

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 221**

51 Int. Cl.:

F16L 55/027 (2006.01)

F16L 55/052 (2006.01)

G21C 17/10 (2006.01)

G21D 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.03.2011** **PCT/US2011/026771**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012** **WO12112169**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2011** **E 11858513 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018** **EP 2676276**

54 Título: **Sistema de mitigación de ruidos y vibraciones para reactores nucleares que emplean un resonador acústico con derivación lateral**

30 Prioridad:

15.02.2011 US 201113027322

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

12.09.2018

73 Titular/es:

WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)

1000 Westinghouse Drive
Cranberry Township, Pennsylvania 16066, US

72 Inventor/es:

LONGONI, GIANLUCA;
MUNSI, YOUNUS;
THEURET, ROBERT, C. y
FORSYTH, DAVID, R.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 681 221 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de mitigación de ruidos y vibraciones para reactores nucleares que emplean un resonador acústico con derivación lateral

Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

La presente invención se refiere a centrales nucleares, tal como, sin limitación, centrales nucleares del tipo reactor de agua en ebullición (BWR), y en particular a un sistema para la mitigación del ruido y vibración potencialmente dañinos provocados por la excitación de ondas estacionarias en derivaciones laterales de un sistema de reactor nuclear tal como un sistema BWR como resultado de vapor fluyendo a través de la línea de vapor principal del sistema.

2. Descripción de la técnica relacionada

Un BWR comprende una vasija de reactor parcialmente llena con refrigerante de agua que sirve como un medio de transferencia de calor. Un núcleo del reactor que contiene combustible nuclear que genera calor está rodeado por el refrigerante de agua. Una pluralidad de bombas de "chorro" se disponen dentro de la vasija para el aumento de la velocidad del refrigerante a través del núcleo del reactor para eliminar de forma eficiente el calor generado por el combustible nuclear en el núcleo del reactor. El calor generado por el combustible nuclear se asume por el agua circundante, que se vaporiza por el calor para producir vapor. Una línea de vapor principal conduce el vapor desde la vasija a un grupo turbogenerador para producir electricidad de una manera bien conocida en la técnica. Después de que el vapor pasa a través del grupo turbogenerador, se canaliza a un condensador de condensado del vapor en agua líquida. El agua condensada se devuelve a la vasija de reactor por medio de una tubería de alimentación de refrigerante de reposición de agua vaporizada por el calor del combustible nuclear.

Las centrales nucleares de tipo BWR pueden, a veces, experimentar la excitación de ondas estacionarias acústicas en derivaciones laterales fuera de la línea de vapor principal (tal como un tubo vertical que incluye una válvula de alivio y seguridad) como resultado del vapor fluyendo a través de la línea de vapor principal. Más particularmente, a medida que el vapor fluye por la línea de vapor principal, el desprendimiento de vórtice a través de la abertura de la derivación lateral cerrada provoca que las ondas estacionarias acústicas se exciten en la derivación lateral cerrada en la frecuencia de resonancia de la derivación lateral cerrada. Estas ondas estacionarias acústicas crean fluctuaciones de presión que se propagan a través de la línea de vapor principal y provocan degradación al secador de vapor y otro equipo en el BWR, tal como válvulas de alivio y seguridad y válvulas de cierre de turbina.

El documento JP2713341B desvela una tubería de derivación preventiva de resonancia que se extiende desde un vástago de boquilla en una tubería de vapor, teniendo la tubería de derivación un absorbente de sonido fabricado de fibras de carbono, fibras de metal o espuma metálica.

El documento JP 2008 256130A desvela una tubería de derivación para evitar resonancias en una tubería de fluido y una estructura de tipo malla plana formada dentro y a través de la tubería de derivación.

La invención se define mediante el procedimiento de la reivindicación 1. Se proporciona el procedimiento de fabricación de un resonador acústico con derivación lateral estructurado para acoplarse a un tubo vertical de una central nuclear, en el que el resonador acústico con derivación lateral incluye una pluralidad de elementos de malla de alambre para fines de amortiguación. El procedimiento incluye determinar una frecuencia de resonancia del tubo vertical, determinar una longitud activa del resonador acústico con derivación lateral usando la frecuencia de resonancia y determinar un número particular de los elementos de malla de alambre a usar en el resonador acústico con derivación lateral y un paso de cada uno de los elementos de malla de alambre usando ecuaciones de momento y continuidad de un fluido compresible.

Estos y otros objetos, prestaciones y características de la presente invención, así como los procedimientos de operación y funciones de los elementos relacionados de estructura y la combinación de partes y economías de fabricación, serán más evidentes tras la consideración de la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas con referencia a los dibujos adjuntos, todos los cuales forman parte de esta memoria descriptiva, en los que números de referencia similares indican partes correspondientes en las diversas figuras. Debe entenderse expresamente, sin embargo, que los dibujos son únicamente para el fin de ilustración y descripción y no tienen por objetivo ser una definición de los límites de la invención. Como se usa en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones, la forma singular de "un", "una" y "el/la" incluyen referentes plurales a no ser que el contexto indique claramente de otra manera.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un reactor de agua en ebullición en el que puede implementarse la presente divulgación de acuerdo con un ejemplo;

la Figura 2 es una vista en sección transversal de un resonador ASB que forma parte del reactor de agua en

ebullición de la Figura 1 de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación;

la Figura 3 es una vista en sección transversal superior de una derivación lateral cerrada que forma parte del reactor de agua en ebullición de la Figura 1 de acuerdo con un ejemplo;

la Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de diseño de un resonador ASB para un reactor nuclear tal como un reactor de agua en ebullición de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación;

la Figura 5 es un diagrama esquemático que muestra un modelo de parámetros concentrados del resonador ASB mostrado en las Figuras 2 y 3; y

la Figura 6 es una vista en alzado frontal de un elemento de malla de alambre del resonador ASB de la Figura 2 de acuerdo con un ejemplo.

Descripción detallada de los ejemplos

Las frases direccionales usadas en el presente documento, tal como, por ejemplo y sin limitación, arriba, abajo, izquierda, derecha, superior, inferior, frontal, posterior y derivados de los mismos, se refieren a la orientación de los elementos mostrados en los dibujos y no limitan las reivindicaciones a no ser que se indique expresamente en la mismas.

Según se emplea, en el presente documento, la afirmación que dos o más partes o componentes se "acoplan" juntos significará que las partes están unidas u operan juntas o bien directamente o a través de una o más partes intermediarias o componentes.

Según se emplea en el presente documento, la afirmación que dos o más partes o componentes "se enganchan" entre sí significará que las partes ejercen una fuerza entre sí o bien directamente o a través de una o más partes intermediarias o componentes.

Según se emplea en el presente documento, el término "número" significará uno o un entero mayor de uno (es decir, una pluralidad).

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un reactor 1 de agua en ebullición en el que puede implementarse la presente divulgación de acuerdo con un ejemplo. El reactor 1 de agua en ebullición incluye un núcleo 3 nuclear dentro de una vasija 5 de presión. También proporcionados dentro de la vasija 5 de presión hay separadores 7 de corriente y secadores 9 de vapor. Agua refrigerante se circula hacia arriba a través del núcleo como se indica mediante las flechas, con el calor del núcleo produciendo vapor saturado que se separa del agua de recirculación en separadores 7 de corrientes. El vapor se seca en secadores 9 de vapor en la parte superior de la vasija 5 de presión y se dirige a través de una línea 11 de vapor principal al generador 12 de turbina de vapor. El vapor, después de su uso en el generador 12 de turbina de vapor, se condensa en un condensador 13 y devuelve a través de una línea 14 de alimentación de agua principal a la vasija 5 de presión para recirculación hacia abajo sobre el núcleo 3 del reactor y a continuación hacia arriba a través del mismo.

Se proporciona también una pluralidad, normalmente dos, de bucles 15, 15' de recirculación para circular agua refrigerante y refrigerar el reactor. Cada bucle 15, 15' de recirculación comprende una línea 17, 17' que conduce a una primera válvula 19, 19', una línea 21, 21' que conduce desde la primera válvula 19, 19' a una bomba 23, 23' de recirculación, y líneas 25, 25' de retorno desde la bomba 23, 23' de recirculación, que contiene una segunda válvula 27, 27', de vuelta a la vasija 5 de presión. Se proporcionan bombas 29 de chorro en la vasija 5 de presión que mezcla el agua de alimentación principal con el refrigerante recirculado desde las bombas 23, 23' de recirculación externas. El flujo de refrigerante a través del núcleo 3 es la suma del flujo desde la línea 13 de agua de alimentación principal y el flujo de recirculación desde los bucles 15 y 15' de recirculación.

En el ejemplo ilustrado, la línea 11 de vapor principal incluye al menos una derivación 30 lateral cerrada que incluye un tubo 32 vertical fuera de la línea 11 de vapor principal que tiene una válvula 34 de alivio de seguridad y un resonador 36 acústico con derivación lateral acoplado al tubo 32 vertical. La válvula 34 de alivio de seguridad proporciona protección contra sobrepresión para la línea 11 de vapor principal. Como se describe en mayor detalle en el presente documento, el resonador 36 ASB modifica el tubo 32 vertical en la condición en la que se construyó, y cambia de forma efectiva la frecuencia de resonancia del tubo 32 vertical que incluye la válvula 34 de alivio de seguridad. Como resultado, se reducen o eliminan las ondas estacionarias, generadas por el desprendimiento de vórtice a través de la abertura de la derivación 30 lateral cerrada, reduciendo o eliminando de este modo la degradación de componentes del reactor 1 de agua en ebullición, tal como los secadores 9 de vapor. Además, en el ejemplo descrito en el presente documento, el resonador 36 ASB está provisto de rejillas de malla para proporcionar un mecanismo de amortiguación de la energía acústica introducida en el sistema.

La Figura 2 es una vista en sección transversal de un resonador 36 ASB de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación. El resonador 36 ASB incluye el alojamiento 38 cilíndrico fabricado de, por ejemplo y sin limitación, ASME A106, Gr B, aunque también pueden usarse otros materiales. El alojamiento 38 incluye un primer extremo 40 y un segundo extremo 42 opuesto al primer extremo 40. Se proporciona una barrera 44 de exclusión de materiales extraños (FME) en el alojamiento 38 en el primer extremo 40. En la realización ilustrativa, la barrera 44 FME es una placa circular que tiene un número de orificios provistos en la misma. Se proporciona un conjunto 46 de retención en el alojamiento 38 en el segundo extremo 42. El conjunto 46 de retención incluye una placa 48 de compresión de

rejilla, una arandela 50 plana, una arandela 52 elástica, una arandela 54 plana y una placa 56 de rejilla fija. Se proporciona un número de elementos 58 de malla de alambre en el alojamiento 38 entre la barrera 44 FME y el conjunto 46 de retención. En la realización ilustrativa, cada elemento 58 de malla de alambre comprende un elemento de rejilla en forma de disco que tiene una disposición de enclavamiento o alambres de metal entretejidos que definen un número de pequeñas aberturas uniformes y espaciadas uniformemente entre los alambres. En la Figura 6 se muestra una vista en alzado frontal de un elemento 58 de malla de alambre de acuerdo con un ejemplo. Cada elemento 58 de malla de alambre tendrá un paso definido asociado con el mismo, que es el número de alambres por unidad de longitud (tal como alambres/cm). Como se apreciará, el paso determinará el tamaño y número de aberturas en el elemento 58 de malla de alambre. Como se describe en otro lugar en el presente documento, los elementos 58 de malla de alambre proporcionan un mecanismo de amortiguación aumentando la disipación viscosa de la energía de ondas acústicas introducidas en el alojamiento 38 (el resonador 36 ASB crea una cavidad adicional en la derivación 30 lateral cerrada). Aumentando el mecanismo de disipación viscosa usando un número de discos de malla de alambre (elementos 58 de malla de alambre), la energía de las ondas acústicas se convierte en calor. En el ejemplo, los artículos 44, 58, 48, 50, 54 y 56 se fabrican de acero inoxidable 316 o 304 y el artículo 52 se fabrica de Inconel X-75), aunque también pueden usarse otros materiales.

La Figura 3 es una vista en sección transversal superior de la derivación 30 lateral cerrada de acuerdo con un ejemplo. Como se observa en la Figura 3, la derivación 30 lateral cerrada incluye el tubo 32 vertical y el resonador 36 ASB. El resonador 36 ASB se acopla al tubo 32 vertical a través de una conexión 60 de salida de tipo weldolet que se fija al tubo 32 vertical. Además, se proporciona un casquillo 62 de tubería en el extremo 42 del alojamiento 38 para cerrar el alojamiento 38. Idealmente, el resonador 36 ASB se acopla al tubo 32 vertical en la posición a lo largo de la longitud del tubo 32 vertical en la que la onda estacionaria acústica excitada estará en un máximo, que es la parte superior del tubo 32 vertical. Sin embargo, en la práctica, el espacio/distancia para componentes a menudo es limitado en una a central nuclear y por lo tanto la colocación del resonador 36 ASB a menudo se limita por factores de espacio/distancia. Como resultado, el resonador 36 ASB debería situarse tan alto como sea posible a lo largo de la longitud de tubo 32 vertical dadas las restricciones de espacio y distancia particulares en cuestión.

En el diseño de un resonador 36 ASB particular, para reducir o eliminar de forma efectiva la excitación de las ondas estacionarias en la derivación 30 lateral cerrada y proporcionar el efecto de amortiguación deseado (es decir, efecto de disipación viscoso), existe un número de parámetros esenciales que deben determinarse. Esos parámetros incluyen: (1) la longitud activa del resonador 36 ASB (que en la realización ilustrativa incluye la longitud de la conexión 60 de salida de tipo weldolet y el alojamiento 38), (2) diámetro del resonador 36 ASB y por lo tanto el diámetro de los elementos 58 de malla de alambre, (3) el número de elementos 58 de malla de alambre proporcionados en el alojamiento 38 y (4) el paso de los elementos 58 de malla de alambre. El diámetro, número y paso de los elementos 58 de malla de alambre determinan el efecto de amortiguación que proporcionarán.

La longitud del resonador 36 ASB es importante porque indica la frecuencia en la que el resonador 36 ASB resonará. Para ser efectivo, el resonador 36 ASB debe resonar a una frecuencia que es tan próxima como sea práctico a la frecuencia que debe eliminarse, que es la frecuencia de resonancia del tubo 32 vertical, es decir, la frecuencia de las ondas estacionarias acústicas que se excitarán. Las frecuencias de resonancia para un resonador 36 ASB se obtienen mediante:

$$f_0 = \frac{\left(n - \frac{1}{2}\right)c}{2L_e} \text{ para } n=1, 2, 3 \dots N, \quad (1)$$

en la que c es la velocidad del sonido (en general esta ecuación se aplica a una derivación lateral "abierta-cerrada", en la que un lado está abierto y el otro cerrado). En la Ecuación (1), L_e es la longitud equivalente de la derivación lateral que representa la masa de gas que se acelera en la abertura de la derivación lateral. La expresión de L_e para una derivación lateral de extremo con reborde se obtiene mediante:

$$L_e = L + \frac{8a}{3\pi}, \quad (2)$$

en la que a es el radio del resonador 36 ASB. En la práctica, el efecto de añadir el resonador 36 ASB al sistema es para eliminar la frecuencia de resonancia debido al tubo 32 vertical dividiendo el mismo en componentes de frecuencia inferiores y superiores. Efectivamente, las dimensiones generales del resonador 36 ASB pueden calcularse usando varias metodologías. Como se describe a continuación, la presente divulgación en el ejemplo emplea el problema de valor propio para una ecuación de ondas.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de diseño de un resonador 36 ASB para un tubo 32 vertical de un reactor nuclear tal como un reactor de agua en ebullición de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación. Haciendo referencia a la Figura 4, el procedimiento comienza en la etapa 100, en la que la frecuencia de resonancia del tubo 32 vertical se determina usando el valor propio de una ecuación de ondas acústicas. A continuación, en la etapa 102, las dimensiones del resonador 36 ASB se determinan usando la frecuencia de resonancia recientemente determinada y una ecuación de ondas acústicas. La longitud activa del resonador 36 ASB

se determina usando las Ecuaciones 1 y 2 (anteriores). De este modo, el resonador 36 ASB y el tubo 32 vertical se acoplarán acústicamente, significando que la abertura en el tubo 32 vertical al resonador 36 ASB no generará reflexiones de ondas, que significa que la impedancia acústica de sistema ASB/tubo vertical es casi cero. El diámetro del resonador 36 ASB se determina mediante la optimización de la resistencia acústica deseada usando la Ecuación 19 (a continuación) y cumpliendo el criterio para la instalación de este componente en una central particular. Este último criterio es a base del hecho que la instalación puede dificultarse si se fabrica un resonador 36 ASB con un diámetro muy grande. También, obsérvese que el diámetro no debería exceder el diámetro del tubo vertical, ya que sería muy difícil instalar el resonador 36 ASB con accesorios de tuberías estándar en un caso de este tipo.

En el ejemplo, la longitud del resonador 36 ASB se determina usando la ecuación de ondas monodimensionales con un término variable. En particular, las dimensiones se determinan a base de la solución del problema de valor propio para la ecuación de ondas monodimensionales con un término de área variable. A continuación, en la etapa 104, el número de elementos 58 de malla de alambre a proporcionar en el resonador 36 ASB y el paso de los elementos 58 de malla de alambre se determinan usando ecuaciones de momento y continuidad de un fluido compresible. El número de elementos 58 de malla de alambre y el paso de los elementos 58 de malla de alambre dependen del diámetro del resonador 36 ASB, el tipo de fluido y la frecuencia acústica. De nuevo este aspecto es parte de un problema de optimización, en el que se "estima" el diámetro del resonador 36 ASB. Normalmente, una buena estimación es usar 1/2 el diámetro del tubo vertical, y a continuación continuar con la estimación a través de la maximización de la pérdida de transmisión usando la Ecuación 22 como se describe a continuación. La pérdida de transmisión dada en la Ecuación 22 es una curva que alcanza un máximo para una cierta resistencia acústica, que es la resistencia óptima conseguida para un cierto diámetro del resonador 36 ASB, tipo de fluido, frecuencia y número y paso de elementos 58 de malla de alambre. Aumentar la resistencia acústica a infinito podría realmente dañar el procedimiento ya que la pérdida de transmisión irá a cero y no hay disipación de ondas en el resonador 36 ASB. En este caso, el resonador 36 ASB actúa como una "pared" que refleja la onda de vuelta al sistema. A continuación se describe una metodología particular de realización de la etapa 103 de la Figura 4.

En general, la resistencia mecánica en un sistema se proporciona mediante un amortiguador, a menudo considerado como un amortiguador viscoso o lineal, en el que la fuerza en el amortiguador es directamente proporcional a la velocidad. Puede establecerse una analogía con sistemas acústicos, en los que la impedancia acústica, es decir, R_A , se define en rayls, es decir, $N \cdot s/m^3$. La resistencia acústica es un parámetro dependiente de la frecuencia definido como la relación entre la presión acústica y la velocidad de partículas que se produce en el medio. A base de esta analogía, es posible desarrollar un modelo que tiene en cuenta la resistencia acústica debido a la viscosidad del fluido y a un material de amortiguación introducido dentro del resonador 36 ASB. La derivación 30 lateral cerrada puede describirse con un modelo de parámetros concentrados como se muestra en la Figura 5. En la Figura 5, el subíndice 1 indica condiciones corriente arriba, el subíndice 2 indica condiciones corriente abajo y el subíndice b indica condiciones para el resonador 36 ASB.

A base del sistema descrito en la Figura 5, la presión acústica instantánea $p_1(t)$ en el tubo 32 vertical corriente arriba del resonador 36 ASB puede escribirse como se indica en la Ecuación (3) a continuación.

$$p_1(t) = A_1 e^{i(\omega t - kx)} + B_1 e^{i(\omega t + kx)} \quad (3)$$

En la Ecuación (3), la primera expresión representa la onda de sonido incidente en la unión (el punto de conexión del resonador 36 ASB al tubo 32 vertical) y la segunda expresión representa la onda de sonido reflejada de vuelta hacia la fuente, es decir, la superficie superior del tubo 32 vertical en la que se consigue la máxima presión.

De una manera similar, la presión acústica instantánea corriente abajo de la unión se expresa en la Ecuación (4) a continuación, suponiendo que la energía reflejada de vuelta más allá de la unión es insignificante.

$$p_2(t) = A_2 e^{i(\omega t - kx)} \quad (4)$$

La presión acústica en el punto $x = 0$, como se indica en la Figura 5, debe ser la misma para los tres elementos, es decir, continuidad de presión, como se indica a continuación:

$$p_1(x = 0) = p_2(x = 0) = p_b \quad (5)$$

Mediante la introducción de las Ecuaciones (3) y (4) en la Ecuación (5), se obtiene la siguiente identidad evaluada en el punto de unión (véase la Figura 5), es decir, $x=0$:

$$A_1 + B_1 = A_2 = p_b \quad (6)$$

La presión acústica en la derivación (el resonador 36 ASB) puede escribirse en términos de la impedancia acústica del resonador 36 ASB como se indica a continuación:

$$p_b(t) = U_b(t) Z_{Ab} = U_b(t) \cdot (R_A + iX_A) \quad (7)$$

La tasa de flujo volumétrico corriente arriba de la unión puede escribirse en términos de la velocidad acústica $u_1(t)$ y el área en sección transversal, S , del tubo principal (el tubo 32 vertical):

$$U_1(t) = Su_1(t) = \left(\frac{S}{\rho_0 c} \right) [A_1 e^{i(\omega t - kx)} - B_1 e^{i(\omega t + kx)}] \quad (8)$$

Por lo tanto, la tasa de flujo volumétrico corriente abajo de la unión puede escribirse de una manera similar:

$$U_2(t) = Su_2(t) = \left(\frac{S}{\rho_0 c} \right) A_2 e^{i(\omega t - kx)} \quad (9)$$

En la unión ($x = 0$ en la Figura 5), puede aplicarse el principio de Kirchoff de forma similar que a un circuito eléctrico; por lo tanto, la suma de las corrientes entrantes/velocidades acústicas debe igualar la suma de corrientes salientes/velocidades acústicas en el nodo como se indica a continuación:

$$U_1(x=0) = U_2(x=0) + U_b(x=0) \quad (10)$$

- 10 Mediante la introducción de las Ecuaciones (7), (8) y (9) en la Ecuación (10), se obtiene la siguiente identidad evaluada en el punto de unión (véase la Figura 5 4-2), es decir, $x=0$:

$$\frac{S}{\rho_0 c} (A_1 - B_1) = \frac{S}{\rho_0 c} A_2 + \frac{p_b(t)}{(R_A + iX_A)} \quad (11)$$

Usando la identidad de la Ecuación (6) en la Ecuación (11), se obtiene:

$$\frac{S}{\rho_0 c} (A_1 - B_1) = \frac{S}{\rho_0 c} A_2 + \frac{A_2}{(R_A + iX_A)} \quad (12)$$

- 15 A partir de la Ecuación (6), es decir, $B_1 = A_2 - A_1$, se puede eliminar B_1 en la Ecuación (12) como se indica a continuación

$$\frac{S}{\rho_0 c} (A_1 - A_2 + A_1) = \frac{S}{\rho_0 c} A_2 + \frac{A_2}{(R_A + iX_A)} \quad (13)$$

Con algo de álgebra, se llega a la Ecuación (14) a continuación, que consiste en la función de transferencia entre la onda de sonido incidente y la onda de sonido transmitida en la unión del resonador 36 ASB. Esta función de transferencia permite el cálculo de la efectividad del resonador 36 ASB a base de un coeficiente de pérdida de transmisión.

- 20

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\frac{\rho_0 c}{2S} + R_A + iX_A}{R_A + iX_A} \quad (14)$$

La magnitud de esta expresión se expresa como se indica a continuación:

$$\left| \frac{A_1}{A_2} \right|^2 = \frac{\left(\frac{\rho_0 c}{2S} + R_A \right)^2 + X_A^2}{R_A^2 + X_A^2} \quad (15)$$

- 25 El coeficiente de transmisión de potencia de sonido, a_t , para el resonador 36 ASB se define como la relación de la potencia de sonido transmitida a la potencia de sonido incidente en la unión y puede expresarse como se indica a continuación:

$$a_t = \frac{P_{tr}}{P_{in}} = \left| \frac{A_2}{A_1} \right|^2 = \frac{R_A^2 + X_A^2}{\left(\frac{\rho_0 c}{2S} + R_A \right)^2 + X_A^2} \quad (16)$$

La reactancia acústica para un tubo cerrado, es decir, el resonador 36 ASB, puede definirse como se indica a continuación:

- 30

$$X_A = -\frac{\rho_0 c}{\pi a^2} \cot(kL_e) \quad (17)$$

en la que k es el número de ondas. La pérdida de transmisión, TL , para el silenciador se refiere al coeficiente de transmisión de potencia de sonido como se muestra en la Ecuación (18) a continuación. Obsérvese que las unidades en la Ecuación (18) son decibelios.

$$TL = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{a_t} \right) \quad (18)$$

En muchas situaciones de diseño, tal como el resonador 36 ASB descrito en el presente documento, deben añadirse resistencia acústica adicional en forma de rejillas de malla u otros elementos para conseguir una resistencia acústica especificada. La resistencia acústica total R_A se refiere a la resistencia acústica específica R_s (resistencia para un área unitaria) como se indica a continuación:

$$R_A = \frac{\rho_0 c \sigma L + R_s}{\pi a^2} \quad (19)$$

La Ecuación (19) es particularmente útil para introducir la resistencia acústica específica a base de la presencia de capas de rejilla y la energía disipada debido a la fricción de fluido dentro del tubo, como se expresa mediante el coeficiente de atenuación σ . El coeficiente de atenuación, σ , debido a la fricción de fluido puede conseguirse a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{\left(\frac{\pi f \mu_e}{\rho_0} \right)^{0,5}}{ac} \quad (20)$$

En la Ecuación (20), la cantidad μ_e es la viscosidad efectiva para el gas, que incluye el efecto de la conducción de calor:

$$\mu_e = \mu \left[1 + \frac{(\gamma - 1)}{(\gamma Pr)^{0,5}} \right] \quad (21)$$

En la Ecuación (21), la cantidad μ es la viscosidad del gas, es decir, vapor, γ es la relación de calor específica y Pr es el número de Prandtl para el gas.

Mediante la introducción de N_s capas de rejilla (es decir, N_s elementos 58 de malla de alambre), la resistencia acústica específica total será $R_s = N_s R_{s1}$, en la que R_{s1} es la resistencia acústica específica para una capa de rejilla de malla (es decir, un elemento 58 de malla de alambre). En la Tabla 1 que se proporciona a continuación se muestran varios valores para R_{s1} .

TABLA 1

Resistencia acústica específica para diferentes tipos de elementos 58 de malla de alambre		
Tamaño de malla (alambres/pulgada)	Grosor de rejilla (pulgadas)	R_{s1} (rayl, N-s/m ³)
11,81	0,026	5,67
19,68	0,0173	5,88
25,59	0,0129	6,4
39,37	0,0091	9,1
47,24	0,0072	13,5
78,74	0,0045	24,6
127,95	0,0029	49,1

El coeficiente de pérdida de transmisión de potencia de sonido (TL) para el resonador 36 ASB puede obtenerse sustituyendo las expresiones por la reactancia acústica (Ecuación 17) y resistencia acústica (Ecuación 19) en la Ecuación 16, en la que se obtiene:

$$\frac{1}{a_t} = \frac{P_{in}}{P_{tr}} = \left| \frac{A_1}{A_2} \right|^2 = \frac{\left(\sigma L + \frac{R_s}{\rho_0 c} + \frac{\pi a^2}{2S} \right)^2 \tan(kL_e)^2 + 1}{\left(\sigma L + \frac{R_s}{\rho_0 c} \right)^2 \tan(kL_e)^2} \quad (22)$$

- 5 Por lo tanto, a base de la metodología particular recientemente descrita, el número y paso de los elementos 58 de malla de alambre pueden determinarse determinando una resistencia acústica total deseada R_A para el resonador 36 ASB en la aplicación particular. El número de los elementos 58 de malla de alambre y el paso de cada uno de los elementos 58 de malla de alambre pueden a continuación determinarse/elegirse de modo que cuando se insertan en el alojamiento 38 del resonador 36 ASB, el resonador ASB tendrá la resistencia acústica total deseada R_A . En particular, cada uno de los elementos 58 de malla de alambre tendrá una resistencia acústica específica R_{S1} , y por lo tanto el conjunto de los elementos 58 de malla de alambre tendrá una resistencia acústica específica total R_A igual a R_{S1} * el número de tales elementos (N_s). El paso de cada uno de los elementos 58 de malla de alambre se elige específicamente para proporcionar una resistencia acústica específica R_{S1} de tal forma que R_A provocará que el resonador 36 ASB tenga la resistencia acústica total deseada a base de resistencia acústica total deseada

$$R_A = \frac{\rho_0 c \sigma L + R_s}{\pi a^2}$$

- 15 Aunque la invención se ha descrito en detalle para el fin de ilustración a base de lo que se considera en la actualidad que son los ejemplos más prácticos y preferidos, se ha de entender que tal detalle es solamente para ese fin y que la invención no se limita a los ejemplos desvelados, sino que, por el contrario, se concibe para cubrir modificaciones y disposiciones equivalentes que están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, se ha de entender que la presente invención contempla que, en la medida de lo posible, una o más características de cualquier ejemplo puede combinarse con una o más características de cualquier otro ejemplo. Además, la presente invención puede tener aplicación fuera del campo de los reactores nucleares, por ejemplo en campos tal como, sin limitación, centrales de carbón.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de fabricación de un resonador (36) acústico con derivación lateral, ABS, estructurado para acoplarse a un tubo (32) vertical, incluyendo el resonador ASB una pluralidad de elementos de malla de alambre para fines de amortiguación, comprendiendo el procedimiento:

- 5 determinar una frecuencia de resonancia del tubo vertical;
determinar una longitud activa del resonador ASB usando la frecuencia de resonancia;
determinar un diámetro del resonador ASB, un número particular de los elementos (58) de malla de alambre a usar en el resonador ASB y un paso de cada uno de los elementos de malla de alambre usando ecuaciones de momento y continuidad de un fluido compresible; y
- 10 proporcionar al resonador ASB con la longitud activa, el diámetro, el número de elementos de malla de alambre y el paso de los elementos de malla de alambre como se determina en las etapas anteriores.

2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo además insertar el número particular de los elementos (58) de malla de alambre teniendo cada uno el paso determinado en un alojamiento del resonador acústico con derivación lateral.

- 15 3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la determinación de una longitud activa del resonador (36) acústico con derivación lateral comprende determinar la longitud activa del resonador acústico con derivación lateral usando la frecuencia de resonancia y una ecuación de ondas acústicas.

4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la determinación de la longitud activa del resonador (36) acústico con derivación lateral usando la frecuencia de resonancia y una ecuación de ondas acústicas
- 20 comprende determinar la longitud activa del resonador acústico con derivación lateral usando la frecuencia de resonancia y la ecuación de ondas monodimensionales con un término variable.

5. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la determinación de la longitud del resonador (36) acústico con derivación lateral usando la frecuencia de resonancia y la ecuación de ondas monodimensionales con un término variable es a base de una solución del problema de valor propio para la ecuación de ondas
- 25 monodimensionales con un término de área variable.

6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la determinación de una frecuencia de resonancia del tubo (36) vertical comprende usar el valor propio de una ecuación de ondas acústicas.

7. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la determinación del número particular y paso de los elementos de malla de alambre comprende determinar una resistencia acústica R_A total deseada para el
- 30 resonador acústico con derivación lateral y elegir el número particular de los elementos de malla de alambre y el paso de cada uno de los elementos de malla de alambre de tal forma que cuando el número particular de los elementos de malla de alambre teniendo cada uno el paso determinado se insertan en el alojamiento del resonador acústico con derivación lateral el resonador acústico con derivación lateral tendrá la resistencia acústica R_A total deseada.

8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que cada uno de los elementos de malla de alambre tendrá una resistencia acústica específica R_{S1} , en el que el número particular de los elementos de malla de alambre tendrá una resistencia acústica específica R_S total igual a R_{S1} * el número particular, y en el que el paso de cada uno de los elementos de malla de alambre se elige para proporcionar resistencia acústica específica R_{S1} de tal forma que R_S provocará que resonador acústico con derivación lateral tenga la resistencia acústica total deseada en base a
- 40 resistencia acústica total deseada

$$R_A = \frac{\rho_0 c \sigma L + R_S}{\pi a^2}$$

en la que ρ_0 es la densidad de fluido, c es la velocidad del sonido, σ es el coeficiente de atenuación debido a fricción de fluido, L es la longitud activa del resonador acústico con derivación lateral y a es el diámetro del resonador acústico con derivación lateral.

9. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cada elemento de malla de alambre comprende un elemento (58) de rejilla en forma de disco que tiene una disposición de alambres de metal entretreídos que define un número de pequeñas aberturas uniformes y espaciadas uniformemente entre los alambres.

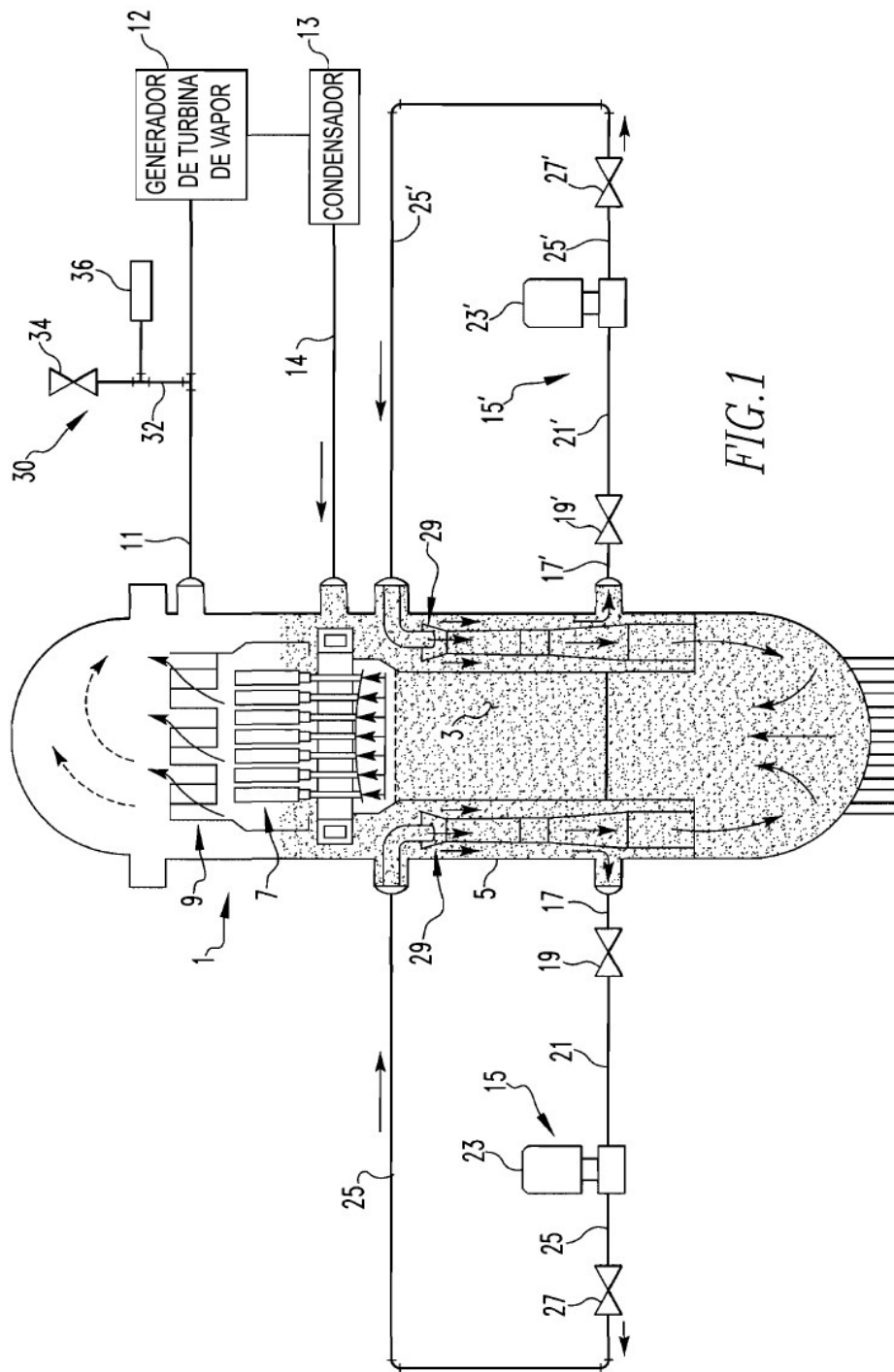
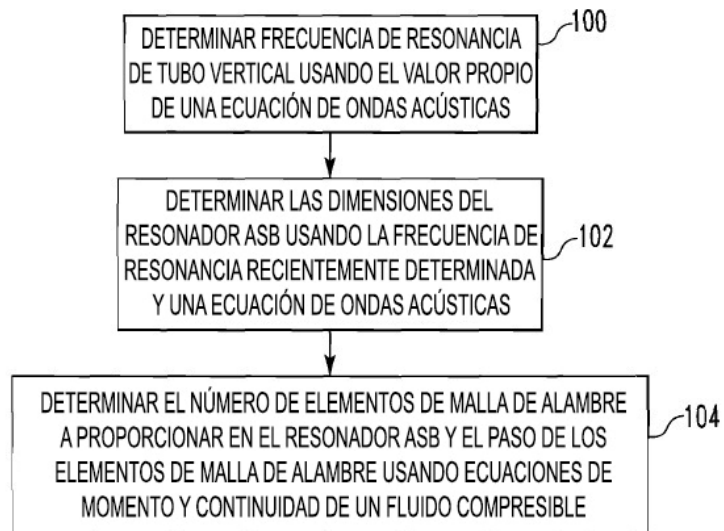
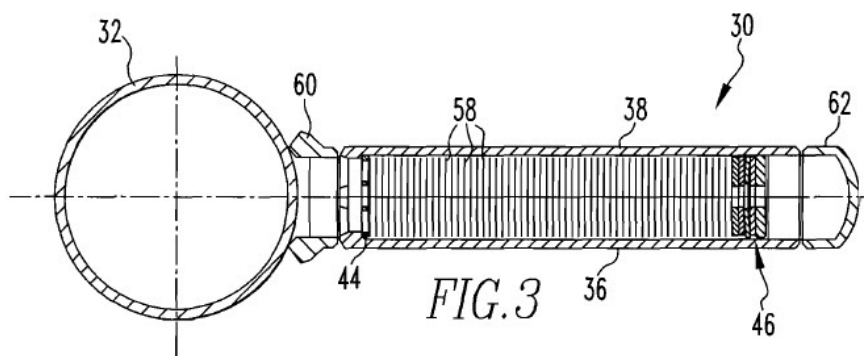
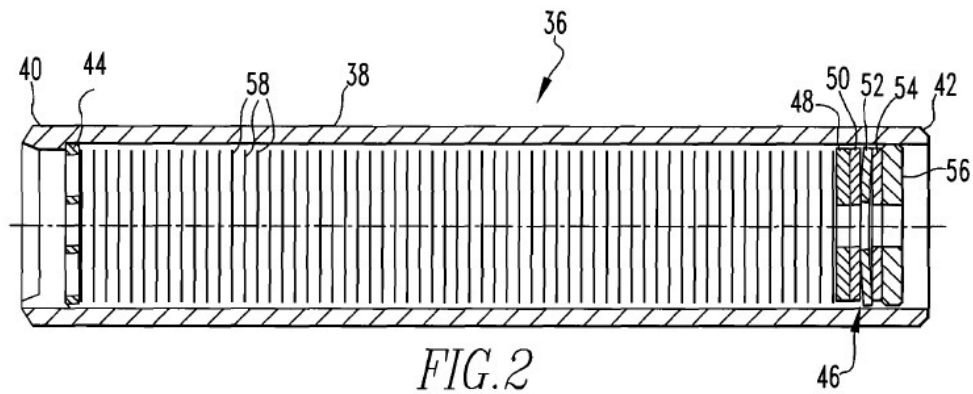


FIG.1



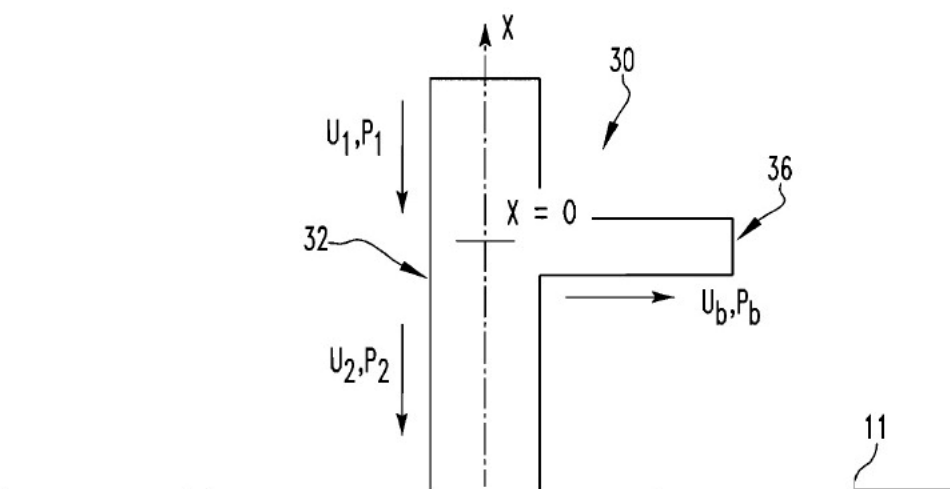


FIG.5

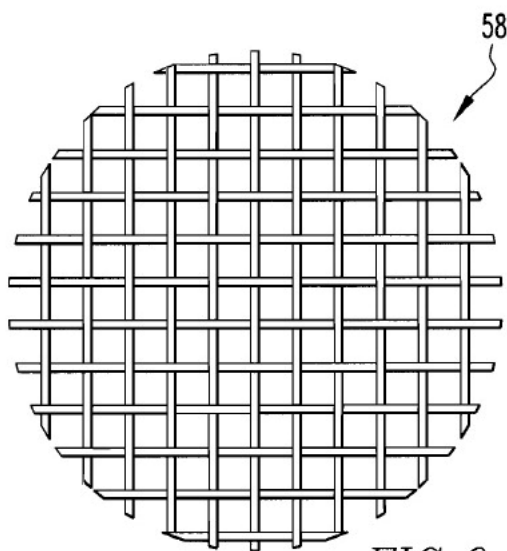


FIG.6