(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 380 669**

(51) Int. CI.:
G21C 3/32 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **04030857 .9**
(96) Fecha de presentación: **28.12.2004**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1551033**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **06.07.2005**

(54) Título: **Tobera de fondo con filtro de residuos para un conjunto combustible nuclear**

(30) Prioridad:
05.01.2004 US 751349

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.05.2012

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.05.2012

(73) Titular/es:
WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
P.O. BOX 355
PITTSBURGH, PA 15230-0355, US

(72) Inventor/es:
Broach, Kirkland D.;
Hazlett, Phillip L. y
Lunde, Carter E.

(74) Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

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

Tobera de fondo con filtro de residuos para un conjunto combustible nuclear

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

La presente invención se refiere, en general, al campo de los reactores nucleares y, más concretamente, se refiere a una tobera de fondo con filtro de residuos para un conjunto combustible nuclear.

Técnica relacionada

Durante la fabricación, subsecuente instalación y reparación de los componentes que comprenden un sistema de circulación del refrigerante de un reactor nuclear, se desarrolla un diligente esfuerzo para ayudar a asegurar la retirada de todos los residuos de la vasija del reactor y sus sistemas asociados, los cuales hacen circular el refrigerante a lo largo del bucle primario del refrigerante del reactor bajo diversas condiciones operativas. Aunque se llevan a cabo procedimientos laboriosos para contribuir a asegurar la retirada de los residuos, la experiencia demuestra que, a pesar de las medidas preventivas utilizadas para llevar a cabo dicha retirada, algunas astillas y partículas de metal permanecen todavía ocultas dentro de los sistemas. La mayoría de los residuos se compone de virutas metálicas, las cuales probablemente quedaron en el sistema primario después de la reparación o sustitución del generador de vapor.

En particular, se ha venido apreciando en diversos reactores en los últimos años, daños al conjunto combustible debido a los residuos atrapados en la rejilla de más abajo. Los residuos entran a través de los agujeros de paso del flujo de la tobera de fondo del conjunto combustible desde las aberturas detrás del flujo de refrigerante situadas en la placa de soporte inferior del núcleo cuando la planta es puesta en funcionamiento. Los residuos tienden a quedar alojados en la rejilla de soporte de más abajo del conjunto combustible dentro de los espacios existentes entre las paredes de las celdas con forma de “huevera” de la rejilla y de las porciones terminales inferiores de los tubos de las varillas de combustible. Los daños consisten en unas perforaciones de los tubos de las varillas de combustible provocadas por la corrosión de los residuos en contacto con el exterior del tubo. Los residuos, así mismo, quedan enredados en los orificios de la placa de la tobera y el refrigerante que fluye provoca que los residuos giren, lo cual tiende a cortar el chapado de las varillas de combustible.

Se han propuesto y ensayado diversos sistemas diferentes para llevar a cabo la retirada de los residuos de los reactores nucleares. Muchos de estos sistemas se analizan en la Patente estadounidense No. 4,096,032 de Mayers et al. Otros se ilustran y describen en las diversas patentes de referencia cruzada, en la Patente estadounidense No. 4,900,507, transferida al cesionario de la presente. Otros sistemas adicionales se divulgan en el documento US 2003/0 043 954 A1 y en el documento EP 0 669 624 A1. Aunque todos estos sistemas descritos en la patente citada y en las referencias cruzadas funcionan relativamente bien y alcanzan en general sus objetivos bajo el abanico de condiciones operativas para las cuales fueron diseñados, persiste la necesidad de un sistema mejorado en mayor medida respecto del problema del filtrado de los residuos de los reactores nucleares, para obtener una reducción mejorada en la caída de la presión a través de la tobera de fondo que se requiere para diseños de combustible más avanzados que en la actualidad se están desarrollando.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona una tobera de fondo con filtro de residuos en un conjunto combustible diseñada para satisfacer las necesidades mencionadas con anterioridad. La tobera de fondo de la presente invención incluye una placa de la tobera que emplea el concepto de incorporar unos agujeros de paso del flujo con un diámetro más pequeño del que se ha utilizado con anterioridad al divulgado en la patente estadounidense 4,900,507, con una reducción aún más mejorada en la caída de la presión de la placa de la tobera. Los agujeros de paso del flujo tienen, de modo preferente, un diámetro de aproximadamente 0,48 cm en su zona de mayor estrechamiento, lo que les hace estar dimensionados para filtrar residuos los cuales, de no ser así, se agruparían fundamentalmente en las secciones existentes entre la tobera de fondo y la rejilla de más abajo y dentro de los espacios desocupados de la rejilla de más abajo y provocaría fallos producidos por la corrosión de las varillas de combustible. Tal y como se señala en la Patente estadounidense No. 4,900,507, de forma inesperada, este concepto reduce la caída de la presión de la tobera de fondo con filtro de residuos en comparación con la tobera de fondo de la técnica anterior, aunque el área de flujo total a través de la tobera de fondo con este diseño es menor que el área de flujo total a través de la tobera de fondo de la técnica anterior. Se proporciona un área de flujo considerablemente mayor mediante el modelo de tobera de fondo con filtro de residuos de agujeros de paso del flujo más pequeños que mediante el modelo de tobera de fondo de la técnica anterior de agujeros de paso del flujo de mayor tamaño en las áreas locales de las respectivas placas de tobera situadas directamente por encima de los agujeros de paso del flujo de entrada de refrigerante en la placa inferior del núcleo del reactor.

La presente invención proporciona un contorno Venturi a los agujeros del flujo para reducir aún más la caída de la presión a través de la placa de la tobera de fondo.

La entrada a través del agujero de paso del flujo está provista de un doble bisel, potenciándose al máximo los ángulos del doble bisel para conseguir la caída de presión más baja. El doble bisel se aproxima a un radio, esto es a una curva, sin el gasto y las dificultades asociadas de maquinar una superficie curvada, lo que hace más eficiente el flujo a través de los agujeros.

De acuerdo con ello, la presente invención se refiere a una tobera de fondo con filtro de residuos de utilidad en un conjunto combustible para un reactor nuclear en el que el conjunto combustible incluye una pluralidad de varillas de combustible nuclear, al menos una rejilla de más abajo que soporta las varillas de combustible en una formación organizada y que presenta unos espacios desocupados definidos en su interior que permiten el flujo de fluido refrigerante a su través. La tobera de fondo con filtro de residuos está dispuesta en posición adyacente a y por debajo de la rejilla y por debajo de los extremos inferiores de las varillas de combustible. La tobera de fondo comprende una placa de la tobera fijada sobre un medio de soporte orientado hacia una rejilla de más abajo y que presenta, definida a través de ella, una pluralidad de aberturas de paso del flujo dimensionadas de forma individualizada para que la mayoría de los residuos de tamaño mayor que la dimensión máxima de los espacios desocupados a través de la rejilla de más abajo sean capturados debajo, dentro o cerca del orificio de salida de la abertura. De esta manera, la mayoría de los residuos que son transportados por el líquido refrigerante a través de la placa de la tobera son lo suficientemente pequeños para pasar a través de los espacios desocupados de la rejilla, mientras que la mayoría de los residuos que son transportados por el líquido refrigerante y que son lo suficientemente grandes para no pasar a través de los espacios desocupados de la rejilla y que se agrupan en la rejilla no pasarán a través de las aberturas de paso del flujo o quedarán retenidos cerca de las salidas de paso del flujo. Se consigue una reducción de la caída de la presión a través de la placa de la tobera de fondo mediante el establecimiento de un contorno Venturi en los agujeros de paso del flujo. Se establece una acentuación adicional de la manufacturabilidad y inspeccionabilidad del diseño de la presente invención mediante la incorporación de un bisel en el lado de la salida de los agujeros de paso del flujo y un doble bisel en el lado de la entrada.

Breve descripción de los dibujos

Una comprensión más acabada de la invención puede obtenerse a partir de la descripción subsecuente de las formas de realización preferentes tomadas en combinación con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 es una vista en alzado, parcialmente en sección, de un conjunto combustible en el cual se incorpora la forma de realización preferente del colector de residuos de la presente invención, ilustrándose el conjunto en forma verticalmente acortada con partes cortadas para mayor claridad;

la Figura 2 es una vista lateral de un faldón de soporte de la tobera de fondo de la presente invención;

la Figura 3 es una vista desde arriba de la placa de la tobera de fondo de la presente invención;

la Figura 4 es una vista lateral de una sección recortada de la Figura 3 tomada a lo largo de las líneas A – A de aquélla que muestra un agujero Venturi de paso del flujo con unos elementos característicos de entrada y salida curvados;

la Figura 5 es una vista lateral de una sección recortada de la Figura 3 tomada a lo largo de las líneas A - A de aquélla que muestra un agujero de paso del flujo con un bisel de entrada doble y un bisel de salida único.

Descripción de la forma de realización preferente

En la descripción subsecuente, los mismos caracteres de referencia designan las mismas y correspondientes partes a lo largo de las diversas vistas de los dibujos. Así mismo, en la descripción subsecuente, debe entenderse que términos tales como “hacia delante”, “hacia atrás”, “izquierda”, “derecha”, “hacia arriba”, “hacia abajo” y similares, son palabras de conveniencia y no deben interpretarse como términos limitativos.

Conjunto combustible

Con referencia ahora a los dibujos y, en concreto, a la Figura 1, en ella se muestra una vista en alzado del conjunto combustible, representado en forma verticalmente acortada y designándose genéricamente mediante la referencia numeral 10. El conjunto combustible 10 es el tipo utilizado en un reactor de agua a presión y presenta un esqueleto estructural, el cual, en su extremo inferior incluye la tobera de fondo 12 con filtro de residuos de la presente invención (tobera que se describirá con detalle más adelante). La tobera de fondo 12 soporta el conjunto combustible 10 sobre una placa de soporte inferior 14 del núcleo dispuesta en la zona del núcleo del reactor nuclear (no mostrada). Además de la tobera de fondo 12, el esqueleto estructural del conjunto combustible 10 incluye, así mismo, una tobera superior 16 dispuesta en su extremo superior y una pluralidad de tubos o manguitos de guía 18, los cuales se extienden en sentido longitudinal entre las toberas de fondo y superior 12 y 16 y en los extremos opuestos están fijadas rígidamente a aquél.

El conjunto combustible 10 incluye así mismo una pluralidad de rejillas transversales 20 separadas en sentido axial a lo largo de, y montadas sobre, los tubos – manguitos 18 de la rejilla y una formación organizada de varillas 22 de

combustible alargadas separadas en sentido transversal y soportadas por las rejillas 20. Así mismo, el conjunto 10 presenta un tubo 24 para el instrumental situado en su centro y que se extiende entre, y que está montada sobre, las toberas de fondo y superior 12 y 16. Con dicha disposición de las partes, el conjunto combustible 10 forma una unidad integral capaz de ser manejada fácilmente sin dañar a las partes del conjunto.

Tal y como se indicó con anterioridad, las varillas 22 de combustible en su formación descrita en el conjunto 10 se mantienen en relación separada unas respecto de otras mediante las rejillas 20 separadas a lo largo de la extensión del conjunto combustible. Cada varilla 22 de combustible incluye unas pellas 26 de combustible nuclear y está cerrada por sus extremos opuestos mediante unos tapones terminales superior e inferior 28 y 30. Las pellas 26 son mantenidas en una pila mediante un resorte impelente 32 dispuesto entre el tapón terminal superior 28 y la parte superior de la pila de pellas. Las pellas 26 de combustible, están compuestas de material fisionable, son responsables de la creación de la potencia reactiva del reactor. Un moderador / refrigerante líquido, como por ejemplo agua o agua con boro, es bombeado hacia arriba a través de una pluralidad de aberturas de paso del flujo dispuestas en la placa inferior 14 del núcleo hasta el conjunto combustible. La tobera de fondo 12 del conjunto combustible 10 hace pasar el refrigerante hacia arriba a través de los tubos de guía 18 y a lo largo de las varillas 22 de combustible del conjunto con el fin de extraer el calor generado en su interior para la producción de trabajo aprovechable.

Para controlar el proceso de fisión, una pluralidad de varillas de control 34 pueden ser desplazadas en vaivén por dentro de los manguitos de guía 18 situados en posiciones predeterminadas dentro del conjunto combustible 10. De modo específico, un mecanismo de control 36 de la agrupación de varillas situado por encima de la tobera superior 16 soporta las varillas de control 34. El mecanismo de control presenta un miembro 37 roscado por dentro con una pluralidad de aletas o brazos 38. Cada brazo 38 está interconectado con una varilla de control 34, de tal manera que el mecanismo 36 de las varillas de control puede ser accionado para desplazar las varillas de control verticalmente dentro de los manguitos de guía 18 para, de esta manera, controlar el proceso de fisión del conjunto combustible 10, todo ello de la forma sobradamente conocida.

Tobera de fondo con filtro de residuos

Tal y como se indicó con anterioridad, los daños para el conjunto combustible debidos a los residuos atrapados en o por debajo de la rejilla de más abajo 20 que soporta las zonas de soporte del combustible de las varillas de combustible ha resultado ser un problema. Por consiguiente, para evitar la aparición de dicho daño, resulta deseable en grado sumo reducir al mínimo los residuos que pasan a través de los agujeros de paso del flujo de la tobera inferior o de las superficies de contacto entre las salidas de los orificios de paso del flujo de la tobera inferior y las estructuras adyacentes.

La presente invención se refiere a una tobera de fondo 12 la cual, además de soportar el conjunto combustible 10 sobre la placa inferior 14 del núcleo, contiene, así mismo, unos elementos característicos los cuales funcionan para filtrar residuos de tamaño potencialmente perjudicial procedentes del flujo de refrigerante que discurre hacia arriba a través de la tobera de fondo con una reducción de la caída de la presión respecto de la experimentada en el diseño de la Patente 4,900,507. La tobera de fondo 12 incluye un medio de soporte, por ejemplo el faldón 40 mostrado en la Figura 2. El medio de soporte, el faldón 40 en esta forma de realización, incluye una pluralidad de pies esquineros 42 de soporte del conjunto combustible 10 situada sobre la placa inferior 14 del núcleo. Una placa planar 46 genéricamente rectangular está oportunamente fijada, por ejemplo mediante soldadura a la superficie superior 44 del faldón de soporte 40. En la placa 46 de tobera de fondo 12 con filtro de residuos de la presente invención, un gran número de pequeños agujeros 48 está concentrado en el área de los agujeros de paso del flujo a través de la placa de soporte inferior 14 del núcleo y están dimensionados para filtrar residuos de tamaño perjudicial sin afectar de modo negativo al flujo o a la caída de la presión a través de la placa adaptadora 46 de la tobera de fondo y a través del conjunto combustible 10. En este sentido, la tobera de fondo 12 con filtro de residuos de la presente invención es muy similar a la descrita en la Patente estadounidense No. 4,900,507, transferida al cesionario de la presente invención. En la tobera de fondo 12 con filtro de residuos de la Patente 4,900,507 los agujeros 48 de paso del flujo incluían unos biseles de entrada en cada agujero de paso del flujo. Desde otros puntos de vista, los agujeros 48 de paso del flujo de la Patente 4,900,507 eran, de modo preferente, uniformes en cuanto a su tamaño en sección transversal y definían un modelo que sustancialmente cubre cada porción de la placa 46 en cuanto a su longitud y anchura.

El diámetro de los agujeros 48 de paso del flujo no permite el paso de la mayoría de los residuos que típicamente tienen el tamaño suficiente para quedar capturados en la rejilla de soporte de más abajo 20. Si los residuos son lo suficientemente pequeños para pasar a través de estos agujeros 48 de paso del flujo de la placa, en la mayoría de los casos, así mismo, pasarán a través de las rejillas 20 dado que el diámetro de los agujeros 48 de paso del flujo es lo suficientemente pequeño para capturar la mayoría de los residuos que presentan una sección transversal mayor que la de los espacios desocupados a través de una celda de la rejilla de soporte 20. Dichos espacios desocupados se sitúan típicamente en las esquinas adyacentes constituidas por los flejes intercalados que componen la rejilla 20 y están unidos por las esquinas, las respectivas depresiones y muelles constituidos sobre los flejes de agarre y las varillas 22 de combustible, las cuales se extienden a través de las celdas de las rejillas. Asegurando que la mayoría de los residuos son lo suficientemente pequeños para pasar a través de los espacios desocupados de las rejillas, la tobera de fondo 12 con filtro de residuos de la presente invención reduce de esta forma de manera considerable los

fallos de las varillas de combustible provocados por los residuos. Debe apreciarse que la mejora de la presente invención no requiere que la sección transversal más estrecha de los agujeros 48 de paso del flujo de la placa 46 de la tobera sea igual o menor que la dimensión en sección transversal de mayor tamaño de los espacios desocupados a través de una rejilla de soporte 20, especialmente cuando la salida de los agujeros 48 de paso del flujo actúan eficazmente en combinación con las estructuras adyacentes para restringir en mayor medida la trayectoria del flujo. Por ejemplo, cuando se emplean rejillas protectoras, las cuales están típicamente situadas, aproximadamente, de 0,064 a 0,318 cm por encima de la placa 46 de la tobera, los flejes de la rejilla delimitan aún más el flujo y los residuos de captura en el área existente entre la rejilla protectora y la placa de la tobera.

En base a un análisis completo de unas fotografías de televisión submarinas de vigilancia del combustible de los conjuntos combustible procedentes de reactores que experimentan residuos provocados por fallos de las varillas de combustible, fue seleccionado un diámetro nominal de los agujeros 48 de paso de flujo de aproximadamente 0,48 cm, siendo preferente un diámetro de 0,48 + / - 0,02 cm, Es posible que los agujeros 48 sean elaborados con un diámetro algo más pequeño. Todos los fallos observados de las varillas de combustible primarias provocadas por residuos se encontraban en o por debajo de la rejilla de más abajo y parecen ser ocasionados por residuos algo mayores de 0,48 cm de anchura. Otros residuos más pequeños típicamente existentes dentro de los sistemas refrigerantes del reactor se consideran de naturaleza relativamente frágil y no susceptibles de ocasionar daños a las varillas, dado que no puede observarse ningún daño significativo por encima de la rejilla de más abajo. La evidencia apunta a que, hasta ahora, los residuos de tamaño perjudicial son eficazmente detenidos por la rejilla de más abajo 20. La tobera de fondo 12 con filtro de residuos, con unos agujeros 48 de paso del flujo con un diámetro de tamaño de 0,48 cm definido en la placa 46 de la tobera inferior se espera que reduzca en un 90% los residuos metálicos potencialmente perjudicables para las varillas transportados por el interior de los conjuntos combustibles por el flujo de refrigerante primario. Dicha estimación puede ser prudente dado que parece probable que los residuos sustancialmente mayores de 0,48 cm de anchura pueden suponer una cantidad desproporcionada respecto del daño de las varillas de combustible.

Con referencia a la Figura 3, puede apreciarse que, además del gran número de agujeros 48 de paso del flujo, la placa 46 incluye un agujero central 50 del tubo central del instrumental y una pluralidad de agujeros 52 de los manguitos de guía. Los agujeros 48 de paso del flujo descritos en la Patente 4,900,507 incluían un largo bisel de entrada ahusado, de aproximadamente 0,36 cm de longitud y que formaba un ángulo de aproximadamente 15º + / - 3º con respecto al eje geométrico del agujero 48. El bisel dispuesto sobre la entrada se empleó en cada uno de los agujeros 48 de paso del flujo para potenciar al máximo el flujo, esto es, reducir al mínimo el incremento del coeficiente de pérdida debido al efecto de fricción más elevado inherente a los agujeros 48 de paso del flujo más pequeños. El bisel más largo 50 fue concebido para impedir que la corriente del flujo se volviera a fijar dentro de los agujeros 48 de la placa adaptadora e incrementar la caída de la presión a través del conjunto combustible 10. Cualquier incremento en la caída de la presión a través del conjunto combustible, con la tobera de fondo 12 con filtro de residuos en comparación con un conjunto con la tobera de fondo convencional sería indeseable y muy probablemente inaceptable. Aunque la tobera de fondo con filtro de residuos de la Patente 4,900,507 incorporaba unos agujeros del paso de flujo más pequeños, los agujeros de paso del flujo eran más numerosos que en el diseño de la tobera de fondo original anterior. Respecto de los conjunto combustible a los cuales fue adaptada, el área del flujo total a través de la tobera de fondo con filtro de residuos de la Patente 4,900,507 no se redujo de manera significativa. Sin embargo, el área de flujo de la tobera de fondo con filtro de residuos del diseño de la Patente 4,900,507 y la correspondiente bajada de la presión han demostrado constituir una restricción limitativa respecto de diseños de combustible más avanzados.

La tobera de fondo con filtro de residuos fue mejorada aún más mediante la presente invención potenciando al máximo las trayectorias del flujo de refrigerante a través de la placa 46 de la tobera. Los agujeros de paso del flujo de taladro recto (con bisel de entrada) del diseño de la tobera de fondo con filtro de residuos de la Patente 4,900,507 fue sustituido por la presente invención con unos agujeros de paso del flujo Venturi , cuya sección transversal se muestra en la Figura 4. Los Venturis 54 se constituyeron con unas entradas y salidas redondeadas con unos radios relativamente amplios, ya sea tangentes o no tangentes con respecto al taladro. Los agujeros de paso del flujo Venturi s mejoraron el rendimiento hidráulico de la tobera 12, reduciendo de manera considerable la caída de la presión. Las pruebas llevadas a cabo respecto de la caída de una presión elevada, extrapoladas a las condiciones del flujo y del núcleo del reactor (Número de Reynold 500,000), han mostrado que la tobera de fondo con filtro de residuos mejorada con agujeros de paso del flujo Venturi reducen la caída de la presión y el correspondiente coeficiente de pérdida hasta aproximadamente un 53%. Así mismo, debido a que los diámetros de garganta constreñidos Venturi son equivalentes a los taladros de los agujeros de paso del flujo de la tobera de fondo con filtro de residuos estándar del diseño de la Patente 4,900,507, el filtrado de los residuos no se puso en peligro.

La experiencia pasada ha mostrado diferencias en la caída de la presión en toberas fabricadas para diseños idénticos por diferentes suministradores. En un caso, la diferencia se imputó a los procesos de fabricación y a la diferencia en los procedimientos de desbarbado. Uno de los procedimientos combinado con un bisel de salida además del bisel de entrada podría haber ofrecido una tobera que suministrara la caída de la presión requerida para los diseños de combustible avanzados actualmente en desarrollo. Sin embargo, la práctica, el control y la inspección de este proceso de desbarbado manual resultó ser muy difícil. El diseño 54 de agujeros de paso del flujo Venturi de la tobera de fondo 12 con filtro de residuos fue potenciado, desde el punto de vista de la fabricación, mediante la potenciación al máximo de las trayectorias de flujo de refrigerante a través de la placa 46 de flujo de la tobera. Los

agujeros de paso del flujo de taladro recto, con un biselado de entrada único que fue descrito en la Patente 4,900,507, fue sustituido por los biseles 56 de doble entrada y por un bisel 58 de salida única para formar el Venturi 54 mostrado en la Figura 5. Los ángulos de los biseles fueron potenciados al máximo para proporcionar la caída de la presión más baja. En efecto, dichos ángulos se aproximan a una superficie curvada y potencian el flujo a través de los agujeros 48. El control y la inspección de la geometría curvada es difícil y costoso. Los inventores de la presente memoria descriptiva han encontrado, haciendo uso de la Dinámica de los Fluidos computacional y de la experimentación, que un número tan pequeño como el de dos biseles rectos, si están configurados de forma adecuada, podría desarrollar un flujo similar a la geometría curvada y traducirse en una caída de la presión similar reducida, con menor coste. El diseño de bisel preferente se muestra en la tabla siguiente, en la que el Bisel A es bisel más cerrado en la entrada, el Bisel B es el bisel adyacente al Bisel A y el Bisel C está en la salida de los agujeros de paso del flujo. Así mismo, se muestra el grosor de la placa. Los valores nominales definen las dimensiones perseguidas. Los valores mínimos y máximos toman en consideración las tolerancias y proporcionan unos márgenes aceptables respecto de las longitudes de los biseles.

	Angulo	Longitud Nominal (cm)	Longitud Máxima (cm)	Longitud Mínima (cm)
Bisel A	35º ± 3º	0,043 cm	0,099 cm	0,030 cm
Bisel B	15º ± 3º	0,099 cm	0,145 cm	0,025 cm
Bisel C	10º ± 3º	0,2159 cm	0,361 cm	0,15 cm
Grosor de la Placa	--	1,422 cm	1,481 cm	1,397 cm

Debe apreciarse que las dimensiones específicas definidas en la tabla precedente, aunque proporcionan la reducción deseada en la caída de la presión, pretenden ser ilustrativas y no pretenden limitar el alcance de la invención. Pueden conseguirse otros valores para la reducción de la caída de la presión utilizando diferentes ángulos y dimensiones. De modo preferente, las dimensiones se expresan como una relación de la longitud del bisel dividida por el grosor de la placa (L / T).

	Angulo	Bisel L / T	
		Máximo	Mínimo
Bisel A	2,33 x B	0,071	0,020
Bisel B	15º ± 3º	0,104	0,017
Bisel C	0,67 x B	0,258	0,101

Este nuevo diseño de agujeros de paso del flujo mejoró el rendimiento hidráulico de la tobera, reduciendo de forma considerable la caída de la presión. Las pruebas de la caída de la presión a alta temperatura, extrapoladas a las condiciones del flujo del núcleo del reactor (Número de Reynold de 500,000), ha mostrado que la tobera de fondo con filtro de residuos con caída de la presión reducida de la presente invención, con estos agujeros de paso del flujo mejorados, redujo la caída de la presión y el correspondiente coeficiente de pérdida en un 47% respecto de lo conseguido por el diseño de la Patente 4,900,507. Aunque el diseño de bisel doble provoca un ligero incremento en la caída de la presión respecto del diseño Venturi curvado liso mostrado en la Figura 4, proporciona una mejora significativa en la manufacturabilidad de la tobera y una reducción de coste. Así mismo, debido a que los nuevos diámetros de los taladros de los agujeros de paso del flujo en su punto más angosto son iguales a los taladros de los agujeros de paso del flujo de la Patente 4,900,507, el filtrado de los residuos no resulta comprometido. Desde el punto de vista de la manufacturabilidad, inspeccionabilidad y coste, este diseño demuestra que ofrece una reducción de la caída de la presión constante y reproducible.

Una función convencional adicional de la placa 46 de la tobera de fondo consiste en prender las varillas 22 de combustible, esto es, impedir que caigan a través de la tobera de fondo 12. En la puesta en marcha inicial, las varillas 22 de combustible son mantenidas por las rejillas 20 por encima de la tobera de fondo 12 tal y como se aprecia en la Figura 1. Sin embargo, después de que el reactor es puesto en funcionamiento durante un periodo de tiempo, las rejillas 20 aflojan su agarre sobre las varillas 22 de combustible y algunas caen abajo sobre la parte superior de la placa 46 de la tobera de fondo. Tal y como se aprecia en la Figura 3, las varillas 22 de combustible están alineadas con los ligamentos o secciones 60 de la placa 46 entre los agujeros 48 de paso del flujo. Los agujeros 48 de paso del flujo están empaquetados en una densidad de aproximadamente < 2,56 por cm^2. Las secciones 60 de la placa 46 que se extienden entre los agujeros 48 de paso del flujo presentan una dimensión máxima de 0,25 cm. Si las varillas 22 de combustible, que presentan un diámetro máximo de aproximadamente 1,02 cm, estuvieran situadas por encima de los agujeros 48 de paso del flujo, entonces al caer hacia abajo sobre la placa 46, taponarían los agujeros y provocarían un incremento en la caída de la presión. Los tapones terminales inferiores 30 de las varillas 22 de combustible, los cuales descansan sobre las secciones 60 de la placa 46, tienen un diámetro terminal de aproximadamente 0,38 cm y una forma en sección transversal axial ahusada, tal y como se aprecia en la Figura 1, el cual no bloquea los agujeros 48. Sin embargo, si el extremo terminal del tapón terminal inferior 30 tuviera un diámetro mayor, entonces la sección 60 de la placa 46 entre los agujeros 48 de paso del flujo tendría que ser de mayor tamaño con el fin de evitar que los extremos de los tapones cubrieran las porciones de los agujeros

adyacentes 48. Ello indudablemente se traduciría en una menor cantidad de agujeros y en un incremento de la caída de la presión.

Aunque se han descrito con detalle formas de realización específicas de la presente invención, debe apreciarse por parte de los expertos en la materia que podrían llevarse a cabo diversas modificaciones y alternativas a los referidos detalles a la luz de las enseñanzas globales de la divulgación. De acuerdo con ello, las formas de realización concretas divulgadas pretenden ser únicamente ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1.- Un conjunto combustible (10) de reactor nuclear que incluye una pluralidad de varillas alargadas (22) de combustible nuclear que tienen una longitud axial extendida, al menos una rejilla de más abajo (20) que soporta dichas varillas de combustible en una formación organizada y dentro de la cual están definidos unos espacios desocupados adaptados para permitir el flujo de un fluido refrigerante a través de aquellos y más allá de dichas varillas (22) de combustible cuando dicho conjunto combustible está instalado en el reactor nuclear, y una pluralidad de manguitos de guía (18) que se extiende a lo largo de dichas varillas (22) de combustible a través y soportando dicha rejilla de más abajo (20), y estando diseñada una tobera de fondo (12) con filtro de residuos para quedar dispuesta por debajo de dicha rejilla de más abajo (20), por debajo de los extremos inferiores de dichas varillas (22) de combustible, soportando dichos manguitos de guía (18) y adaptada para permitir el flujo de un fluido refrigerante por el interior de dicho conjunto combustible (10), comprendiendo dicha tobera (12) con filtro de residuos una placa sustancialmente horizontal (46) que se extiende sustancialmente en sentido transversal con respecto al eje geométrico de las varillas de combustible y que presenta una cara superior dirigida hacia dicha rejilla de más abajo (20), estando definidos a través de dicha cara superior de dicha placa (46) al menos dos tipos diferentes de agujeros, siendo el primer tipo una pluralidad de agujeros (52) que reciben unos extremos inferiores de dichos manguitos de guía (18) donde son soportados por dicha placa (46) y siendo el segundo tipo de una pluralidad de agujeros (48) de paso del flujo dimensionados para filtrar residuos con un tamaño inductor de daños y extendiéndose completamente a través de dicha placa (46) para el paso de un fluido refrigerante desde una cara inferior de dicha placa hasta la cara superior de dicha placa, extendiéndose cada uno de dichos agujeros (48) de paso del flujo de refrigerante sustancialmente en la dirección axial de dichas varillas de combustible, en comunicación de fluido con dichos espacios desocupados, al menos algunos de dichos agujeros de paso del flujo del refrigerante presentan un perfil de sustancialmente de un Venturi (54) con un extremo de entrada (56) en la cara inferior de dicha placa y un extremo de salida (58) en la cara superior de dicha placa, en el que el Venturi está sustancialmente conformado por un bisel dispuesto en dicho extremo de entrada (56) y un bisel dispuesto en dicho extremo de salida (58), **caracterizado porque**

el diámetro de los agujeros (48) de paso del flujo presenta un tamaño apropiado para filtrar residuos de un tamaño que, de no ser así, se acumularían en los espacios desocupados de la rejilla de más abajo (20) y

el bisel del extremo de entrada (56) es de dos ángulos, incluyendo un primer bisel más próximo a la entrada y un segundo bisel adyacente a dicho primer bisel, definiendo dicho bisel de dos ángulos, de manera aproximada, una superficie curva.

2.- El conjunto combustible de reactor nuclear de la reivindicación 1, en el que todos los agujeros (48) de paso del flujo de refrigerante no asociados con un manguito de guía incluyen el bisel de entrada de dos ángulos.

3.- El conjunto combustible de reactor nuclear de la reivindicación 1, en el que los biseles presentan las siguientes dimensiones y ángulos con respecto a un eje geométrico del flujo del agujero (48) de paso del flujo donde el Bisel A es el bisel más próximo a la entrada del agujero (48) de paso de flujo y el Bisel B es el bisel adyacente al Bisel A, separado de la entrada.

	Angulo	Longitud Nominal (cm)	Longitud Máxima (cm)	Longitud Mínima (cm)
Bisel A	35º ± 3º	0,043 cm	0,099 cm	0,030 cm
Bisel B	15º ± 3º	0,099 cm	0,145 cm	0,025 cm

4.- El conjunto combustible de reactor nuclear de la reivindicación 1, en el que los biseles presentan las siguientes dimensiones y ángulos relativos con respecto a un eje geométrico del agujero (48) de paso del flujo donde el Bisel A es el bisel más próximo a la entrada, el Bisel B es el bisel adyacente al Bisel A, y el bisel C está en la salida de los agujeros (48) de paso del flujo y L / T es la longitud del bisel divido por el grosor de la placa.

	Angulo	Bisel L / T	
		Máximo	Mínimo
Bisel A	2,33 x B	0,071	0,020
Bisel B	15º + / - 3º	0,104	0,017

5.- El conjunto combustible de reactor nuclear de la reivindicación 3, en el que los biseles presentan las siguientes dimensiones y ángulos relativos con respecto a un eje geométrico de flujo del agujero (48) de paso del flujo donde el Bisel A es el bisel más próximo a la entrada, el Bisel B es el bisel adyacente al Bisel A y el Bisel C está en la salida de los agujeros (48) de paso del flujo.

	Angulo	Longitud Nominal (cm)	Longitud Máxima (cm)	Longitud Mínima (cm)
Bisel A	35º ± 3º	0,043 cm	0,099 cm	0,030 cm
Bisel B	15º ± 3º	0,099 cm	0,145 cm	0,025 cm
Bisel C	10º ± 3º	0,2159 cm	0,361 cm	0,15 cm

6.- El conjunto combustible de reactor nuclear de la reivindicación 4, en el que los biseles presentan las siguientes dimensiones y ángulos relativos con respecto a un eje geométrico de flujo del agujero (48) de paso del flujo donde el Bisel A es el bisel más próximo a la entrada, el Bisel B es el bisel adyacente al Bisel A y el Bisel C está en la salida de los agujeros (48) de paso del flujo y L / T es la longitud del bisel divido por el grosor de la placa (46).

	Angulo	Bisel L / T	
		Máximo	Mínimo
Bisel A	2,33 x B	0,071	0,020
Bisel B	15º + / - 3º	0,104	0,017
Bisel C	0,67 x B	0,258	0,101

7.- El conjunto combustible de reactor nuclear de la reivindicación 1 que incluye unos medios de soporte (40, 42) adaptados para soportar dicho conjunto combustible (10) cuando está instalado en el reactor nuclear con dicha placa (46) fijada en su periferia sobre dichos medios de soporte.

8.- El conjunto combustible de reactor nuclear de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que los agujeros (48) de paso del flujo de refrigerante tienen un diámetro de 0,48 + / - 0,02 cm o inferior en su sección transversal más estrecha.

9.- El conjunto combustible de reactor nuclear de la reivindicación 8, en el que los agujeros (48) de paso del flujo de refrigerante están empaquetados en una densidad de aproximadamente 2,56 por cm^2.

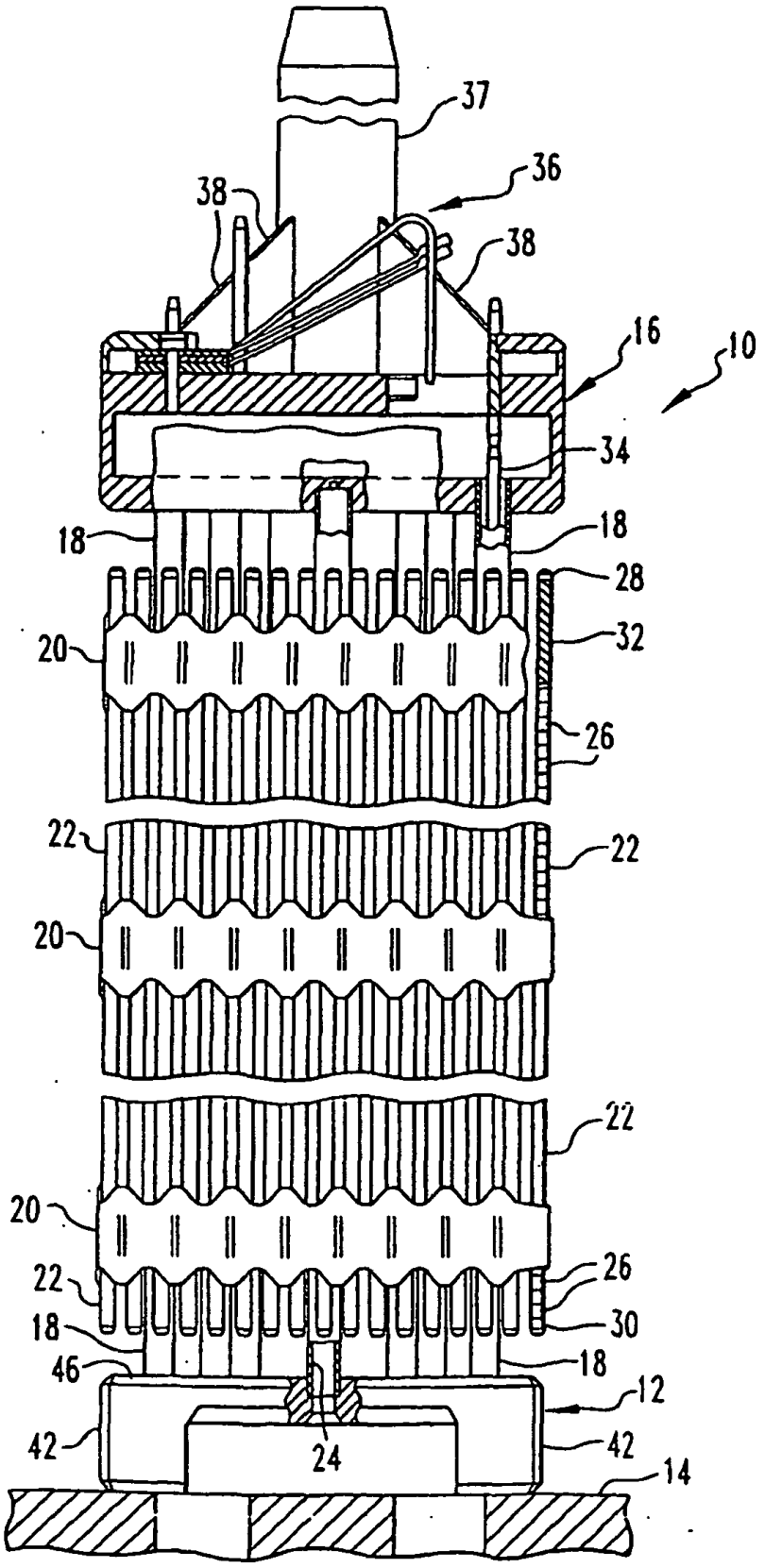
37
36
38
38
16
10
34
18
18
28
32
20
26
22
22
20
22
20
22
26
18
30
46
18
12
42
42
24
14

FIG.1

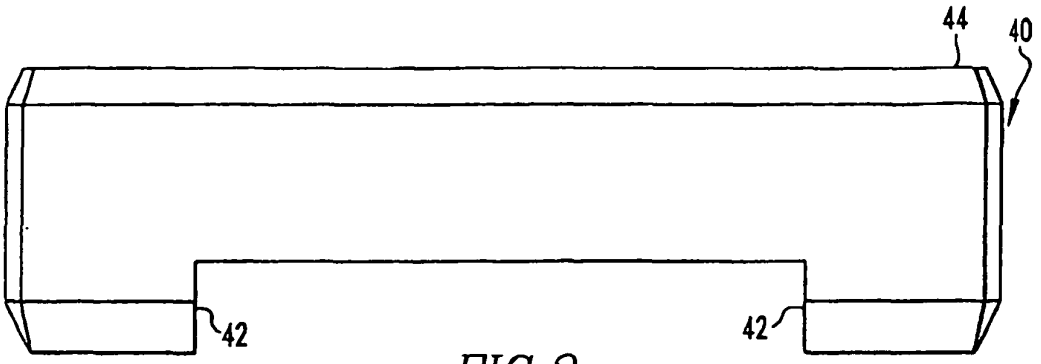

FIG.2

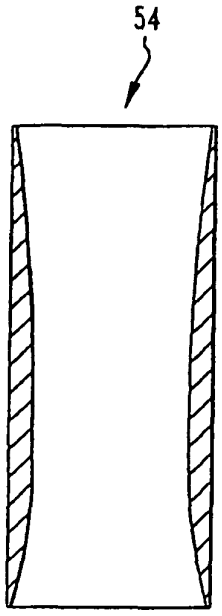

FIG.4

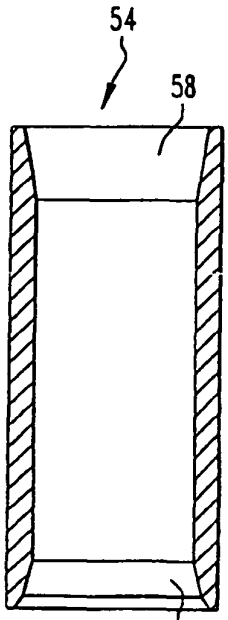

FIG.5

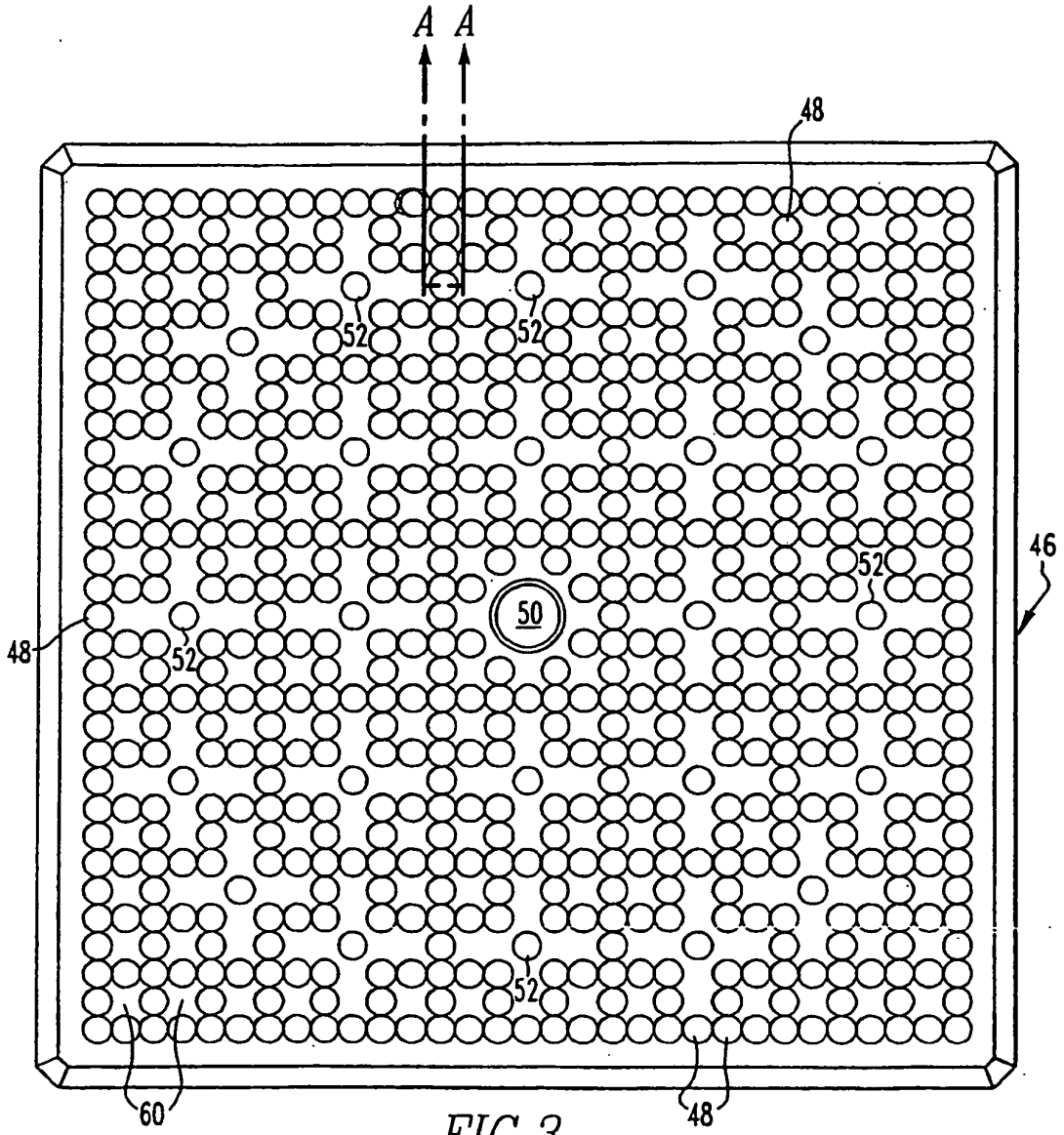

FIG.3