se extienden colectivamente, axialmente a través de la vaina (40) tubular alargada hasta una altura superior o igual a la altura de una pila de pastillas de combustible dentro del conjunto combustible (10) nuclear en el que la barra (34) de control debe ser insertada.
- 50 9.- El conjunto combustible (10) nuclear de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende un conjunto (36) de barras de control que presenta una pluralidad de barras (34) de control.

10.- Un reactor nuclear que comprende un núcleo que presenta una pluralidad de conjuntos combustible (10) nucleares, al menos algunos de los cuales son conjuntos combustible (10) nucleares de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

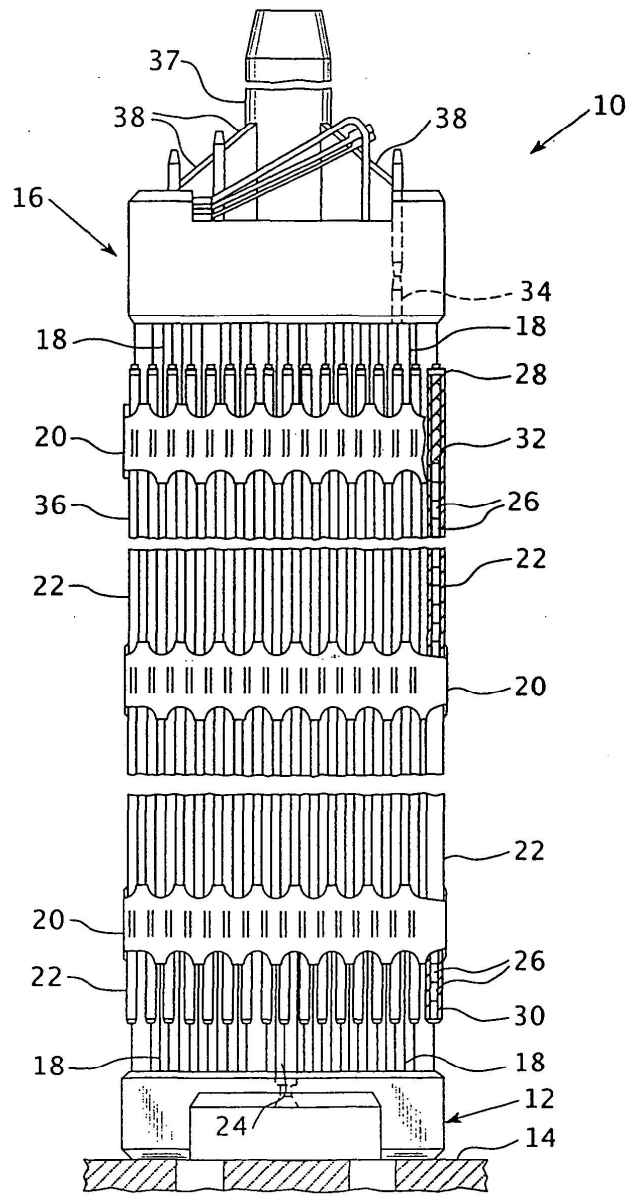


FIG. 1

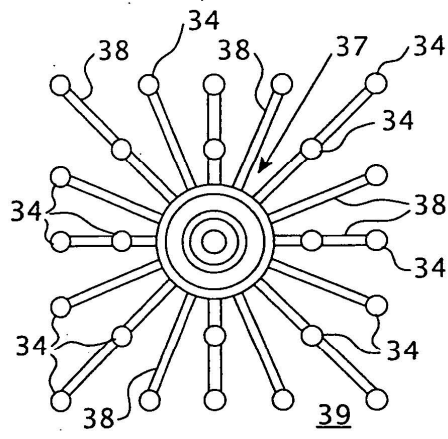


FIG. 2B

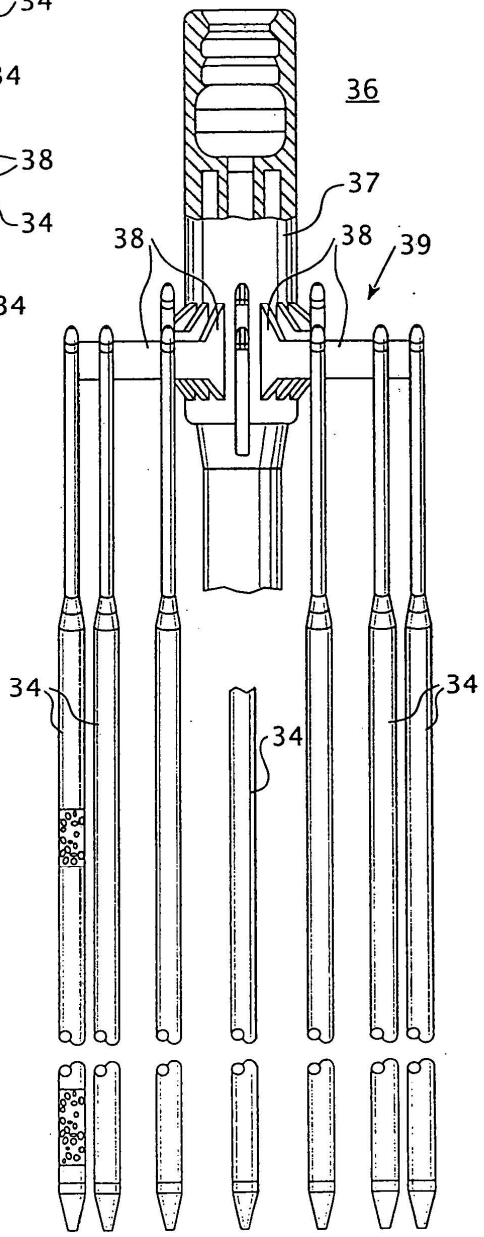


FIG. 2A

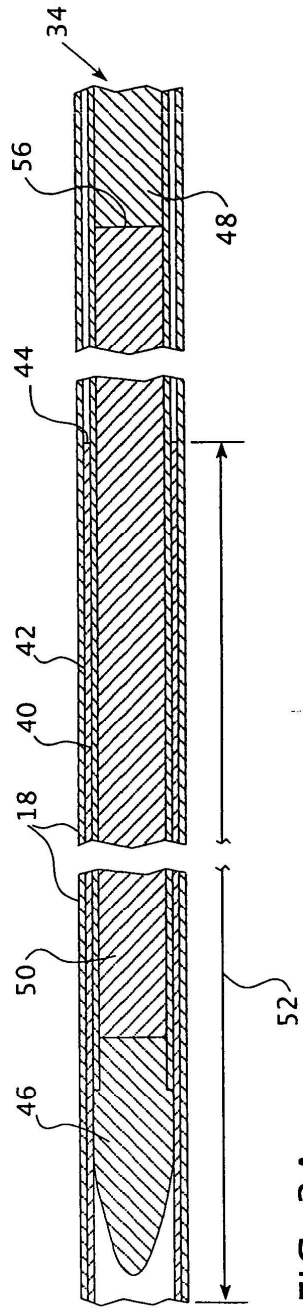


FIG. 3A

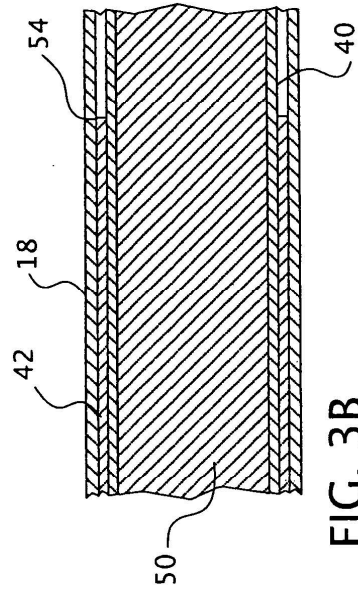


FIG. 3B