

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 684 081**

51 Int. Cl.:

B08B 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.01.2009 PCT/US2009/031025**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.10.2009 WO09126342**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2009 E 09729735 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2616192**

54 Título: **Limpieza de combustible de alta densidad de potencia con transductores planos**

30 Prioridad:

04.06.2008 US 058767 P
14.01.2008 US 021030 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.10.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GROSS, DAVID J. y
ARGUELLES, DAVID

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 684 081 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

Limpieza de combustible de alta densidad de potencia con transductores planos

5 Antecedentes de la invención

10 Se han desarrollado varios sistemas de limpieza por ultrasonido para limpiar conjuntos de combustible nuclear irradiado, incluidos los sistemas que utilizan tecnología de limpieza ultrasónica radial omnidireccional como se describe, por ejemplo, en la patente de los Estados Unidos núm. 6,396,892. La Figura 1 ilustra fotografías representativas antes y después de barras de combustible 100 en un paquete de elementos combustibles que se limpian mediante el uso de la tecnología de limpieza ultrasónica radial omnidireccional convencional. Aunque, como se refleja en la Figura 1, existe una clara evidencia visual de que se han eliminado depósitos de los conjuntos de combustible, la limpieza no es uniforme ni completa, particularmente con respecto a las barras periféricas.

15 La comparación de los datos de la efectividad de la limpieza recogidos de la aplicación en el campo de la tecnología de limpieza ultrasónica contra los datos de la efectividad de la limpieza recogidos en pruebas de laboratorio indicó que los depósitos actuales en barras de combustible ahora muestran una característica de doble capa que comprende una capa exterior relativamente fácil de eliminar y una capa interna que es mucho más tenaz. Además, las pruebas de laboratorio realizadas por los inventores revelaron que la tasa de eliminación de depósitos que se logra con la limpieza ultrasónica varía de forma no lineal con la potencia del transductor aplicada a la barra de combustible contaminada. En consecuencia, la tasa de eliminación de depósitos para un depósito dado será relativamente baja hasta que se alcance un umbral de densidad de potencia ultrasónica (P_T), momento en el que la tasa de eliminación de depósitos aumenta drásticamente. De manera similar, a medida que aumenta la tenacidad del depósito, aumenta la densidad de potencia umbral requerida para lograr la eliminación eficiente de los depósitos.

25 Como se muestra en la Figura 1, hay regiones del combustible donde los depósitos permanecieron después de la limpieza con una tecnología convencional de limpieza ultrasónica radial omnidireccional. Esta limpieza desigual se ha atribuido, al menos en parte, a una densidad de potencia ultrasónica no uniforme dentro de la zona de limpieza. El patrón de regiones limpias y sucias sugiere una limpieza preferencial en áreas que se alinean con los antinodos de los transductores (ubicaciones de máxima potencia) y expuestas a energía ultrasónica desde dos caras. En estas regiones de mayor densidad de potencia localizadas, la densidad de potencia local excede el umbral de densidad de potencia ultrasónica (P_T) necesario para eliminar los depósitos. Se ha estimado que en estas regiones de mayor potencia localizada puede alcanzarse una densidad de potencia local de aproximadamente el doble de la mayor densidad de potencia.

35 La densidad de potencia alcanzada en una ubicación determinada dentro de la zona de limpieza depende de varios factores, que incluyen 1) la cantidad total de energía de salida de los transductores, 2) el volumen de agua en el que se transmite la energía ultrasónica, 3) el grado en el que la energía debe pasar a través/alrededor de obstrucciones para llegar desde el transductor hasta dicha superficie a limpiarse, y 4) cualquier no uniformidad local del campo ultrasónico. Los dos primeros factores, juntos, determinan la mayor parte de la densidad de potencia del fluido (expresada en watt/galón (o watt/litro)). Aumentar la cantidad de energía o reducir el volumen de agua produce un aumento en la cantidad de energía ultrasónica (y cavitación subsiguiente) aplicada al fluido de limpieza y las superficies sumergidas en el fluido de limpieza. El tercer factor (presencia o ausencia de obstrucciones) afecta la distribución de energía dentro de la mayor parte del volumen de fluido.

45 Como se indica en la patente de Estados Unidos núm. 5,467,791 y de las pruebas de laboratorio de los inventores, una membrana metálica (tal como un canal de combustible o una guía de flujo de la cámara de limpieza) puede reducir la densidad de potencia hasta en un 50% dentro de la guía de canal/flujo con relación a la densidad de potencia lograda fuera de la membrana. El cuarto factor (la no uniformidad del campo) es el resultado de las diferencias localizadas en la intensidad en las superficies radiantes inherentes tanto a los transductores omnidireccionales planos como radiales.

50 Los sistemas ultrasónicos de limpieza de combustible de la técnica anterior usan diversas técnicas para lograr una limpieza efectiva, incluyendo el control de las propiedades del fluido de limpieza, la orientación en ángulo de los transductores, el uso de transductores omnidireccionales radiales, y el uso de estructuras reflectoras para guiar la energía a la zona de limpieza. Aunque estas técnicas pueden proporcionar algún beneficio en cuanto a la efectividad de la limpieza, ninguna de las configuraciones de la técnica anterior puede lograr una densidad de potencia por encima del umbral de limpieza para la capa tenaz presente en los depósitos de combustible actuales. Como se muestra en el Apéndice A, la densidad de potencia de la zona de limpieza estimada de los diseños de la técnica anterior es de 47 watts/litro (178 watts/galón) (Kato y otros, patente de Estados Unidos núm. 5,467,791) y 29.6 watts/litro (112 watts/galón) (patente de Estados Unidos núm. 6,396,892 de Frattini y otros) cuando se limpia un conjunto de combustible típico de reactor de agua a presión (PWR) (*es decir una zona de limpieza de, 25,4 cm x 25,4 cm (10"x 10")*). Como se apreciará, el diseño descrito en la patente de Kato se diseña específicamente para la limpieza de conjuntos de combustible canalizados (*es decir, combustible de reactor de agua en ebullición (BWR)*) y la densidad de potencia estimada para una versión PWR del diseño Kato se proporciona solo con propósitos de comparación.

65

Breve resumen

5 Las modalidades ilustrativas del conjunto de limpieza ultrasónica de acuerdo con la descripción incluyen series de transductores planos configurados para aumentar la potencia radiada en un volumen reducido de fluido asociado con un conjunto de combustible, logrando de esta manera una densidad de potencia aumentada. El conjunto de limpieza ultrasónica puede disponerse en una variedad de módulos que, a su vez, pueden combinarse para aumentar la longitud de la zona de limpieza y proporcionar variaciones en la densidad de potencia aplicada para mejorar la uniformidad de limpieza.

10 Breve descripción de las figuras

Las modalidades ilustrativas descritas más abajo se entenderán más claramente cuando la descripción detallada se considere junto con los dibujos adjuntos, en los que:

15 La Figura 1 ilustra los resultados de limpieza desiguales logrados mediante el uso de la tecnología de limpieza ultrasónica omnidireccional radial convencional;

Las Figuras 2A y 2B ilustran una primera modalidad ilustrativa de un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos;

20 Las Figuras 3A y 3B ilustran una segunda modalidad ilustrativa de un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos;

La Figura 4 ilustra una tercera modalidad ilustrativa de un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos;

La Figura 5 ilustra una cuarta modalidad ilustrativa de un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos;

25 Las Figuras 6A y 6B ilustran los datos de desplazamiento recogidos de un conjunto de prueba de limpieza ultrasónica radial omnidireccional convencional, en la Figura 6A, y de un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos, en la Figura 6B;

La Figura 7 ilustra una comparación de los datos de desplazamiento para el conjunto de prueba de limpieza ultrasónica radial omnidireccional convencional (STP) y un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos;

30 La Figura 8 ilustra barras de prueba en un estado sin limpiar (A), limpiadas utilizando un conjunto de prueba de limpieza ultrasónica omnidireccional radial convencional (STP) (B y B') y limpiadas utilizando un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos (C y C');

Las Figuras 9A y 9B ilustran una quinta modalidad ilustrativa de un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos;

35 Las Figuras 10 y 11 ilustran la sexta y séptima modalidades ilustrativas, respectivamente, de un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos con modificaciones que proporcionan un suplemento a la bomba para eliminar los depósitos desplazados por el proceso de limpieza ultrasónica; y

La Figura 12 ilustra una modalidad ilustrativa de un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos fabricados para evaluación y prueba.

40 Debe señalarse que estas Figuras se destinan a ilustrar las características generales de los métodos, estructura y/o materiales utilizados en ciertas modalidades ilustrativas y para complementar la descripción escrita proporcionada más abajo. Sin embargo, estas figuras no se dibujan a escala y no reflejan con precisión las características estructurales o de rendimiento precisas de cualquier modalidad dada y, por lo tanto, no deben interpretarse como que definen o limitan el rango de valores o propiedades abarcados por las modalidades ilustrativas. Además, los dibujos se han simplificado mediante la omisión de la estructura periférica que incluye, por ejemplo, fuentes de alimentación, cables, controladores y otros equipos, en el entendimiento de que los expertos en la técnica podrían determinar y configurar la estructura y los equipos periféricos necesarios para la gama completa de modalidades descritas aquí y variaciones obvias de las mismas.

50 Descripción detallada

55 Los inventores han determinado que la capa tenaz actualmente asociada con los depósitos de combustible PWR tiene una densidad de potencia ultrasónica umbral de aproximadamente 52,8 watts/litro (200 watts/galón) (según se calcula utilizando la metodología descrita más abajo en la Tabla 1). La invención consiste en un dispositivo de limpieza ultrasónico configurado para lograr una densidad de potencia ultrasónica del orden de 52,8 watts/litro o más. La invención utiliza series de transductores planos para lograr estas altas densidades de potencia en lugar de los transductores radiales omnidireccionales convencionales actualmente utilizados para la limpieza de combustible ultrasónico.

60 Como se ilustra en las Figuras 2A y 2B (una sección transversal de la Figura 2A a lo largo de la línea 2'-2), en una primera modalidad ilustrativa, se proporcionan los transductores 102 dispuestos en un conjunto modular 104 y se disponen de modo que sus caras radiantes se dirijan hacia y formen una superficie poligonal que encierre una zona de limpieza central 106 que limitará el volumen de fluido, el volumen de limpieza, que estará presente en la zona de limpieza en combinación con un conjunto de combustible y se activará por las caras radiantes. Como también se ilustra en las Figuras 2A y 2B, pueden proporcionarse marcos adicionales, carriles, rodillos, guías, separadores u otros mecanismos 108 dentro o adyacentes a la zona de limpieza para centrar el conjunto de combustible y/o evitar el contacto entre el conjunto de combustible (no mostrado) con las caras radiantes de los transductores.

5 Como se ilustra, los transductores dentro de una serie particular pueden alinearse vertical y/o horizontalmente. Al seleccionar los módulos de transductor adecuados y proporcionar una proporción suficiente de superficie radiante, la configuración del transductor ilustrada aplicada a un volumen de limpieza limitado ha sido capaz de producir una mayor densidad de potencia de aproximadamente 105,7 watts/litro (400 watts/galón). Esta mayor densidad de potencia aumentada supera las variaciones localizadas en el nivel de potencia resultante de las obstrucciones y la refracción dentro del conjunto de combustible y aún proporciona la densidad de potencia local suficiente para eliminar los depósitos más tenaces.

10 Como se apreciará, la configuración de la zona de limpieza puede adaptarse para su uso con varias distribuciones de conjunto de combustible. Como se ilustra en las Figuras 2A y 2B, el conjunto de limpieza 104 se abre en ambos extremos (aunque, en algunas configuraciones, un extremo puede cerrarse como se ilustra en la Figura 11) y tiene una sección transversal que es solo ligeramente mayor que las dimensiones exteriores del conjunto de combustible para que se limpie. Esto permite que el conjunto de combustible pase a través del conjunto de limpieza ultrasónica o, inversamente, permite mover al conjunto de limpieza ultrasónica a lo largo del conjunto de combustible para reducir el número de transductores necesarios para limpiar todo el conjunto y reducir el tamaño, peso y requisitos de potencia del conjunto de limpieza ultrasónica. En dependencia de la tolerancia y precisión que puede lograrse con los mecanismos que proporcionan el movimiento relativo del conjunto de combustible y el conjunto de limpieza ultrasónica, la zona de limpieza definida por las superficies interiores del conjunto de limpieza ultrasónica generalmente debe configurarse para reducir el volumen de líquido dentro de la zona de limpieza mientras permite el movimiento axial libre del conjunto de combustible con relación al conjunto de limpieza ultrasónica.

25 Como se ilustra en las Figuras 3A y 3B (una sección transversal de la Figura 3A a lo largo de la línea 3'-3), en una segunda modalidad ilustrativa, los transductores 102a, 102b se proveen en un conjunto modular 104 y se disponen de manera que sus caras radiantes se dirijan hacia una zona de limpieza central 106 acotada. Sin embargo, como se ilustra, los transductores dentro de una serie se configuran con un desplazamiento horizontal relativo a la(s) fila(s) adyacente(s) de transductores. Como se apreciará, mediante el uso de esta configuración de desplazamiento, el patrón de densidad de potencia dentro de la zona de limpieza tenderá a reducir la variación en el patrón de eliminación de depósitos.

30 Como se ilustra en la Figura 4, en una tercera modalidad ilustrativa, se proporcionan transductores 102 en un par de conjuntos de limpieza ultrasónicos modulares 104a, 104b y se disponen de modo que sus caras radiantes estén desplazadas de un eje longitudinal A que se extiende a través de la zona de limpieza. Como se ilustra, dos o más conjuntos modulares pueden combinarse para proporcionar una zona de limpieza extendida y/o para proporcionar patrones de densidad de potencia complementarios. Como se apreciará, los módulos del conjunto de limpieza ultrasónica que pueden combinarse de esta manera no se limitan a conjuntos configurados para patrones de limpieza complementarios, sino que pueden, por ejemplo, incluir una combinación de módulos configurados de manera diferente, tendiendo a aumentar el rendimiento de limpieza general.

40 Como se ilustra en la Figura 5, en una cuarta modalidad ilustrativa, se proporcionan transductores 102 en un par de conjuntos de limpieza ultrasónicos modulares 104a, 104b y se disponen de manera que sus caras radiantes se desplacen de un eje longitudinal A que se extiende a través de la zona de limpieza estando todavía alineados verticalmente, manteniendo así una separación sustancialmente uniforme entre las caras radiantes de los transductores 102 y un conjunto de combustible (no mostrado) que se mueve a través de la zona de limpieza.

45 Como se ilustra en las Figuras 6A, 6B y 7, los datos experimentales indican que, a pesar de la densidad de potencia aumentada lograda con un conjunto de limpieza ultrasónica configurado de acuerdo con la descripción, la vibración medida, es decir, el movimiento bruto de las barras sometidas al proceso de limpieza se reduce con relación al que se experimenta utilizando transductores omnidireccionales radiales convencionales. Estudios adicionales también indican que un conjunto de limpieza ultrasónica configurado de acuerdo con la descripción es capaz de retirar los depósitos más tenaces sin daño apreciable a la película de óxido protector formada sobre las aleaciones de zirconio usadas comúnmente para preparar los conjuntos de combustible.

50 Como se ilustra en las Figuras 9A y 9B, el conjunto de limpieza ultrasónica puede estar provisto de conjuntos de bisagra 110 y enganche 112 o equivalentes adecuados que permitirán que una primera porción del conjunto de limpieza ultrasónica se mueva con relación a una segunda porción del conjunto de limpieza ultrasónica. Este movimiento relativo puede usarse para proporcionar una abertura 106a a través de la cual el conjunto de combustible puede entrar en la zona de limpieza 106. De hecho, en combinación con las guías 108, el acto de cerrar el conjunto de limpieza ultrasónica tenderá a guiar el conjunto de combustible hacia la orientación deseada dentro del conjunto de limpieza ultrasónica o, a la inversa, guiará el conjunto de limpieza ultrasónica sobre el haz de combustible.

60 Las modalidades de los conjuntos de limpieza ultrasónica descritos se configuran con series de transductores que rodean estrechamente la zona de limpieza para reducir la cantidad de energía ultrasónica que escapa del conjunto de limpieza. Además, la distancia reducida entre las barras de combustible y las caras radiantes del transductor reduce las pérdidas por la atenuación mientras que reduce el volumen de líquido encerrado en la zona de limpieza, dando como resultado mayores densidades de potencia general y local. Los transductores y sus superficies radiantes también funcionan como un límite de presión para dirigir el flujo de fluido a través de la zona de limpieza, eliminando así la necesidad de una guía

de flujo separada entre los transductores y el combustible. La falta de estructura intermedia entre el conjunto de combustible y los transductores da como resultado una densidad de potencia de zona de limpieza mayor que la lograda por configuraciones en las que la energía ultrasónica debe pasar a través de una guía de flujo separada para alcanzar el haz de combustible que se limpia.

5

El conjunto de limpieza ultrasónica también puede incluir una o más características que incluyen, por ejemplo, la formación de un campo de potencia variable dentro de la zona de limpieza en donde cada porción del conjunto de combustible se "limpia" mediante diferentes configuraciones de transductor durante la inserción y extracción del conjunto de combustible. Con el conjunto de limpieza ultrasónica operado de esta manera, las superficies del conjunto de combustible pasarán a través de diferentes regiones de nivel de potencia localmente variable y la uniformidad general de limpieza tenderá a mejorar. Los cabezales de accionamiento piezoeléctricos en los transductores planos también pueden estar dispuestos de manera que estén desplazados desde un plano paralelo al eje de movimiento relativo del aditamento de limpieza/conjunto de combustible, de nuevo, para tender a mejorar la uniformidad de limpieza.

10

15

El conjunto de limpieza ultrasónica puede incluir mecanismos adicionales (no mostrados) para proporcionar la traslación o el desplazamiento relativo de los transductores y/o el conjunto de combustible durante la operación de limpieza con el fin de redistribuir áreas localizadas de alta potencia sobre las superficies de combustible. Como se discutió anteriormente, las caras radiantes de los transductores y/o los conjuntos de transductores pueden estar en ángulo de manera que el desplazamiento entre el conjunto de combustible y el transductor o la cara radiante del conjunto de transductor varíe a lo largo del eje del accesorio de limpieza. Dicha disposición podría distribuir los puntos localizados de alta potencia en la zona de limpieza para mejorar la limpieza de las barras de combustible interiores.

20

El conjunto de limpieza ultrasónica puede diseñarse como una gama de módulos que forman la estructura integral del accesorio de limpieza. Típicamente, cada módulo rodearía completamente la zona de limpieza con múltiples módulos que se apilan para formar una zona de limpieza alargada de una longitud apropiada en función de la longitud del combustible que se limpia y/o el espacio disponible en el que se realiza la limpieza. Esta característica de diseño mejora la flexibilidad del conjunto de limpieza ultrasónica para limpiar diferentes diseños de conjuntos de combustible. Los módulos adyacentes pueden tener configuraciones cooperantes o complementarias de caras radiantes para proporcionar una limpieza mejorada.

25

30

Como se ilustra en las Figuras 2A y 2B y discutidas anteriormente, el conjunto de limpieza ultrasónica puede incorporar guías superiores, inferiores y/o intermedias para mantener un desplazamiento entre la cara radiante de los transductores y el conjunto de combustible. Este desplazamiento tendería a prevenir o reducir el contacto entre el combustible y la cara vibrante del transductor, y reduciría la cantidad de acumulación de contaminación en los transductores.

35

Como se ilustra en la Figura 10, el conjunto de limpieza ultrasónica puede incluir una parte superior abierta 106 y una región inferior cerrada 114 que se provee de uno o más puertos de succión 116 de manera que el agua de la piscina se arrastre a través de la zona de limpieza para barrer los depósitos desalojados y para mantener un volumen limpio de fluido de limpieza (agua de la piscina) en la zona de limpieza.

40

Como se ilustra en la Figura 11, el conjunto de limpieza ultrasónica puede incluir una parte superior abierta y una parte inferior abierta con una región de espacio 118 que proporciona uno o más puertos de succión intermedios 116 con zonas de limpieza previstas tanto por encima como por debajo. El agua del depósito se extraerá a través de la zona de limpieza desde las aberturas superior e inferior para barrer los depósitos desalojados y para mantener un volumen limpio de fluido de limpieza (agua del depósito) en la zona de limpieza. Tal distribución permitiría una longitud total más corta para el conjunto de limpieza ultrasónica.

45

Como se ilustra en la Figura 12, una modalidad de un conjunto de limpieza ultrasónica que utiliza series de transductores planos generalmente consistentes con la construcción ilustrada en las Figuras 2A y 2B, se fabricó con propósitos de evaluación y prueba. El recinto 104 definió la zona de limpieza 106 (en este caso, rectangular) y proporciona accesorios 120 que pueden cooperar con accesorios correspondientes (no mostrados) provistos en la parte inferior de un conjunto de limpieza ultrasónico adyacente para apilar módulos correspondientes (no mostrados) para producir una zona de limpieza alargada.

50

Como se ilustra en las Figuras 9A y 9B y discutido anteriormente, el conjunto de limpieza ultrasónica puede tener uno (no mostrado) o dos lados de la zona de limpieza que pueden abrirse en relación al resto del conjunto y cerrarse para permitir que el combustible ingrese a la zona de limpieza desde el lateral en lugar de desde la parte superior. Además, debido a que la zona de limpieza está definida por las superficies radiantes, el perfil no está limitado a ninguna forma geométrica particular y puede configurarse para acomodar diferentes distribuciones de conjuntos de combustible (por ejemplo, triangular, rectangular, cuadrado o hexagonal).

60

65

Tabla 1(a)

Densidades de potencia ultrasónica promedio de diversos diseños de limpiadores de combustible			
Densidad de Potencia del Limpiador BWR Plano Estimada		Densidad de Potencia del Limpiador PWR Plano Estimada	
(Propuesta de Diseño de Alta Potencia)		(Propuesta de Diseño de Alta Potencia)	
Suposiciones		Suposiciones	
50%	Transmisión de energía a través de la pared (canal de combustible BWR)	100%	Transmisión de energía a través de la pared (sin canal de combustible)
Datos de entrada		Datos de entrada	
2800	(watts) Potencia por inclinación del transductor en el limpiador BWR	2800	(watts) Potencia por inclinación del transductor en el limpiador PWR
41	(centímetros aproximados) (16 pulgadas) inclinación/ altura del transductor	41	(centímetros aproximados) (16 pulgadas) inclinación/ altura del transductor
25	(centímetros aproximados) (10 pulgadas) ID de la zona de limpieza cuadrada	25	(centímetros aproximados) (10 pulgadas) ID de la zona de limpieza cuadrada
15	(centímetros aproximados) (6 pulgadas) OD del canal de combustible cuadrado (zona de limpieza)		
Valores Calculados		Valores Calculados	
17	(litros aproximados) (4,4 galones) volumen de agua fuera del canal por inclinación del transductor	26	(litros aproximados) (6,9 galones) volumen de agua por inclinación del transductor
9	(litros aproximados) (2,5 galones) volumen de agua dentro del canal por inclinación del transductor		
		107	(watts/litro aproximados) (404 watts/gal) densidad de potencia fuera de la caja
2185	(watt) potencia total fuera de la zona de limpieza		
615	(watts) potencia total dentro de la zona de limpieza		
130	(watts/litro aproximados) (493 watts/gal) densidad de potencia fuera de la caja		
65	(watts/litro aproximados) (247 watts/gal) densidad de potencia dentro de la caja (suponiendo el % de transmisión anterior)		

50

55

60

65

ES 2 684 081 T3

Tabla 1(b)

5	Densidades de potencia ultrasónica promedio de diversos diseños de limpiadores de combustible			
	Densidad de Potencia Calculada del Limpiador de BWR Existente		Densidad de Potencia Calculada del Limpiador de PWR Existente	
	(Diseño Radial Omnidireccional)		(Diseño Radial Omnidireccional)	
10	Suposiciones		Suposiciones	
	50%	Transmisión de energía a través de la pared (canal de combustible BWR)	50%	Transmisión de energía a través de la pared (guía de flujo de la cámara de limpieza)
15	6000	(watt) Potencia por inclinación del transductor en el limpiador BWR (4x1500w)	6000	(watts) Potencia por inclinación del transductor en el limpiador BWR (4x1500w)
20	80	(centímetros aproximados) (31,5 pulgadas) inclinación/altura del transductor	80	(centímetros aproximados) (31,5 pulgadas) inclinación/altura del transductor
	34	(centímetros aproximados) (13,35 pulgadas) ID del reflector	44	(centímetros aproximados) (17,35 pulgadas) ID del reflector
25	15	(centímetros aproximados (6 pulgadas) OD del canal de combustible cuadrado (zona de limpieza)	23	(centímetros aproximados) (9 pulgadas) ID de la zona de limpieza cuadrada
	Datos de entrada		Datos de entrada	
30	54	(litros aproximados) (14,2 galones) volumen de agua fuera del tubo de caja por inclinación	80	(litros aproximados) (21,2 galones) volumen de agua fuera del tubo de la caja por inclinación
	19	(litros aproximados) (4,9 galones) volumen de agua dentro del tubo de la caja por inclinación	42	(litros aproximados) (11,0 galones) volumen de agua dentro del tubo de la caja por inclinación
35	Valores Calculados		Valores Calculados	
	5115	(watts) potencia total fuera de la zona de limpieza	4760	(watts) potencia total fuera de la zona de limpieza
40	885	(watts) potencia total dentro de la zona de limpieza	1240	(watts) potencia total dentro de la zona de limpieza
	95	(watts/litro aproximados) (361 watts/gal) densidad de potencia fuera de la caja	59	(watts/litro aproximados) (225 watts/gal) densidad de potencia fuera de la caja
45	48	(watts/litro aproximados) (180 watts/galón) densidad de potencia dentro de la caja (suponiendo el % de transmisión anterior)	30	(watts/litro aproximados) (112 watts/galón) densidad de potencia dentro de la caja (suponiendo el % de transmisión anterior)

50

55

60

65

ES 2 684 081 T3

Tabla 1(c)

	Densidades de potencia ultrasónica promedio de diversos diseños de limpiadores de combustible			
5	Densidad de Potencia Estimada del limpiador de Kato (Combustible BWR)		Densidad de Potencia Estimada del limpiador de Kato (Combustible BWR)	
	Suposiciones generales		Suposiciones generales	
10	50%	Transmisión de energía a través de la pared (canal de combustible BWR)	50%	Transmisión de energía a través de la pared (canal de combustible BWR)
15	0,7	(watts/cm ² aproximados) (4,4 watts/pulg ²) Salida de potencia del transductor plano (se supone igual a los transductores utilizados anteriormente)	0,7	(watts/cm ² aproximados) (4,4 watts/pulg ²) Salida de potencia del transductor plano (se supone igual a los transductores utilizados anteriormente)
	Suposiciones de geometría		Suposiciones de geometría	
20	15	(centímetros aproximados) (6,0 pulgadas) Ancho de la caja del canal	25	(centímetros aproximados) (10 pulgadas) Ancho de la caja del canal
	10	(centímetros aproximados) (3,94 pulgadas) Distancia de desplazamiento del transductor (Figuras de Kato 10, 11)	10	(centímetros aproximados) (3,94 pulgadas) Distancia de desplazamiento del transductor (Figuras de Kato 10, 11)
25	35	(centímetros aproximados) (13,87 pulgadas) Diámetro del Octágono de volumen de agua cerrado	45	(centímetros aproximados) (17,87 pulgadas) Diámetro del Octágono del volumen de agua cerrado
30	15	(centímetros aproximados) (5,75 pulgadas) Ancho del transductor	19	(centímetros aproximados) (7,41 pulgadas) Ancho del transductor
	41	(centímetros aproximados) (16,00 pulgadas) inclinación/altura del transductor	41	(centímetros aproximados) (16,00 pulgadas) inclinación/altura del transductor
35	8	Número máximo de transductores a cualquier altura (Figuras de Kato 6, 7)	8	Número máximo de transductores a cualquier altura (Figuras de Kato 6, 7)
	Valores Calculados		Valores Calculados	
40	402,5	(watts) Potencia de transductor individual (a partir de geometría supuesta y salida de potencia supuesta)	518,7	(watts) Potencia de transductor individual (a partir de geometría supuesta y salida de potencia supuesta)
	3220	(watts) Potencia por inclinación del transductor con un número máximo de transductores	4150	(watts) Potencia por inclinación del transductor con un número máximo de transductores
45	9	(litros aproximados) (2,5 galones) volumen de agua dentro del tubo de la caja por inclinación	26	(litros aproximados) (6,9 galones) volumen de agua dentro del tubo de la caja por inclinación
	33	(litros aproximados) (8,6 galones) volumen de agua fuera del tubo de la caja por inclinación	43	(litros aproximados) (11,4 galones) volumen de agua fuera del tubo de la caja por inclinación
50	5115	(watts) potencia total fuera de la zona de limpieza	3183	(watts) potencia total fuera de la zona de limpieza
	885	(watts) potencia total dentro de la zona de limpieza	966	(watts) potencia total dentro de la zona de limpieza
55	87	(watts/litro aproximados) (329 watts/gal) densidad de potencia fuera de la caja	74	(watts/litro aproximados) (279 watts/gal) densidad de potencia fuera de la caja
60	43	(watts/litro) (164 watts/gal) densidad de potencia dentro de la caja (suponiendo el % de transmisión anterior)	37	(watts/litro aproximados) (140 watts/galón) densidad de potencia dentro de la caja (suponiendo el % de transmisión anterior)

Reivindicaciones

1. Un conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) adecuado para limpiar barras de combustible, el conjunto comprende;
 5 una serie de transductores ultrasónicos planos (102); y,
 una abertura poligonal que define una zona de limpieza (106) que se adapta para recibir al menos parte de un objeto a limpiar y líquido en el que se sumerge al menos parte del objeto a limpiar; la serie de transductores ultrasónicos planos (102) se aplica a una primera pluralidad de paredes de presión para formar una pluralidad de superficies radiantes, estando dispuestas las superficies radiantes para formar un interior de la abertura poligonal que define la zona de limpieza (106);
 10 en donde, durante la limpieza de dicho al menos parte del objeto, dicha primera pluralidad de paredes de presión funciona como un límite de presión para dirigir un flujo de dicho líquido a través de la zona de limpieza (106) a dicha al menos parte del objeto a limpiar; y,
 15 el conjunto comprende una segunda pluralidad de paredes de presión que cooperan con la primera pluralidad de paredes de presión para encerrar los transductores,
 caracterizado porque,
 la serie de transductores ultrasónicos planos (102) es capaz de formar una densidad de potencia ultrasónica de al menos 52,8 watts/litro en la zona de limpieza.
- 20 2. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la serie de transductores (102) comprende una pluralidad de hileras de transductores y en donde los transductores en una hilera se disponen con un desplazamiento horizontal con relación a una fila adyacente de transductores.
- 25 3. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los transductores (102) se aplican a la primera pluralidad de paredes de presión de manera que sus caras radiantes están desplazadas de un eje longitudinal (A) que se extiende a través de la limpieza zona (106) a lo largo de una dirección en la que la al menos parte del objeto entra en la zona de limpieza (106) a través de un extremo abierto del conjunto.
- 30 4. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 3, en donde los transductores (102) se alinean verticalmente de manera que, durante la limpieza de al menos dicha parte del objeto, se mantiene una separación sustancialmente uniforme entre las caras radiantes de los transductores (102) y al menos dicha parte del objeto.
- 35 5. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende un conjunto de bisagra (110) que permite que una primera porción de los transductores ultrasónicos planos (102) se mueva con relación a una segunda porción de transductores ultrasónicos planos (102).
- 40 6. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el conjunto de bisagra (110) se dispone en la segunda pluralidad de paredes de presión.
- 45 7. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende un conjunto de enganche (112) configurado para enganchar la primera porción de los transductores ultrasónicos planos (102) a la segunda porción de los transductores ultrasónicos planos (102).
- 50 8. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los transductores ultrasónicos planos (102) se aplican a la primera pluralidad de paredes de presión de manera que cada porción de dicha al menos parte del objeto a limpiar se trata mediante diferentes configuraciones de transductor durante la inserción y extracción de dicha al menos parte del objeto en y desde la zona de limpieza (106).
- 55 9. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una o más guías (108) para mantener un desplazamiento entre las paredes de presión y dicha al menos parte del objeto.
- 60 10. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una región superior abierta (106) para recibir dicha al menos parte del objeto a limpiar y una región inferior cerrada (114), donde la región inferior incluida (114) se provee de uno o más puertos de succión (116) para barrer los depósitos desalojados y para mantener un volumen de líquido limpio en la zona de limpieza.
- 65 11. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde:
 la zona de limpieza (106) incluye dos regiones de limpieza distintas que se separan entre sí;
 una primera región de limpieza (106) se define mediante una primera pluralidad de transductores ultrasónicos planos (102) y una segunda región de limpieza (106) se define mediante una segunda pluralidad de transductores ultrasónicos planos (102);

se proporciona una región de separación (118) desprovista de transductores ultrasónicos planos entre la primera y la segunda regiones de limpieza (106); y la región de separación (118) incluye uno o más puertos de succión (116) para barrer los depósitos desalojados y para mantener un volumen de líquido limpio en la zona de limpieza.

5

12. El conjunto de limpieza ultrasónica sumergible (104, 104a, 104b) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde, durante la limpieza de dicha al menos parte del objeto, al menos parte de la segunda pluralidad de paredes de presión se sumerge en líquido.

10

13. Un método de limpieza ultrasónica adecuado para limpiar barras de combustible, el método comprende; configurar una serie de transductores ultrasónicos planos (102) para formar una superficie radiante; disponer una pluralidad de superficies radiantes para formar un módulo de conjunto de limpieza (104, 104a, 104b) que tiene una abertura poligonal que define una zona de limpieza (106); mantener un volumen de líquido dentro de la abertura poligonal; aplicar agitación ultrasónica al líquido para formar una zona de limpieza (106) que tiene una densidad de potencia ultrasónica de al menos 52,8 watts/litro; y mover un objeto contaminado a través de la zona de limpieza (106), en donde el conjunto de transductores ultrasónicos planos (102) se encierra entre dos paredes de presión del módulo de conjunto de limpieza (104, 104a, 104b).

15

20

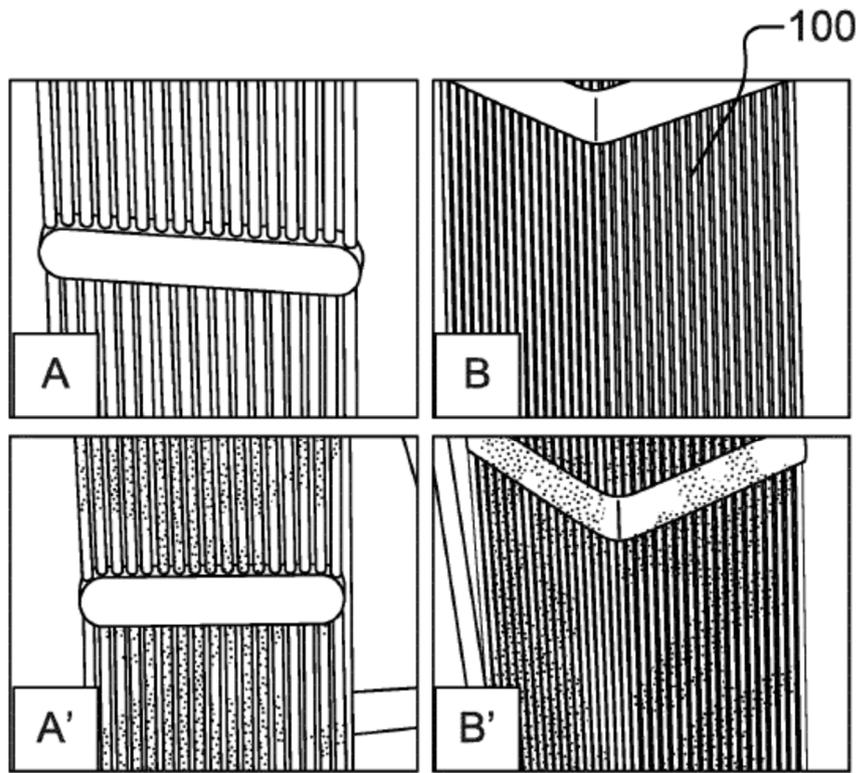


FIG. 1

(TÉCNICA CONVENCIONAL)

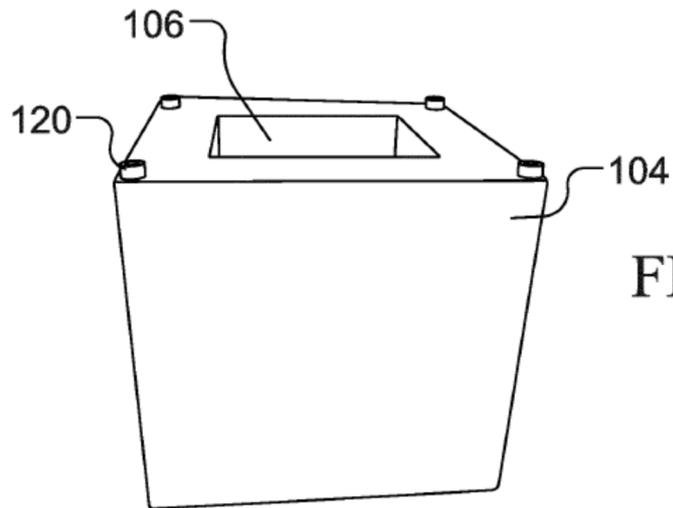


FIG. 12

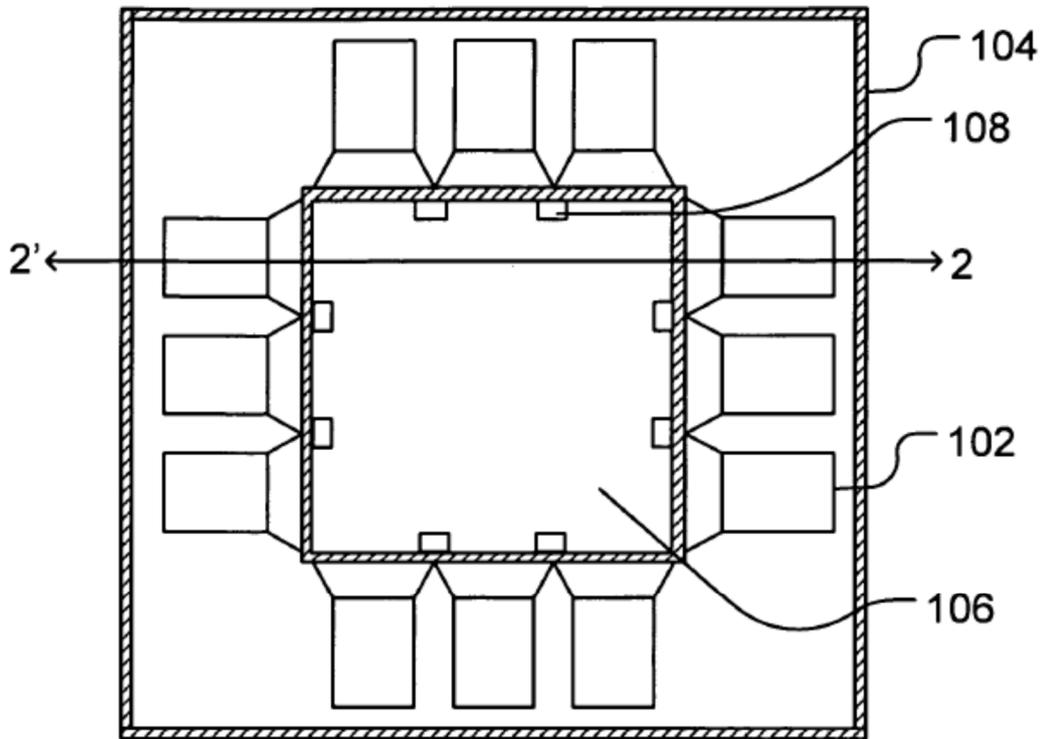


FIG. 2A

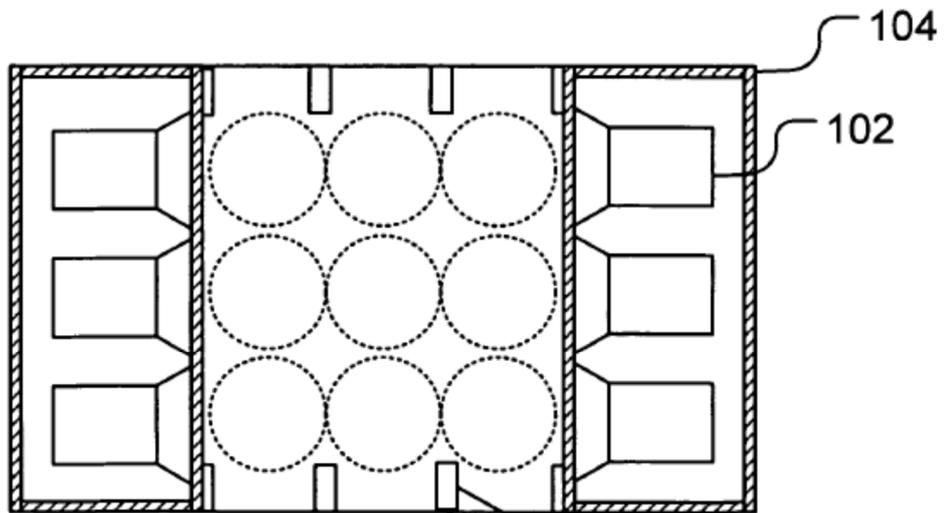


FIG. 2B

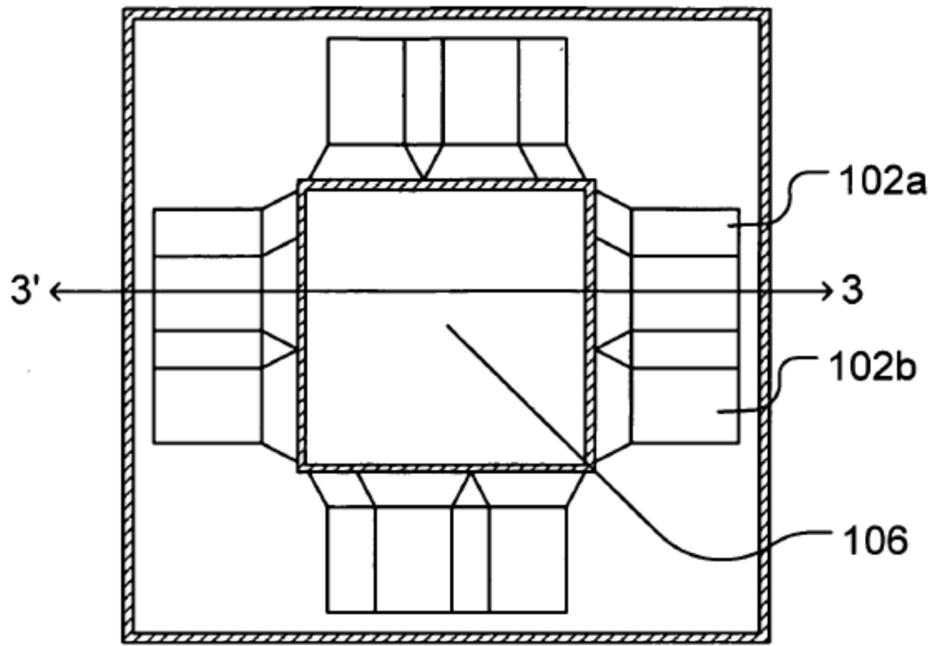


FIG. 3A

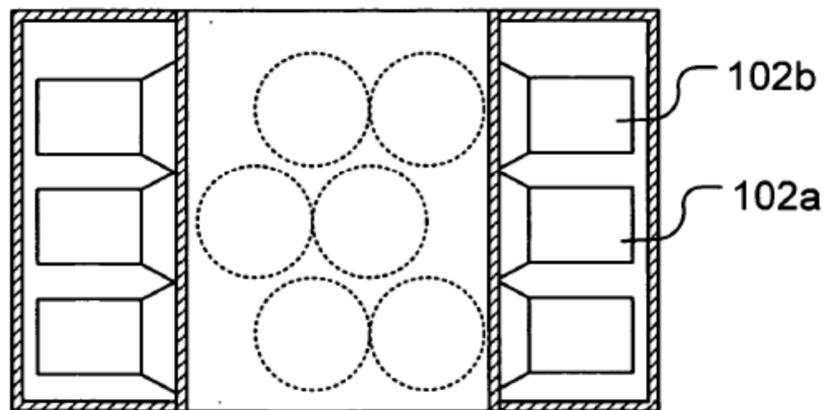


FIG. 3B

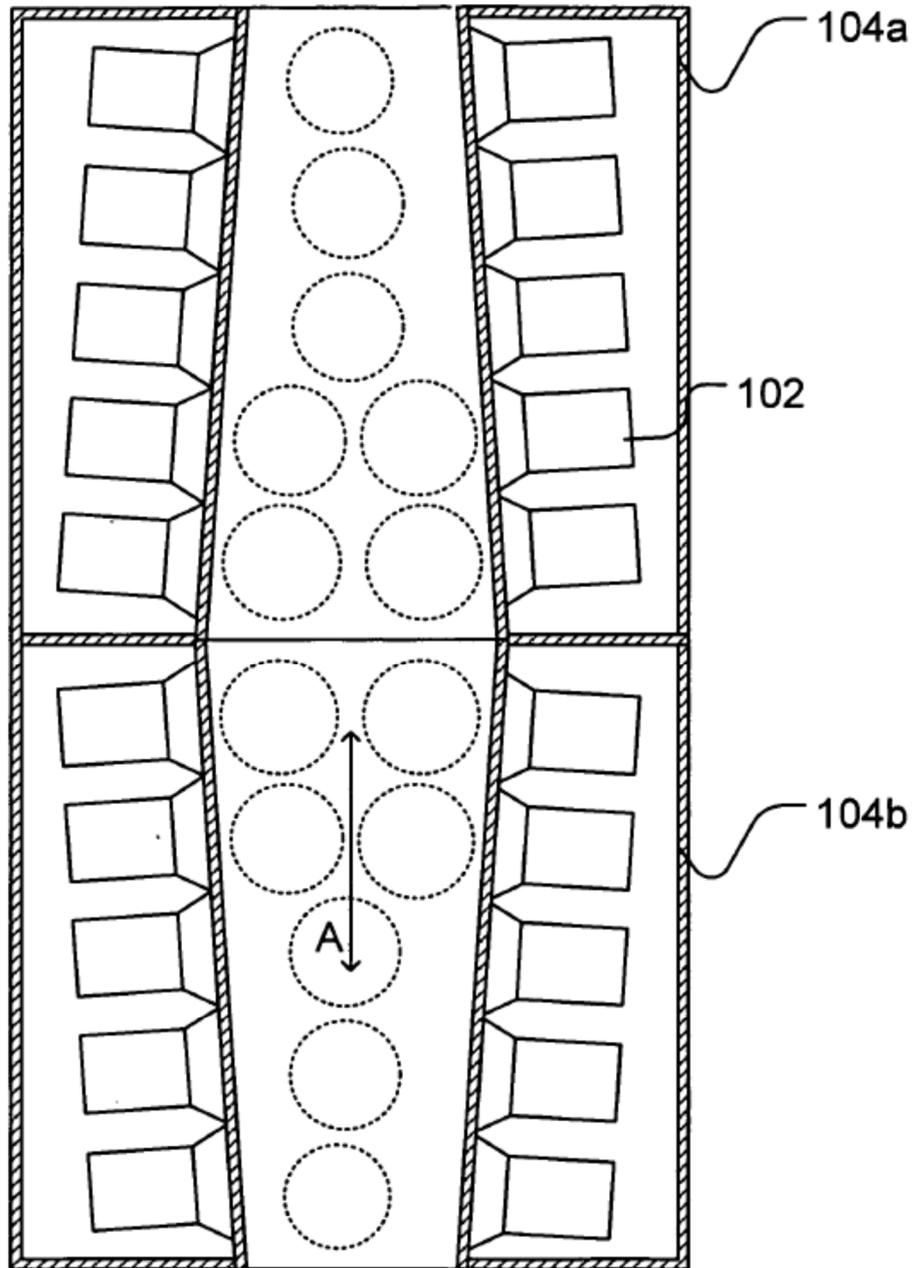


FIG. 4

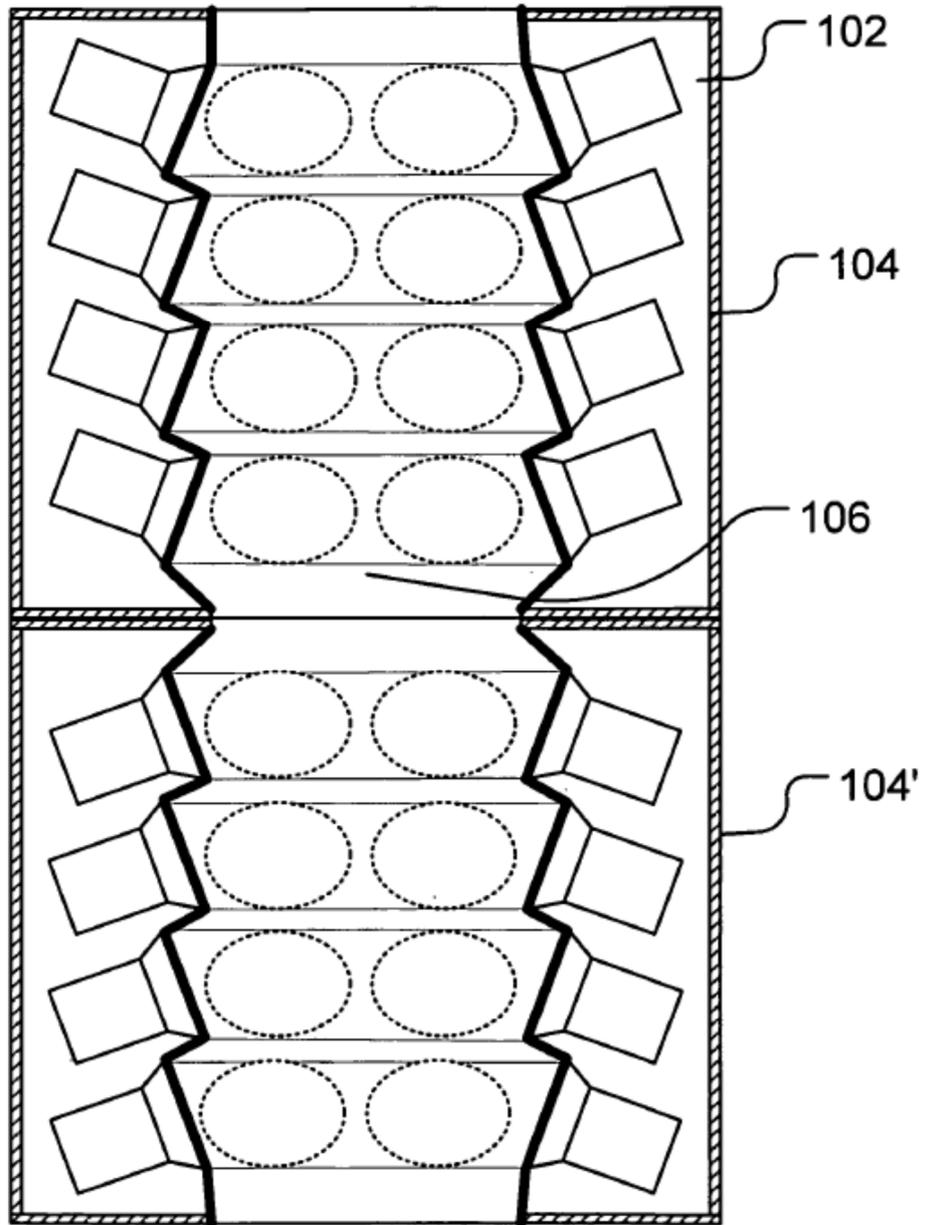


FIG. 5

Modelo STP, 100% Potencia, Desplazamiento de la punta del revestimiento

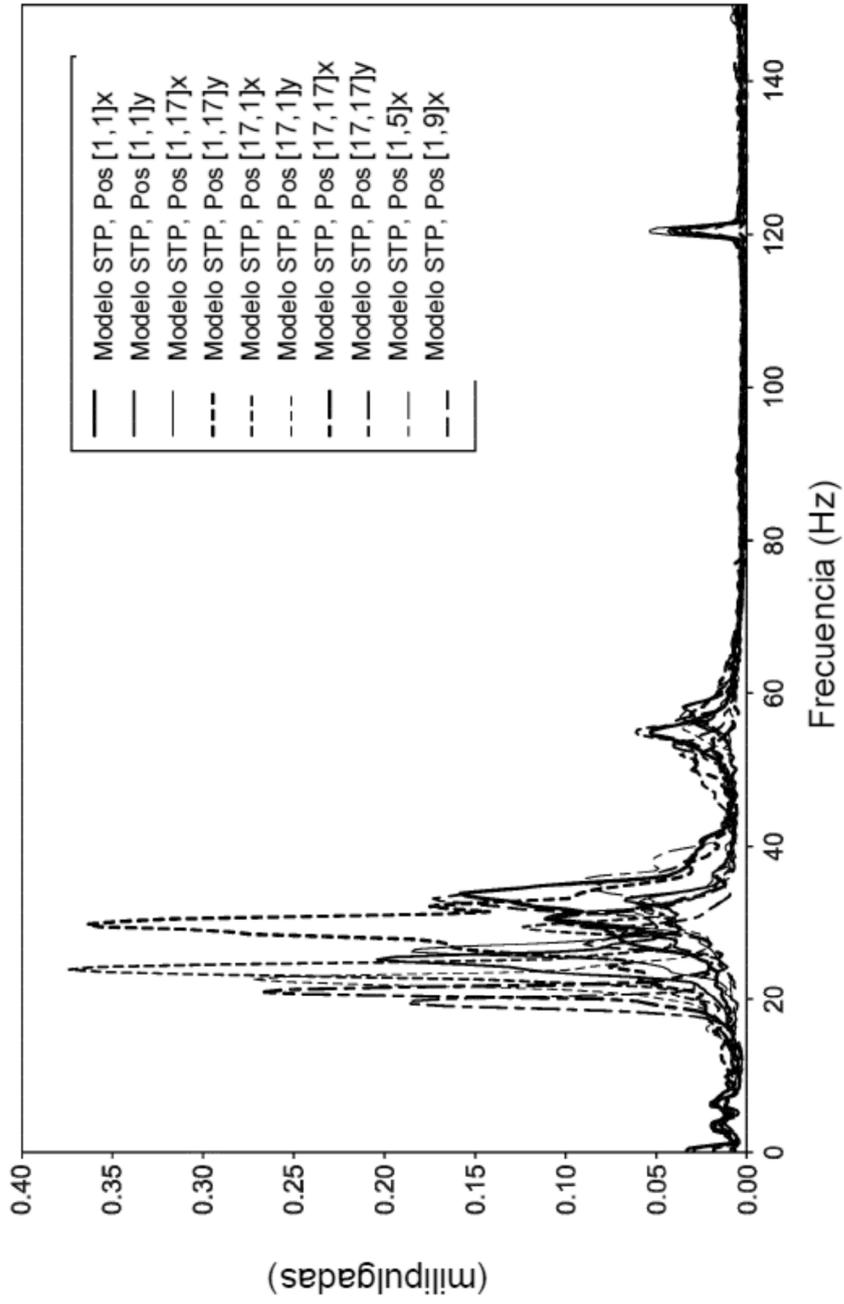


FIG. 6A

Modelo de Transductor DEI UFC Nuevo, 100% Potencia, Desplazamiento de la punta del revestimiento

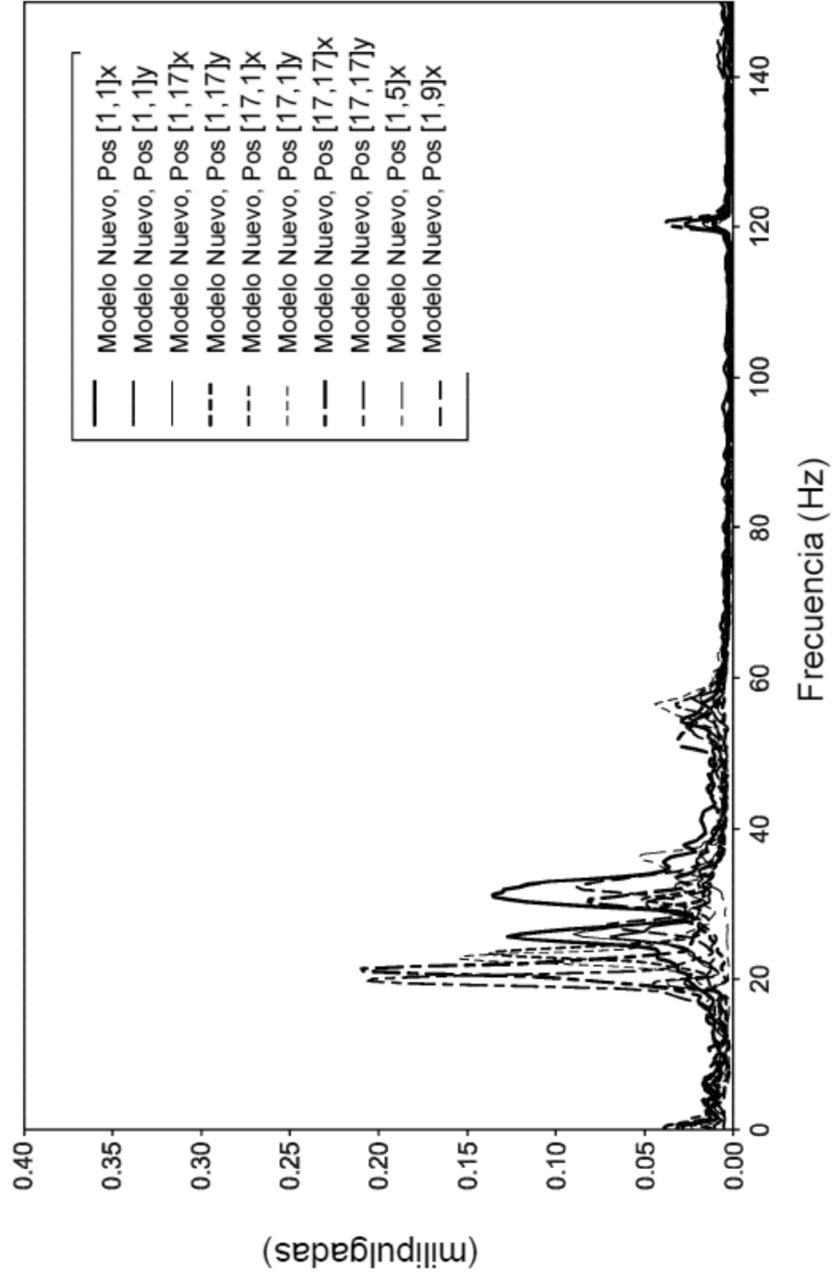


FIG. 6B

100% Potencia, Desplazamiento de la punta del revestimiento

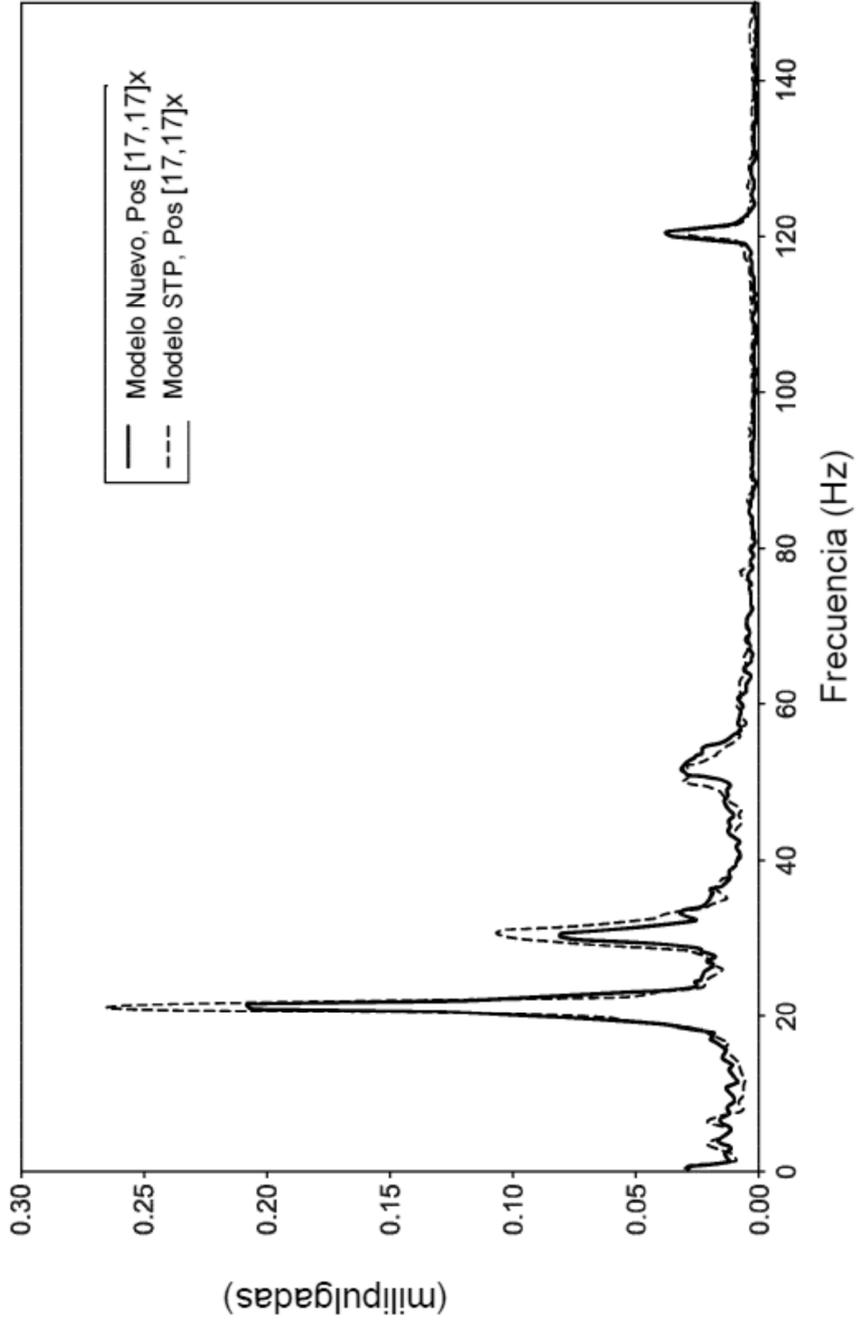


FIG. 7

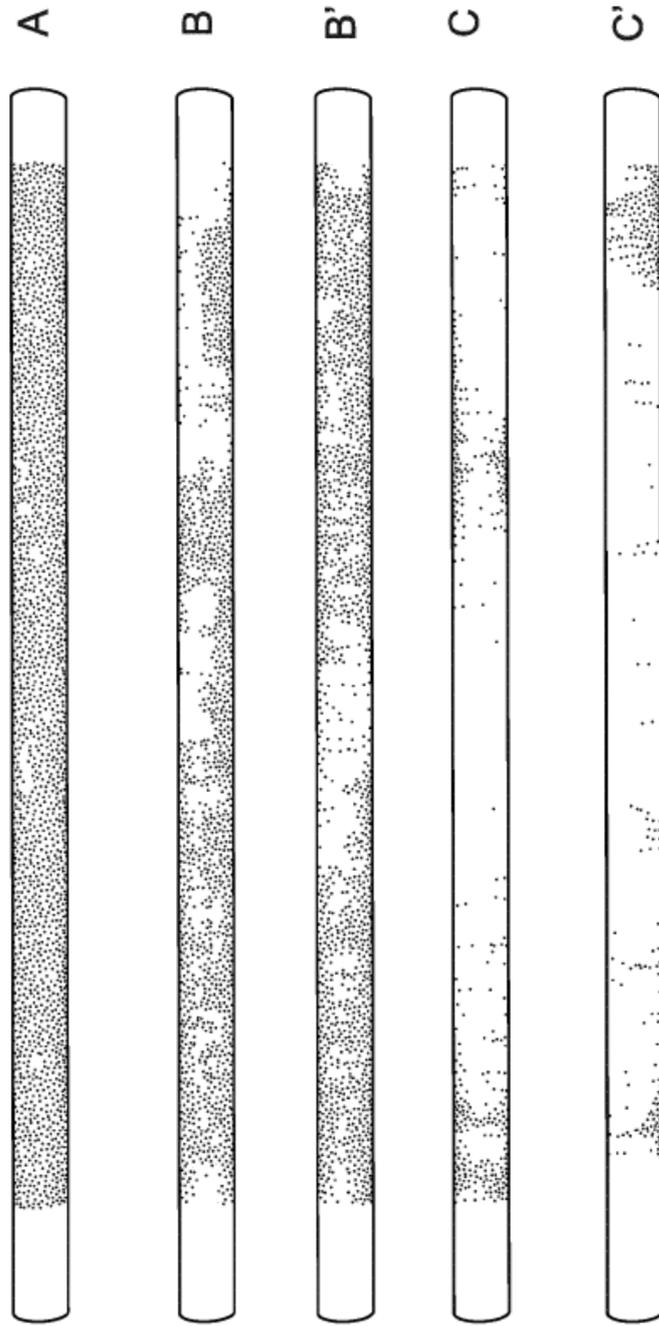


FIG. 8

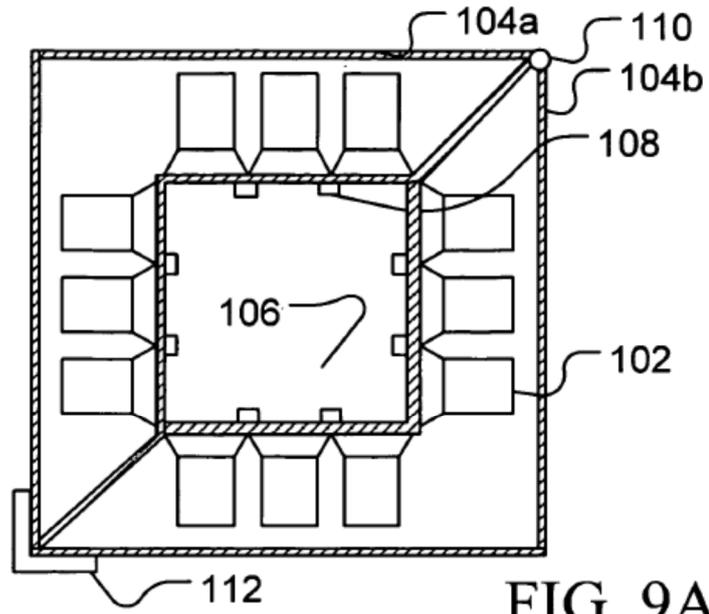


FIG. 9A

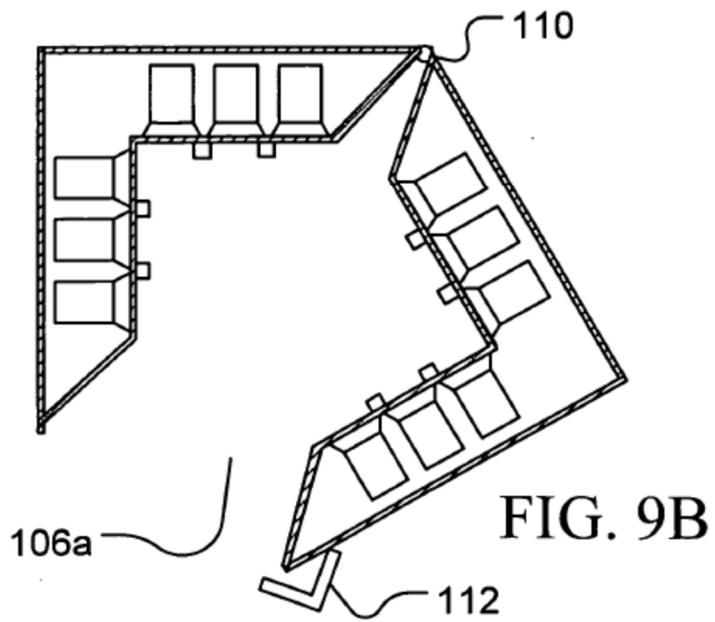


FIG. 9B

