

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 437**

51 Int. Cl.:

<b>F22B 37/54</b>	(2006.01) <b>F28G 1/16</b>	(2006.01)
<b>B08B 3/00</b>	(2006.01)	
<b>F22B 37/00</b>	(2006.01)	
<b>F22B 37/48</b>	(2006.01)	
<b>F22B 37/52</b>	(2006.01)	
<b>F22B 37/56</b>	(2006.01)	
<b>F28G 9/00</b>	(2006.01)	
<b>C23G 1/00</b>	(2006.01)	
<b>B08B 9/00</b>	(2006.01)	
<b>C11D 11/00</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.12.2009 PCT/US2009/066652**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **10.06.2010 WO10065785**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2009 E 09831147 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019 EP 2356376**

54 Título: **Procedimiento y sistema de limpieza química con inyección de vapor**

30 Prioridad:

**03.12.2008 US 119719 P**  
**03.12.2009 US 630729**

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

**08.04.2020**

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC**  
**(100.0%)**  
**1000 Westinghouse Drive, Suite 141**  
**Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:

**VARRIN, ROBERT, D., JR. y**  
**LITTLE, MICHAEL, J.**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 753 437 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

Procedimiento y sistema de limpieza química con inyección de vapor

## 5 Antecedentes

## Campo de la invención

**[0001]** La presente invención se aplica a la limpieza química o limpieza química y mecánica combinada de intercambiadores de calor o recipientes, incluidos los generadores de vapor del reactor nuclear de agua a presión (PWR). Los materiales de ejemplo destinados a la eliminación mediante limpieza incluyen aquellos que residen en el lado secundario (de ebullición) de los intercambiadores de calor o recipientes y comprenden óxidos metálicos (por ejemplo, magnetita), especies metálicas (por ejemplo, cobre), otras impurezas (por ejemplo, especies minerales) o materiales de desecho. El procedimiento descrito en esta invención también se puede usar junto con otras estrategias de gestión de depósitos o desechos, tales como dispersantes o soluciones de agentes acondicionadores de incrustaciones, que se añaden al intercambiador de calor o recipiente para mitigar la acumulación de depósitos en estos sistemas o para modificar la estructura de estos depósitos una vez que se ha producido la acumulación. El procedimiento y el sistema descritos en esta invención también se pueden usar con soluciones de descontaminación o con otros procedimientos para limpiar intercambiadores de calor o recipientes, incluida la eliminación de desechos, tales como desechos nucleares, de un recipiente, intercambiador de calor o sistemas de fluidos donde se requiere o es útil el control de la temperatura.

## Descripción de la técnica relacionada

**[0002]** La eliminación de depósitos del lado secundario de los intercambiadores de calor, y más específicamente del lado secundario o de ebullición de los generadores de vapor del reactor nuclear de agua a presión (PWR), se ha logrado por medios químicos y mecánicos. Los medios químicos incluyen la limpieza química a alta y baja temperatura, y los medios mecánicos incluyen procedimientos tales como la limpieza por pulsos de presión, chorro de agua o lanceado, o enjuagues con agua o soluciones químicas. Los medios químicos y los medios mecánicos a menudo se combinan realizándolos simultáneamente o secuencialmente.

**[0003]** Hay una diversidad de procedimientos de limpieza química utilizados para limpiar intercambiadores de calor y recipientes en general, y generadores de vapor nuclear en particular. Muchos de estos procedimientos se describen en Frenier, W., «Technology for Chemical Cleaning of Industrial Equipment», NACE International: The Corrosion Society, 2001. Como se indica a continuación, existen dos tipos básicos de procedimientos de limpieza química para intercambiadores de calor y recipientes de plantas de energía tales como generadores de vapor PWR: procedimientos de limpieza «en línea» (calor de la planta) y «fuera de línea» (calor externo). Los procedimientos fuera de línea se refieren a procedimientos en los que el suministro, calentamiento, bombeo, mezcla, enfriamiento y drenaje de las soluciones químicas se realiza mediante la instalación y el uso de equipos externos temporales. Las configuraciones de los equipos asociados con los procedimientos fuera de línea típicamente son muy complejas y requieren mucho tiempo y mano de obra para su configuración y funcionamiento. Sin embargo, debido a que la planta se apaga completamente durante las aplicaciones de procedimientos externos, este tipo de procedimiento a menudo se considera un procedimiento preferido de limpieza por seguridad, control del procedimiento y otras razones económicas. Los procedimientos fuera de línea permiten instalar equipos de monitoreo electroquímico de corrosión dentro del recipiente, tal como un generador de vapor, para asegurar que no se produzcan efectos secundarios nocivos de la operación de limpieza. Las muestras líquidas también se pueden tomar fácilmente a través de líneas de muestra temporales para monitorear el procedimiento y asegurar que no se produzca corrosión excesiva en el interior del recipiente o del generador de vapor durante el procedimiento de limpieza debido a condiciones químicas o de procedimiento anormales.

**[0004]** Los procedimientos que usan transferencia de calor de primaria a secundaria para controlar la temperatura del procedimiento de limpieza en una planta de energía tal como un PWR se denominan procedimientos de «calor de la planta» o «en línea». La configuración del equipo y los requisitos de mano de obra se reducen significativamente durante los procedimientos en línea porque el calentamiento y enfriamiento del lado secundario (ubicaciones de los depósitos) se suministran desde el lado primario de la planta utilizando sistemas de la planta tal como el calor de desintegración del núcleo del reactor (para calentamiento) o el sistema de eliminación de calor residual de la planta (RHR) (para enfriamiento). Como tal, no se requieren equipos de calentamiento o enfriamiento externos. Debido a que los procedimientos de calor de la planta se aplican mientras la planta está «en línea», no hay acceso al recipiente tal como un generador de vapor antes de la limpieza. Esto evita la instalación de equipos de monitoreo de corrosión dentro del generador de vapor. El muestreo de líquidos también es más difícil durante los procedimientos «en línea» porque el recipiente, tal como un generador de vapor, puede necesitar ser drenado parcialmente a través de los sistemas de la planta para obtener una muestra del disolvente de limpieza. Por tanto, el monitoreo del procedimiento es mucho más difícil durante los procedimientos «en línea». Se sabe que se produce corrosión excesiva y otras condiciones químicas anormales durante las aplicaciones de limpieza «en línea» convencionales (véase «Application of AREVA Inhibitor-Free High Temperature Chemical Cleaning Process against

Blockages on SG Tube Supports», Dijoux, M. y col, presentada en «NPC '08 Berlin, Conferencia Internacional sobre Química del Agua de Sistemas de Reactores Nucleares», celebrada en Berlín, Alemania, 15-18 de septiembre de 2008).

5 **[0005]** Con respecto a la limpieza de generadores de vapor nuclear, gran parte de la investigación original que condujo a los disolventes y procedimientos utilizados hoy fue patrocinada por el Grupo de Propietarios de Generadores de Vapor (SGOG) del Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) y documentada en varios informes, incluidos EPRI-2976 titulado «Chemical Cleaning Solvent and Process Testing» (abril de 1983), y EPRI NP-3009 titulado «Steam Generator Chemical Cleaning Process Development» (abril de 1983).

10

**[0006]** Otros procedimientos de limpieza que usan disolventes químicos menos concentrados para eliminar, alterar o cambiar parcialmente las características de los depósitos se describen en la patente de EE. UU. n.º 5.841.826 de Rootham y col. («Rootham I»), la patente de EE. UU. n.º 6.740.168 de Rootham y col. («Rootham II») y la patente de EE. UU. n.º 7.344.602 de Varrin y col. («Varrin»). Estos procedimientos típicamente se aplican como procedimientos en línea, pero pueden aplicarse como procedimientos fuera de línea en función de consideraciones específicas de la planta.

15

**[0007]** En los procedimientos de limpieza química diseñados para la eliminación completa de depósitos, los procedimientos de alta temperatura generalmente se refieren a los aplicados, por ejemplo, de 140 a 220 °C (de 285 a 428 °F), véase la patente de EE. UU. n.º 5.264.041 de Kuhnke y col. («Kuhnke»). Estos procedimientos generalmente se aplican con la temperatura mantenida por transferencia de calor desde el lado primario de la planta, a menudo mientras la planta se apaga por mantenimiento o reabastecimiento de combustible. Como se indicó anteriormente, estos procedimientos se denominan procedimientos «en línea» en el contexto de la limpieza química. El lado primario de la planta, o sistema de refrigerante del reactor, es la parte de circuito cerrado de la planta PWR que comprende el combustible, el reactor, las bombas de refrigerante del reactor, el presurizador, numerosos sistemas de control y seguridad del reactor, y los tubos internos de los generadores de vapor. Por otro lado, el lado secundario es la parte de la planta que incluye el exterior de los tubos en los generadores de vapor, las líneas de vapor, las turbinas, el condensador, varias etapas de bombas y calentadores de agua de alimentación. Otros ejemplos de procedimientos de alta temperatura se encuentran, por ejemplo, en la patente alemana DE389883 que analiza el precalentamiento del agua de alimentación con vapor antes de insertarla en una caldera de vapor y la patente de EE. UU. n.º 4.581.074 de Nadezha y col. («Nadezha»), que enseña la limpieza del polvo de las superficies internas de transferencia de calor de los tubos de la caldera al impactar el polvo con líquido de limpieza a alta velocidad sobrecalentado por vapor.

20

25

30

**[0008]** Los procedimientos de baja temperatura generalmente se refieren a procedimientos aplicados, por ejemplo, de 30 °C a 140 °C (de 85 a 285 °F), con la temperatura mantenida por: (1) transferencia de calor del lado primario al secundario («en línea»), o (2) uso de equipos temporales instalados fuera del edificio de contención («fuera de línea»). El equipo temporal típicamente incluye un circuito de calentamiento externo que intercambia calor indirectamente con el circuito principal del procedimiento de limpieza química a través de un intercambiador de calor externo (véase el análisis a continuación). Típicamente, el calor es suministrado al circuito de calentamiento externo por una caldera de vapor portátil, pero también puede ser suministrado por calentadores eléctricos o por vapor de una planta de energía adyacente. Cuando se usa vapor, se condensa en un lado de un intercambiador de calor y no se mezcla con la solución de limpieza (también denominado calentamiento indirecto contrario a la inyección de vapor directa).

35

40

45 **[0009]** En los PWR nucleares, el edificio de contención alberga el reactor (circuito primario) y los generadores de vapor. El vapor producido en el «lado secundario» de los generadores de vapor sale de los generadores de vapor a través de líneas de vapor que a su vez atraviesan penetraciones en el edificio de contención para suministrar el generador de turbina. El vapor condensado o «agua de alimentación» regresa a continuación a los generadores de vapor a través de penetraciones separadas en el edificio de contención desde el condensador a través del edificio auxiliar que alberga los calentadores del agua de alimentación, bombas y otros equipos antes mencionados. Las penetraciones temporales en el límite del edificio de contención también están disponibles, pero generalmente están limitadas en tamaño y número. Estas penetraciones se utilizan a menudo para conectar equipos temporales a los generadores de vapor, pero el número y el tamaño limitados de las penetraciones dificultan la conexión o interconexión de configuraciones complejas de equipos de limpieza ubicadas fuera de la contención a los generadores de vapor.

50

55

**[0010]** En los PWR, hay dos tipos básicos de generadores de vapor (SG). Un tipo se conoce como generador de vapor de recirculación (RSG). En un RSG, los tubos que constituyen el límite lateral primario a secundario están orientados verticalmente y tienen forma de U, de modo que el refrigerante primario entra y sale del SG cerca del fondo. El «haz» de tubos puede consistir en miles de tubos. El otro tipo de generador de vapor se conoce como generador de vapor de un solo paso (OTSG). En un OTSG, los tubos son rectos y están orientados verticalmente, de modo que el refrigerante primario ingresa en la parte superior del SG y sale por la parte inferior. Tanto en los RSG como en los OTSG, se produce vapor fuera de los tubos. Ambos tipos de generadores de vapor pueden requerir limpieza química periódica o acondicionamiento para reducir las preocupaciones con la eficiencia térmica y la corrosión de los materiales

60

65

del tubo.

**[0011]** En general, se requiere una gran cantidad de equipos para los procedimientos de limpieza química de generadores de vapor nuclear fuera de línea que utilizan equipos temporales para preparar, calentar, enfriar y recircular disolventes de limpieza química. Los requisitos para el equipo de limpieza temporal están bien descritos en Partridge, MJ y JA Gorman, «Guidelines for Design of PWR Steam Generator Chemical Cleaning Systems», Instituto de Investigación de Energía Eléctrica, Palo Alto, CA, enero de 1983. Esta bibliografía describe los procedimientos empleados para la limpieza química fuera de línea del «calor externo» de los generadores de vapor PWR utilizando circuitos de flujo especialmente diseñados o mediante un procedimiento conocido como «llenado, remojo y drenaje» (también descrito en la patente de EE. UU. n.º 5.257.296 de Buford y col. («Buford»)) en el que los disolventes químicos se mezclan, precalientan y bombean al generador de vapor, se dejan en remojo hasta que la temperatura desciende a un nivel inaceptable, seguido de drenaje y recalentamiento del disolvente externo a los generadores de vapor, y a continuación finalmente reinyección del disolvente recalentado nuevamente dentro del generador de vapor. Este procedimiento puede repetirse varias veces hasta que los generadores de vapor se consideren limpios, a expensas de aumentar el tiempo de limpieza general.

**[0012]** Partridge y Gorman describen el uso de vapor para el calentamiento indirecto de disolventes (en un procedimiento de «calor externo») haciendo pasar vapor a través de un intercambiador de calor que forma parte del sistema de equipo de limpieza química temporal ubicado fuera del edificio de contención. En esta configuración, el vapor está disponible desde una caldera portátil, pero también puede suministrarse desde una planta de energía adyacente.

**[0013]** La patente de EE. UU. n.º 7.302.917 de Remark y col. («Remark») describe un procedimiento de limpieza química del generador de vapor térmico de planta en línea que implica introducir un disolvente de limpieza química en el lado secundario de un generador de vapor y calentar dicho disolvente a través de la transferencia de calor desde el lado primario de la planta (calor de desintegración del centro nuclear y calor de bomba de recirculación del lado primario) al lado secundario en «Modo 5». El Modo 5 es una definición reguladora y de la industria que describe uno de los seis modos de operación que van desde las operaciones de energía (Modo 1) hasta el apagado y las condiciones «de vaciado de combustible» (Modo 6). El Modo 5 es una condición de las operaciones de la planta durante la cual la planta no produce energía eléctrica (el reactor es subcrítico), pero el combustible permanece en el núcleo, con la temperatura primaria inicialmente de 99 a 93 °C (de 210 a 200 °F) enfriando hasta a menos de 38 °C (100 °F).

**[0014]** Se dice que el procedimiento de limpieza descrito por Remark dura un período descrito de 24 a 36 horas. Típicamente, la planta PWR no dejaría de enfriar la planta durante un apagado para mantener la temperatura a la temperatura de limpieza requerida de 99 a 93 °C (de 200 a 210 °F). Como tal, las 24 a 36 horas representan lo que se conoce como tiempo de «ruta crítica», o tiempo durante el cual no se produce electricidad. El valor de la energía eléctrica producida durante 24 a 36 horas puede ser más de 1 000 000 de dólares americanos. Tampoco está claro que las 24 a 36 horas incluyan tiempo para inyectar los productos químicos de limpieza y drenar parcialmente los generadores de vapor para el muestreo. Varias obras de la bibliografía citada en esta invención sugerirían que 24 a 36 horas de tiempo de limpieza pueden ser inadecuadas a las temperaturas citadas en Remark, por lo que el efecto real de la ruta crítica puede ser mayor.

**[0015]** La memoria descriptiva de Remark describe además el uso de rociado de nitrógeno de 7,1 a 42,5 m<sup>3</sup>/min (de 250 a 1500 pies cúbicos/minuto (cfm)) para promover la mezcla. Los beneficios del rociado de gas para mezclar el fluido en el lado secundario de un generador de vapor se estudiaron en la década de 1980 (véase, por ejemplo, EPRI-NP 2993 titulado «Evaluation of Steam Generator Fluid Mixing during Layup»). En este trabajo, el modelado y las pruebas demostraron que la renovación completa del líquido en el lado secundario de un RSG podría lograrse a flujos de 0,28 a 0,85 m<sup>3</sup>/min (de 10 a 30 cfm) en tan solo siete minutos. Se descubrió que el tiempo de mezcla fue predicho por la ecuación 1 como se proporciona a continuación:

$$T_{mezcla} = 0,6 Q^{-0,5} \quad (1)$$

Donde  $T_{mezcla}$  fue el tiempo de mezcla en horas y Q fue el caudal de gas en cfm. Un flujo de 0,85 m<sup>3</sup>/min (30 cfm) corresponde a un tiempo de mezcla de 6 minutos, típicamente más que adecuado para la mayoría de las operaciones de limpieza química.

**[0016]** Las tasas descritas en Remark (de 7,1 a 42,5 m<sup>3</sup>/min) (de 250 a 1500 cfm) indudablemente promoverán la mezcla, pero tienen la desventaja potencial de presurizar rápidamente el generador de vapor si no se proporciona una ruta de ventilación continua. El espacio libre sobre la solución de limpieza química durante la limpieza es del orden de 3000 a 4000 pies cúbicos en la mayoría de los RSG. Por lo tanto, puede ser necesaria la despresurización cada pocos minutos a un caudal de gas de 42,5 m<sup>3</sup>/min (1500 cfm). La despresurización solo se requeriría cada pocas horas

a 0,85 m<sup>3</sup>/min (30 cfm). Finalmente, las altas tasas de rociado también aumentan las emisiones ambientales de especies volátiles tales como el amoníaco (y otras aminas) y la hidrazina, a menudo presentes en soluciones de limpieza química.

- 5 **[0017]** La capacidad de promover la mezcla a bajos flujos de gas también está respaldada por otra bibliografía tal como Shah y col., «Flow Regimes in Bubble Columns», AIChE Journal, 28 (182), pp. 353-379, y específicamente para rociadores tales como los utilizados en limpiezas químicas o durante el rociado a través de la tubería de purga, como se analiza en Tilton, y col., «Designing Gas- Sparged Vessels for Mass Transfer», Chemical Engineering (noviembre de 1982).
- 10 **[0018]** La mezcla de OTSG con gas durante la limpieza química también se describe en Buford (anteriormente citado) mediante el uso de educutores de gas.
- 15 **[0019]** Una ventaja reivindicada del procedimiento en línea descrito en Remark es que no requiere que se drene el generador de vapor para instalar conexiones a los generadores de vapor para la introducción, recirculación o drenaje de disolventes de limpieza. Como se describe en Remark, los procedimientos de limpieza química fuera de línea generalmente requieren calentamiento y enfriamiento en una secuencia de etapas usando la configuración de un equipo externo a una distancia significativa, hasta 460 m (1500 pies) o más, desde los SG fuera del «edificio de contención» que alberga los generadores de vapor. La distancia es obligatoria debido a la necesidad de una gran área de «colocación» o configuración para el equipo térmico del procedimiento externo, y dicho espacio (típicamente más de 9300 metros cuadrados (100 000 pies cuadrados)) generalmente no está disponible directamente adyacente al edificio de contención.
- 20 **[0020]** Como se describe en Partridge y Gorman, se realizan numerosas conexiones de fluidos y gases a los SG en procedimientos de calor externo. Cada uno de estos requiere, a su vez, una manguera o tubería para conectarse al sistema externo de limpieza química. El sistema de limpieza externo incluye un complejo conjunto de calentadores, bombas, válvulas, tanques de almacenamiento, refrigeradores y controles. Dentro de la contención, también puede haber literalmente cientos de pies de tubería, numerosas bombas y cientos de válvulas. El tiempo para configurar el sistema de procedimiento externo incluso antes del apagado de la planta (después del cual se realizan las interconexiones a los generadores de vapor) puede variar de uno a tres meses. El tiempo requerido para conectar el sistema de procedimiento externo a los SG puede ser de tres a seis días adicionales o más e involucra hasta de cuatro a doce o más adaptadores temporales para ser fijados a las penetraciones de acceso convencionales en el lado secundario de los SG. Una vez que se completa la configuración, un procedimiento de limpieza de calor externo generalmente requiere de 5 a 10 días (de 144 a 240 horas) para cada grupo o conjunto de generadores de vapor que se limpian.
- 35 **[0021]** Estos adaptadores incluyen líneas de suministro y retorno para disolventes y enjuagues, drenajes, grifos de instrumentación de control de nivel, grifos de instrumentación de presión, grifos indicadores de temperatura, rociado de gas, penetraciones electrónicas de monitoreo de corrosión y grifos de línea de muestra. La necesidad de muchas de estas interconexiones es soportar el calentamiento externo. El tiempo de aplicación real para la limpieza química varía de varios días a varias semanas, dependiendo de la complejidad del procedimiento (número de etapas de disolvente, enjuagues, etc.). La desmovilización, incluida la extracción de los adaptadores temporales de los generadores de vapor, requiere varios días más. Que la configuración, la aplicación y la desmovilización estén o no en una «ruta crítica» depende de otras actividades de reabastecimiento de combustible y mantenimiento de la planta que estén en marcha. En muchos casos, particularmente en interrupciones de reabastecimiento de combustible más prolongadas, los procedimientos externos de limpieza química por calor no han afectado la ruta crítica.
- 40 **[0022]** Si se suministra calefacción desde el lado primario, como se describe en Remark y Kuhnke, el número de interconexiones puede limitarse o eliminarse. Si no se realizan interconexiones, pueden ser necesarios otros medios para obtener muestras líquidas y realizar un monitoreo de corrosión, y estos pueden ser muy difíciles de implementar o calificar (es decir, asegurar la integridad estructural y la operación segura). Los beneficios del monitoreo de corrosión *in situ* durante los procedimientos fuera de línea (monitores electrónicos de corrosión y muestras colocadas dentro de los SG) están bien establecidos como se informa en NP-2976 y en EPRI NP-5267 «Weld Region Corrosion During Chemical Cleaning of PWR Steam Generators» (julio de 1987). Esto se debe a que, esencialmente, todos los disolventes químicos de limpieza corroerán ligeramente los componentes del generador de vapor, incluida la cubierta del límite de presión y las estructuras internas si se fabrican con carbono y aceros de baja aleación. Las tolerancias de corrosión típicas para estas estructuras y componentes varían de menos de 25,4 a 254 µm (de 0,001 a 0,010 pulgadas) para cada aplicación de limpieza.
- 55 **[0023]** Cuando se instala dentro de un generador de vapor durante una aplicación de limpieza, un sistema de monitoreo de corrosión electroquímica *in situ* (CMS) permite la detección casi instantánea de condiciones químicas o de procedimiento anormales que pueden conducir a una corrosión inaceptable. La importancia del monitoreo de la corrosión en tiempo real está respaldada además por la experiencia reciente indicada en Dijoux, y col. En esta bibliografía, se informó de que la corrosión en algunos lugares de un generador de vapor durante una limpieza química en línea sin monitoreo de corrosión electroquímica en tiempo real fue de 1,27 mm (0,050 pulgadas) o cinco (5) veces
- 60
- 65

una tolerancia de corrosión típica. El evento se atribuyó a condiciones de aplicación anormales. El procedimiento no utilizó un sistema electroquímico de CMS *in situ* que se considera el procedimiento más avanzado para el monitoreo de la corrosión durante la limpieza química. Un CMS utiliza técnicas que incluyen resistencia a la polarización lineal (LPR) y amimetría de resistencia cero (ZRA).

5

**[0024]** El muestreo y el análisis de la solución de limpieza química con una frecuencia de cada 30 minutos también es fundamental para asegurar que el procedimiento se desarrolle según lo esperado. Cada limpieza química de un generador de vapor nuclear ha incluido requisitos muy estrictos sobre la química de los disolventes (véase la bibliografía EPRI citada anteriormente). Como se describe en Partridge y Gorman, estas muestras se pueden tomar del circuito de recirculación o directamente de las líneas de muestra en los adaptadores temporales del generador de vapor durante los procedimientos de limpieza externa. Debido a que no hay un circuito de recirculación externo ni penetraciones temporales en el generador de vapor durante los procedimientos en línea/calor de la planta, a menudo se requiere un drenaje parcial de los generadores de vapor para tomar muestras de disolventes de limpieza.

10

**[0025]** Basándose en lo anterior, la principal ventaja de los procedimientos en línea/calor de la planta para la limpieza de generadores de vapor nucleares, tal como el procedimiento descrito en Remark, es que este tipo de procedimiento requiere una configuración de equipo menos complicada y laboriosa. Los procedimientos en línea también pueden dar como resultado un impacto reducido en el cronograma, aunque el impacto real en el cronograma de la ruta crítica sería específico de la planta (muchas limpiezas químicas externas térmicas fuera de línea de generadores de vapor nuclear no han afectado la ruta crítica). La desventaja principal de los procedimientos en línea/calor de la planta es que el monitoreo del procedimiento y la corrosión puede no ser factible o puede ser significativamente más complicado, de modo que existe un mayor potencial de corrosión excesiva, mayor impacto ambiental u otros efectos secundarios no deseados. En comparación, los procedimientos tradicionales de limpieza externa son muy seguros, ya que permiten que las técnicas de monitoreo de procedimientos estándar de la industria se realicen fácilmente. Sin embargo, las configuraciones típicas de los equipos utilizados durante los procedimientos externos son complejas y requieren un tiempo y mano de obra considerables para su configuración y funcionamiento.

15

20

25

**[0026]** Una característica del procedimiento de limpieza que utiliza la inyección directa de vapor descrita en esta invención es que este tipo de procedimiento combina las ventajas de los procedimientos en línea/calor de la planta y fuera de línea/calor externo, ofreciendo un procedimiento de calentamiento externo que resulta en una configuración de equipo muy simplificada, al mismo tiempo que permite instalar equipos de monitoreo de procedimientos dentro de los generadores de vapor durante la limpieza. Las ventajas específicas del procedimiento de limpieza por inyección directa de vapor, en relación con los procedimientos de limpieza tradicionales, incluyen: (1) configuración de equipo muy simplificada, que incluye un procedimiento simple de calentamiento externo, (2) tiempos de configuración más cortos y requisitos de mano de obra reducidos, (3) tiempos de desmovilización más cortos, (4) acceso al generador de vapor previo a la limpieza para facilitar la instalación del equipo de monitoreo de corrosión en línea y las muestras en el interior de los generadores de vapor y (5) capacidad para realizar el muestreo de líquidos sin necesidad de drenar parcialmente el generador de vapor como se describe en Remark.

30

35

40

**[0027]** Anteriormente, la inyección directa de vapor no se había utilizado como un medio para calentar durante la limpieza de generadores de vapor nucleares y aplicaciones relacionadas debido a la preocupación de que la inyección directa de vapor podría dañar las partes internas del recipiente como resultado de grandes gradientes térmicos o cavitación inducida en las proximidades del equipo de inyección de vapor y/o vibración del equipo de inyección de vapor dentro del recipiente que se está limpiando. El procedimiento y el aparato de inyección directa de vapor descritos en esta invención han abordado estas preocupaciones y proporcionan un medio para introducir vapor directamente en generadores de vapor nucleares u otros recipientes durante aplicaciones de limpieza con bajos gradientes térmicos en las proximidades de la inyección de vapor (por ejemplo, por debajo de los gradientes térmicos aceptables definidos en los documentos de base de diseño para generadores de vapor nucleares u otro equipo intercambiador de calor), y con una mínima cavitación o vibración inducida por el flujo de vapor, evitando así daños mecánicos en las partes internas de los recipientes.

45

50

**[0028]** El procedimiento de limpieza con inyección directa de vapor es aplicable a los procedimientos de limpieza química convencionales como se describe en Frenier y la bibliografía EPRI/SGOG, así como a las opciones de limpieza tales como las descritas en Rootham I, Rootham II y Varrin. Las últimas dos patentes describen los usos de los «agentes acondicionadores de incrustaciones» avanzados. El procedimiento descrito en esta invención también se puede usar con soluciones de descontaminación o dispersantes, o cualquier otro procedimiento para limpiar intercambiadores de calor o recipientes similares, o eliminar desechos tales como desechos nucleares de recipientes similares o sistemas de fluidos donde se requiere o es útil el control de la temperatura.

55

## 60 Resumen

**[0029]** Un procedimiento según la invención incluye al menos todas las características y etapas del procedimiento de la reivindicación 1 independiente adjunta.

65

**[0030]** A continuación se detallan ejemplos de realizaciones de procedimientos para eliminar depósitos e

impurezas del lado secundario de un intercambiador de calor que típicamente incluirán las etapas de eliminar un volumen de fluido de trabajo del lado secundario del intercambiador de calor suficiente como para exponer una penetración de acceso; instalar un adaptador temporal en la penetración de acceso expuesta, configurándose el adaptador para inyección directa de vapor; inyectar vapor a través del adaptador temporal y dentro del lado secundario del intercambiador de calor, en el que el vapor inyectado calienta el intercambiador de calor y el fluido residual a un intervalo de temperatura de limpieza diana; y mantener el intercambiador de calor y el fluido residual dentro del intervalo de temperatura de limpieza diana durante un período de limpieza. El fluido residual puede incluir uno o más de los fluidos de trabajo, compuestos químicos de limpieza, soluciones químicas de limpieza, disolventes químicos de limpieza y agua.

10

**[0031]** Algunas realizaciones del procedimiento pueden incluir la inyección de un gas en el fluido residual a una tasa suficiente como para inducir el rociado de gas dentro del fluido residual, seleccionándose el gas de entre un grupo que consiste en vapor, gases no condensables y mezclas de los mismos y puede inyectarse a través de una entrada proporcionada por un sistema de purga de recipientes y/o un adaptador temporal. Se puede formar una solución de limpieza en el intercambiador de calor introduciendo un volumen de agua en el lado secundario del intercambiador de calor e introduciendo una cantidad predeterminada de uno o más reactivos químicos de limpieza en el agua. Durante el procedimiento de limpieza, se puede introducir una cantidad adicional de uno o más reactivos químicos de limpieza para mantener o mejorar la eficacia de la limpieza. Como apreciarán los expertos en la materia, la composición de la solución de limpieza puede modificarse durante el período de limpieza para proporcionar, por ejemplo, una rápida eliminación inicial de los depósitos seguida de una eliminación más controlada o suave para reducir el daño a la estructura subyacente. El volumen de agua introducido puede seleccionarse conforme al cual la adición de condensado de vapor y el(los) reactivo(s) de limpieza químico(s) no excederán un volumen del lado secundario predeterminado.

25 **[0032]**

La invención incluye controlar una tasa de inyección de vapor para producir un perfil de calentamiento predeterminado en el fluido residual, reduciendo así la probabilidad de choque térmico y daño asociado dentro del recipiente que se está limpiando. El vapor utilizado para la inyección directa puede incluir vapor saturado, vapor sobrecalentado y mezclas de los mismos proporcionados a través de uno o más adaptadores temporales secuencialmente o en combinación para lograr el rendimiento de calentamiento deseado. También se puede proporcionar un controlador para controlar la temperatura del vapor y la presión de vapor del vapor inyectado para compensar las variaciones en el intervalo de presión de la cabeza estática líquida dentro del intercambiador de calor durante el período de calentamiento y/o limpieza. De manera similar, se pueden proporcionar válvulas de purga o aireación en el intercambiador de calor para controlar la presión de la cabeza estática dentro de un intervalo deseado durante el procedimiento.

35

**[0033]** Otras realizaciones del procedimiento pueden incluir mezclar uno o más gases no condensables con el vapor para formar una corriente de gas combinada que a continuación puede inyectarse en el lado secundario del intercambiador de calor. Se anticipa que los gases no condensables pueden comprender entre 0,01 y 3 % de la corriente de gas combinada en dicha realización.

40

**[0034]** Como apreciarán los expertos en la materia, se pueden utilizar varias composiciones y compuestos para limpiar el lado secundario de un intercambiador de calor. Se anticipa que las soluciones de limpieza aceptables pueden incluir uno o más componentes seleccionados de entre quelantes, agentes complejantes y agentes reductores, determinándose en parte la selección por la naturaleza de los depósitos que se eliminan, el material subyacente y las condiciones y requisitos particulares del intercambiador de calor que se está limpiado. Los agentes complejantes pueden incluir, por ejemplo, EDTA, NTA, ácidos orgánicos y mezclas de los mismos.

45

**[0035]** Un sistema según la invención comprende al menos todas las características de la reivindicación 11 independiente adjunta.

50

**[0036]** A continuación se detallan realizaciones de ejemplo de sistemas adecuados para practicar los procedimientos descritos para eliminar depósitos e impurezas de un lado secundario de un intercambiador de calor. Estos sistemas típicamente incluirán un primer adaptador configurado para instalación temporal en una primera penetración de acceso convencional provista en el intercambiador de calor, incluyendo el primer adaptador una brida configurada para acoplarse a la penetración de acceso; medios para asegurar el adaptador a la penetración de acceso que incluye, por ejemplo, pernos, juntas y estructuras de alineación; un conducto o pasaje para introducir o eliminar fluido a través de la penetración de acceso; y una abertura provista dentro del lado secundario del intercambiador de calor. El sistema también incluirá típicamente una fuente de vapor configurada para la conexión al conducto y un controlador configurado para controlar la inyección de vapor en el lado secundario del intercambiador de calor a través del adaptador. La salida dentro del intercambiador de calor puede configurarse como un eductor, como múltiples eductores, como una boquilla, como una boquilla de vapor directo de tipo regulador, un rociador o cualquier otra configuración o combinación que proporcione una mezcla adecuada del vapor y el líquido residual.

60

**[0037]** Otras realizaciones de ejemplo pueden incluir una pluralidad de adaptadores que están dispuestos y configurados para inducir el flujo de fluido dentro del lado secundario del intercambiador de calor desde, por ejemplo,

65

un primer adaptador a un segundo adaptador.

### Breve descripción de los dibujos

5 **[0038]** Las realizaciones de ejemplo del procedimiento y el aparato asociado se abordan más completamente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

la figura 1 es un esquema simplificado que ilustra una configuración convencional para una limpieza fuera de línea/calor externo de un generador de vapor nuclear;

10

la figura 2 es un esquema simplificado que ilustra una configuración de ejemplo para practicar el procedimiento de limpieza descrito con inyección directa de vapor para limpiar un generador de vapor nuclear;

15

la figura 3A es una representación de un adaptador de inyección de vapor que consiste en un solo educor y la figura 3B es una vista en sección transversal de una parte del educor ilustrado tomada a lo largo de la línea A-A;

20

la figura 4A es una representación de un adaptador de inyección de vapor que consiste en más de un educor de vapor y la figura 4B es una vista en sección transversal de uno de la pluralidad de educadores ilustrados tomados a lo largo de la línea A-A; y

la figura 5 representa la instalación de un adaptador temporal de ejemplo con un solo educor en un generador de vapor nuclear típico.

25 **[0039]** Cabe señalar que estas figuras están destinadas a ilustrar las características generales de los procedimientos y materiales con referencia a determinadas realizaciones de ejemplo de la invención y, por lo tanto, complementan la descripción descrita detallada que se proporciona a continuación. Sin embargo, estos dibujos no están a escala y pueden no reflejar con precisión las características de cualquier realización dada, y no deben interpretarse como que definen o limitan el intervalo de valores o propiedades de las realizaciones dentro del alcance de esta invención. En particular, el tamaño relativo y el posicionamiento de elementos y estructuras particulares  
30 pueden reducirse o exagerarse para mayor claridad. La invención se define únicamente por las reivindicaciones adjuntas. El uso de números de referencia similares o idénticos en los diversos dibujos pretende indicar la presencia de un elemento o característica similar o idéntico.

### Descripción de las realizaciones de ejemplo

35

**[0040]** A continuación se describen con más detalle realizaciones de ejemplo del procedimiento y aparato para eliminar depósitos e impurezas del lado secundario de un intercambiador de calor, tal como un generador de vapor (SG) o recipientes configurados de manera similar. Una realización de ejemplo del procedimiento aplicado a un intercambiador de calor incluye típicamente las etapas de sacar el intercambiador de calor de servicio, drenar el fluido de trabajo del lado secundario del intercambiador de calor, retirar una cubierta de acceso de al menos una penetración de acceso del lado secundario, instalar un adaptador temporal en la penetración de acceso abierto, disponiéndose y configurándose el adaptador temporal para calentar el sistema de intercambiador de calor mediante inyección de un fluido de calentamiento (por ejemplo, vapor y/u otro gas) en el lado secundario del intercambiador de calor, iniciar el suministro del fluido de calentamiento antes, durante o después de llenar el intercambiador de calor, suministrar un volumen de fluido de calentamiento al intercambiador de calor suficiente para calentar un agente de limpieza a una temperatura suficiente para lograr una mayor tasa de limpieza dentro del intercambiador de calor, terminar la inyección de fluido de calentamiento después de que se complete la limpieza, drenar el agente de limpieza del intercambiador de calor, retirar los adaptadores temporales de las penetraciones de acceso, instalar la(s) cubierta(s) de acceso en las penetraciones de acceso y devolver el intercambiador de calor al servicio.

50

**[0041]** Otras realizaciones del procedimiento pueden incluir: (1) etapas adicionales que incluyen introducir una cantidad de al menos un reactivo químico de limpieza, en forma individual o premezclada, en el líquido de trabajo (por ejemplo, agua) que reside en el intercambiador de calor para formar el agente de limpieza líquido *in situ* y (2) continuar añadiendo el fluido de calentamiento de manera continua o intermitente durante el procedimiento de limpieza para compensar la energía perdida por la transferencia de calor a los alrededores.

55

**[0042]** Como apreciarán los expertos en la materia, esta introducción del reactivo químico de limpieza puede realizarse directamente en el intercambiador de calor a través de uno de los adaptadores temporales o mediante una introducción «externa» en una o más líneas existentes que incluyen, por ejemplo, líneas de drenaje, líneas de alimentación y/o líneas de purga que normalmente están conectadas al intercambiador de calor.

60

**[0043]** Independientemente de los medios de introducción utilizados, el volumen residual de líquido de trabajo dentro del intercambiador de calor debe ajustarse o mantenerse a un volumen que acomode el volumen anticipado de condensado de vapor e introduciéndose agentes de limpieza químicos para evitar el llenado excesivo del intercambiador de calor. La monitorización del volumen o nivel de líquido puede lograrse mediante el instrumento de

65

planta existente o mediante instrumentación temporal. Como alternativa, se puede incorporar alguna forma de alivio de volumen y/o presión para mantener el volumen de líquido y/o la presión en el intercambiador de calor dentro de los valores diana durante la operación de limpieza.

5 **[0044]** El procedimiento y el aparato incluyen controlar el caudal del fluido de calentamiento para lograr y mantener una tasa de calentamiento o intervalo de temperatura diana para el intercambiador de calor y/o el(los) agente(s) de limpieza. Dependiendo del sistema de control utilizado, el flujo del fluido de calentamiento puede ser sustancialmente constante, continuo pero con un caudal variable y/o intermitente. Los fluidos de calentamiento de ejemplo pueden incluir, por ejemplo, vapor sobrecalentado y/o vapor saturado. Se anticipa que el vapor saturado de  
10 menos de 0,69 a 17 bar (10 psig a 250 psig) y/o el vapor sobrecalentado de hasta aproximadamente 55,6 °C (100 °F) sería adecuado para su uso en la práctica de realizaciones de ejemplo del procedimiento descrito.

**[0045]** Como apreciarán los expertos en la materia, durante el procedimiento de limpieza, la temperatura y la presión del vapor pueden ajustarse, por ejemplo, aumentando la presión de vapor para acomodar la presión de la  
15 cabeza estática del líquido en el intercambiador de calor a medida que aumenta el nivel, o disminuyendo el caudal de vapor, la temperatura o el sobrecalentamiento después de alcanzar el intervalo de temperatura diana.

**[0046]** Un aparato de ejemplo para practicar los procedimientos descritos incluye un adaptador temporal configurado para la unión a una penetración de acceso de intercambiador de calor convencional y puede incluir  
20 además una brida que se acopla a la penetración de acceso convencional, junta(s) apropiada(s) y elementos de sujeción para formar un sello hermético del fluido entre el adaptador temporal y la penetración de acceso, una o más penetraciones proporcionadas en el adaptador temporal a través de las cuales se puede suministrar y/o retirar fluido de calentamiento y otros materiales del intercambiador de calor, y una o más boquillas para suministrar el fluido de calentamiento al intercambiador de calor. Como apreciarán los expertos en la materia, la(s) boquilla(s) puede(n)  
25 configurarse de varias maneras, incluyendo, por ejemplo, un eductor, una boquilla de vapor directo de tipo regulador, un rociador o una combinación de los mismos.

**[0047]** Como se señaló anteriormente, el procedimiento descrito proporciona una serie de configuraciones de aparatos que incluyen aquellas en las que el área total de la boquilla del fluido de calentamiento es ajustable (por  
30 ejemplo, a través de las válvulas, el recorrido del disco u otros medios) o aquellas en las que el fluido de calentamiento se inyecta en una manguera o tubería corta conectada a un adaptador en el intercambiador de calor y se le permite recircular nuevamente al generador de vapor a través de un segundo adaptador configurando circuito de recirculación simple que puede, por ejemplo, ubicarse dentro del recipiente de contención. La última configuración es particularmente adecuada si el fluido de calentamiento se suministra a través de una boquilla eductora montada en la  
35 línea de recirculación corta. Los expertos en la materia también apreciarán que se pueden inyectar varios componentes utilizados en la formulación del agente de limpieza en el circuito de recirculación (por ejemplo, uno o más agentes de limpieza utilizados en los procedimientos tradicionales de limpieza química, un agente acondicionador de incrustaciones, un dispersante y/o un agente de descontaminación).

40 **[0048]** Otras realizaciones de un aparato para practicar el procedimiento descrito pueden proporcionar inyección de gas para proporcionar una mezcla adicional y/o reducir el potencial de cavitación o vibración del equipo generador de vapor. El sistema según la presente invención, tal como se define en la reivindicación 11 adjunta, incluye dicha inyección de gas. El gas o gases utilizados puede(n) inyectarse de manera sustancialmente constante, continua pero con un caudal variable, y/o de manera intermitente. El gas puede inyectarse con el fluido de calentamiento o a  
45 través de un sistema de planta existente, tal como el sistema de purga del fondo del generador de vapor. Se puede usar nitrógeno, argón, otros gases inertes o mezclas de los mismos cuando se requieren condiciones reductoras durante la limpieza. Se pueden usar aire, oxígeno, ozono, otros gases oxidantes o mezclas de los mismos cuando se requieren condiciones oxidantes.

50 **[0049]** Se anticipa que para muchas aplicaciones sería apropiado un caudal de gas de 0,14 a 2,8 m<sup>3</sup>/min (de 5 a 100 cfm), y más preferentemente de 0,14 a 0,84 m<sup>3</sup>/min (de 5 a 30 cfm). Este intervalo de caudal diana puede corregirse por sobrepresión del sistema. Otras realizaciones pueden incluir, por ejemplo, monitoreo electroquímico de corrosión o muestreo periódico de soluciones de limpieza para reducir el riesgo de daños al recipiente durante el procedimiento de limpieza.

55 **[0050]** Es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento y un aparato para limpiar un generador de vapor nuclear a temperaturas de 30 a 140 °C (de 85 a 285 °F) mientras la planta está fuera de línea (Modo 5 o Modo 6). El procedimiento implica permitir que la planta se enfríe de manera convencional sin retenciones en el Modo 5 hasta que la temperatura del sistema de refrigeración del reactor en el lado primario sea inferior a  
60 aproximadamente 40 °C. A continuación se drena el generador de vapor. Se retiran una o más de las cubiertas de penetración de acceso típicamente instaladas (llamadas cubiertas de «orificio de mano», «orificio de ojo», cubiertas de puerto de inspección y similares).

**[0051]** Las cubiertas retiradas se reemplazan con adaptadores temporales en un procedimiento en el que  
65 dichos adaptadores pueden configurarse para permitir (1) calentar y mantener la temperatura del generador de vapor

y disolventes de limpieza químicos mediante inyección de vapor directamente en el lado secundario del generador de vapor, (2) monitoreo de la corrosión usando sondas y muestras CMS, (3) monitoreo de la temperatura o nivel de líquido si no hay disponible otros medios, tales como instrumentos típicos de plantas, y/o (4) muestreo del disolvente para evaluar sus propiedades químicas y el progreso de la limpieza. Además, se puede mezclar una pequeña cantidad de gas no condensable con el vapor inyectado para reducir la posibilidad de cavitación de vapor en la boquilla y/o vibración de la boquilla. La cavitación de vapor en la boquilla no es deseable ya que puede aumentar el desgaste por erosión de la boquilla/eductor de inyección de vapor y también puede generar niveles de ruido inaceptables durante el procedimiento. Como se señaló anteriormente, se puede usar nitrógeno, argón u otros gases inertes cuando se requieren condiciones reductoras durante la limpieza. Se puede usar aire, oxígeno u ozono cuando se requieren condiciones oxidantes. Dependiendo del tamaño de la penetración de acceso, es posible que todas las características anteriores se puedan incorporar en un solo adaptador de penetración de acceso. Esto contrasta con la necesidad de utilizar hasta diez (10) o más adaptadores para algunos procedimientos de calor externo.

**[0052]** Hasta la fecha, la inyección directa de vapor en el generador de vapor no se ha utilizado para el calentamiento requerido durante la limpieza de generadores de vapor nucleares por disolventes químicos de limpieza convencionales o agentes acondicionadores de incrustaciones desarrollados más recientemente. Sin embargo, la inyección directa de vapor es una técnica extremadamente eficiente para calentar líquidos como se describe en la patente de EE. UU. n.º 5.066.137 de King («King») y la bibliografía tal como Schroyer, J. A., «Understanding the Basics of Steam Injection Heating», Chemical Engineering Progress, mayo de 1997 y Pick, «Consider Direct Steam Injection for Heating Liquids», Chemical Engineering, junio de 1982. El calentamiento por inyección directa de vapor reduce el consumo de energía en comparación con los procedimientos de calor externo/fuera de línea típicos porque no hay retorno de condensado caliente como se produciría en un intercambiador de calor indirecto calentado por vapor en un circuito de calentamiento externo.

**[0053]** El diseño del sistema de inyección de vapor para un generador de vapor nuclear puede incluir uno de varios tipos de inyectores, incluido un rociador o eductor venturi. (Se puede usar más de un inyector en paralelo para cada SG). También se podría usar un sistema de inyección de tipo «modulador» o una conexión en T de mezcla de vapor si se ubicara una bomba dentro de la contención y el flujo forzado desde la penetración de un adaptador a través de tuberías o mangueras temporales hasta la penetración del inyector de vapor. Esta disposición de bombeo es mucho más simple que la disposición típica de bomba de recirculación utilizada para recircular los disolventes a un área de equipo de procedimiento a menudo ubicada a más de 457 m (1500 pies) del generador de vapor. Se pueden requerir mangueras de tan solo 3 a 4,6 m (10 a 15 pies). Incluso es posible que dichas bombas se instalen dentro del SG de manera que no se requieran mangueras externas. Si se desea, los monitores de corrosión *in situ* en tiempo real y el muestreo de disolventes directamente desde los generadores de vapor son posibles, ya sea a través del mismo adaptador instalado para facilitar la inyección de vapor, o mediante otra penetración disponible del generador de vapor.

**[0054]** Una vez que se instalan los adaptadores, se conecta una fuente de vapor. La fuente de vapor podría ser una caldera portátil instalada en el exterior, pero cerca de la contención, que requiere menos de 37 a 46 m<sup>2</sup> (de 400 a 500 pies<sup>2</sup>) de área de colocación en lugar de 9300 m<sup>2</sup> (100 000 pies<sup>2</sup>) o más para un sistema de procedimiento de calor externo típico. Como alternativa al uso de una caldera portátil, se podría utilizar el vapor de una planta de energía adyacente. De cualquier manera, una línea de vapor se dirige desde la fuente de vapor a través de una sola penetración de contención o a través de lo que se conoce como la escotilla del equipo, y se conecta al adaptador.

**[0055]** La línea de vapor puede ser una línea de vapor flexible o tubería dura, pero se prefiere la línea de vapor flexible utilizada en docenas de otras industrias y aplicaciones. Además, como opción, se podría conectar una fuente de gas a la línea de vapor para permitir controles de presión, pero lo más importante es proporcionar una pequeña concentración (un pequeño porcentaje) de gas mezclado con el vapor para suprimir el potencial de cavitación en la línea o en la salida de la boquilla. Este gas también se puede usar para eliminar el vapor residual de la línea de vapor cuando ya no se necesita vapor.

**[0056]** Fuera de la contención, se realizan otras conexiones a los sistemas de la planta, tal como la línea de purga del generador de vapor. Esta línea es típicamente una línea de 5,1 a 10,2 cm (de 2 pulgadas a 4 pulgadas) de diámetro que extrae líquido del fondo del generador de vapor durante las operaciones de energía normales, en parte para evitar la acumulación de impurezas solubles e insolubles en un RSG. La línea o tubería de purga dentro del SG es típicamente una tubería perforada que proporciona una buena distribución de productos químicos y/o gas para el rociado si el caudal se controla a un valor particular. Las conexiones a la línea de purga, generalmente en el edificio auxiliar o fuera de la planta, facilitan (1) la introducción de disolventes o concentrados de limpieza química premezclados, así como para la compensación o reposición química durante el procedimiento de limpieza y (2) suministro de gas para el rociado para ayudar a mezclar en el generador de vapor durante el calentamiento, la limpieza y el enfriamiento. El agua de enjuague también se puede inyectar a través del sistema de purga o los sistemas de agua de alimentación primaria o auxiliar normales de la planta. Finalmente, los disolventes químicos de limpieza pueden drenarse a los tanques de almacenamiento a través de la conexión al sistema de purga por gravedad o usando la bomba de inyección química temporal que funciona a la inversa.

**[0057]** En una realización, el generador de vapor se llena primero parcialmente con agua usando sistemas de

planta convencionales (agua de alimentación auxiliar) o mediante purga de una fuente de agua externa. El nivel de llenado inicial se selecciona de modo que se alcance el nivel de llenado final (final de la limpieza) después de la acumulación de: (1) el condensado de vapor inyectado inicialmente para elevar la temperatura del fluido dentro del generador de vapor, (2) los agentes químicos añadidos para limpiar los generadores de vapor, (3) el condensado adicional del vapor inyectado para mantener la temperatura del generador de vapor y (4) cualquier disolvente de limpieza adicional inyectado durante la aplicación de limpieza. Para un generador de vapor típico, es probable que el nivel de llenado final sea de aproximadamente 7,6 a 10,2 m (de 300 a 400 pulgadas) por encima de la parte inferior del generador de vapor o «placa de tubos». El volumen final de líquido en dicha aplicación es típicamente de 57 a 68 m<sup>3</sup> (de 15 000 a 18 000 galones). Dependiendo del diseño del recipiente a limpiar y la naturaleza del disolvente de limpieza (por ejemplo, disolventes basados en EDTA EPRI/SGOG, agentes acondicionadores de incrustaciones, agentes de descontaminación, etc.), el nivel de agua inicial puede ser del orden de 5,1 a 7,6 m (de 200 a 300 pulgadas), y el volumen total final puede ser diferente a los intervalos indicados anteriormente.

**[0058]** La fuente de vapor se energiza a continuación y el vapor, con o sin un pequeño porcentaje de gas no condensable en hasta el 2 % del caudal másico de vapor, se suministra directamente al generador de vapor. Para un RSG típico lleno aproximadamente 2/3 con agua de llenado inicial, el tiempo de calentamiento sería del orden de cuatro a siete horas con vapor saturado de 8,6 bar a 907 kg/h (125 psig a 2000 libras por hora). Esto incluye el calentamiento del fluido, así como la estructura del generador de vapor que, según el diseño, puede representar de 90,7 a 209 o más toneladas métricas (de 100 a 230 toneladas) de metal. El calentamiento a una tasa mayor que la descrita anteriormente podría exceder algunos límites de «especificación técnica» de la planta, por lo que puede no ser necesario un flujo de vapor más alto.

**[0059]** En un diseño de boquilla de eductor, la acción de bombeo del eductor da como resultado una acción de bombeo por chorro que ayuda a mantener la uniformidad de la temperatura en el lado secundario del SG. Las pruebas también han demostrado que con un diseño de eductor, la acción de bombeo inducida y la mezcla del fluido circundante con el vapor dentro o muy cerca del eductor da como resultado temperaturas del fluido a lo largo de la línea central del chorro del eductor más allá de aproximadamente 5 a 7 diámetros de salida del eductor que son típicamente menos de 5,6 °C (10 °F) más altas que las del fluido a granel. Un diámetro de salida de eductor típico es de 2 a 5 cm. La temperatura del fluido adyacente al alojamiento del eductor perpendicular al eje del chorro está esencialmente a la temperatura del fluido a granel debido al arrastre del fluido con el chorro de líquido que sale. Como resultado, el calentamiento local o las tensiones secundarias en las estructuras del generador de vapor se pueden minimizar si la boquilla/eductor se coloca en el SG de modo que ninguna estructura SG esté más cerca de 5 a 7 diámetros de boquilla desde la salida del eductor. Esto a pesar del hecho de que el vapor se suministra a una temperatura de 55 a 167 °C (de 100 a 300 °F) más alta que la del fluido a granel. A bajas tasas de inyección de vapor (menos de aproximadamente 45,4 a 90,7 kg/h (de 100 a 200 libras por hora), el uso de rociadores de vapor sin un(os) eductor(es) es aceptable desde el punto de vista de limitar gradientes térmicos, vibración o problemas de cavitación. Sin embargo, el tiempo de calentamiento requerido aumenta enormemente a estos caudales y los efectos beneficiosos de la acción de bombeo por chorro desde un eductor no se realizan completamente. Se debe tener en cuenta que puede utilizarse una pluralidad de eductores y/o una configuración de combinación de eductor/rociador para lograr una mejor dispersión de vapor y reducir la cavitación/vibración, especialmente con elevados caudales de vapor.

**[0060]** El rociado de gas se proporciona opcionalmente a través de un rociador de gas que forma parte del adaptador o mediante una tubería de purga para mantener condiciones químicas y de temperatura uniformes en el generador de vapor. Una vez que se alcanza la temperatura deseada del agua, se introducen agentes de limpieza químicos a través del sistema de purga con una bomba de inyección química. También puede ser deseable realizar una inyección de vapor en paralelo con el agua de llenado inicial o la inyección química para algunas aplicaciones. Durante el procedimiento de limpieza (generalmente de 12 a 60 horas), periódicamente se toman muestras del disolvente directamente de un puerto de muestra en el adaptador. No es necesario drenar el generador de vapor para adquirir muestras. Los resultados del análisis de la muestra se utilizan para monitorear el procedimiento según las recomendaciones de la bibliografía citada anteriormente. La corrosión también se monitorea en tiempo real con un CMS electroquímico, minimizando por tanto el riesgo de corrosión inaceptable.

**[0061]** Una vez completada la limpieza, el disolvente puede drenarse nuevamente a través del sistema de purga de la planta y se realizan enjuagues. Los enjuagues se pueden aplicar a una temperatura inferior a la temperatura del disolvente para ayudar al enfriamiento.

**[0062]** En vista de lo anterior, la invención descrita en esta memoria combina las ventajas de los procedimientos de limpieza en línea, tales como la simplicidad del equipo, el tiempo de configuración reducido, etc., con las ventajas de los procedimientos de calor externo, tales como la capacidad de realizar un monitoreo de la corrosión y obtener muestras líquidas directamente del lado secundario del generador de vapor. Estas ventajas se pueden lograr sin equipos activos (bombas, válvulas, controles, etc..) en contención, y solo una interconexión desde la contención exterior a la contención interior (la línea de vapor) por generador de vapor. Si es deseable limpiar dos o más generadores de vapor en paralelo, se pueden proporcionar líneas de vapor separadas para cada generador de vapor. A través de la realización de ejemplo descrita anteriormente, también se reconoce que el procedimiento y el aparato de inyección directa de vapor descritos en esta invención reducen o eliminan las preocupaciones relacionadas con el

daño potencial a las partes internas en los SG u otros recipientes durante las aplicaciones de limpieza como resultado de gradientes térmicos excesivos, cavitación y/o vibración de equipos de inyección de vapor.

**[0063]** Finalmente, se puede reconocer que calentar los generadores de vapor mediante inyección directa de vapor sería igualmente aplicable a los disolventes químicos de limpieza convencionales tales como los descritos por Frenier (procedimientos basados en quelantes, ácidos orgánicos, aminas y ácidos minerales) y la bibliografía EPRI/SGOG, así como los agentes acondicionadores de incrustaciones descritos en varias de las patentes mencionadas anteriormente, o cualquier otro procedimiento de limpieza donde se requiere control de temperatura. Se reconoce además que el calentamiento de los generadores de vapor mediante inyección directa de vapor se puede combinar con procedimientos de limpieza mecánica realizados antes, simultáneamente o después de la limpieza química.

**[0064]** En referencia a la figura 1, se representa un procedimiento convencional de limpieza de productos químicos de calor externo. El generador de vapor (10) está conectado al sistema de procedimiento externo ubicado fuera de la planta utilizando adaptadores temporales (17). El generador de vapor incluye un lado secundario (11), un lado primario (12) y un haz de tubos en U (13). Los adaptadores temporales (17 y 18) se instalan después de que la planta se haya apagado y se hayan drenado los SG. En general, no se realizan conexiones a los sistemas existentes de la planta, tales como la purga (19), el agua de alimentación (14) o la línea de vapor (16). También se instala un sistema CMS adyacente al generador de vapor (21)

**[0065]** El equipo en el área de procedimiento fuera de la contención (15) puede incluir bombas, calderas, torres de enfriamiento, camionetas de control, intercambiadores de calor, tanques de mezcla, bombas de mezcla, bermas para contener derrames y fugas, válvulas y cientos de otros accesorios y piezas.

**[0066]** Se pueden requerir hasta seis o más penetraciones de contención temporales (20) para que el sistema de procedimiento externo se interconecte con los generadores de vapor. Esto incluye penetraciones de aire para controlar los posicionadores de la válvula, nitrógeno para inertizar el sistema y líneas de drenaje de la placa del tubo. Los tamaños típicos de las tuberías de recirculación de disolventes en las penetraciones son de 10,2 a 15,2 cm (de 4 a 6 pulgadas) de diámetro, y se pueden requerir diámetros de hasta 20,3 cm (8 pulgadas) o más. El equipo en contención puede incluir numerosas mangueras, bombas, tuberías, válvulas, bridas, dispositivos de prevención de fugas y cuencas de retención (para contener derrames y fugas). Para operar el equipo representado en la figura 1, generalmente se requieren hasta 30 personas o más por turno.

**[0067]** En referencia a la figura 2, se representa el procedimiento de limpieza con inyección directa de vapor. El generador de vapor (10) está conectado a una línea de vapor temporal (26) a través de un adaptador de penetración SG (17), preferentemente a una «penetración de oficio manual» de 10,2 a 20,3 cm (de 4 a 8 pulgadas). La cubierta típica de la planta en esta penetración de acceso se habría retirado previamente después de enfriar el SG a aproximadamente 40 °C o menos, y el generador de vapor se habría drenado utilizando procedimientos y sistemas convencionales de la planta. El adaptador puede configurarse además para permitir la inserción de monitores de corrosión en línea (21) u otro instrumento, tal como un dispositivo de monitoreo de temperatura tal como un termopar. En la realización preferida, se usa un único adaptador, pero se pueden requerir dos o más si las penetraciones son menores de 10,2 a 20,4 cm (de 4 a 8 pulgadas) o si los componentes internos del SG restringen el acceso. Una vez que los adaptadores están en su lugar, se ha de enrutar una línea de vapor a través de la contención y se conecta una única penetración de contención (20) al adaptador.

**[0068]** En referencia a la figura 3, un adaptador temporal de eductor único (40) consiste en una brida de montaje (41) que se acopla a la penetración del recipiente existente, una penetración en la brida (42) para un tubo de suministro rígido (43) a través del cual se suministra vapor, un eductor único (44) y una conexión de suministro de fluido de calentamiento (45). El eductor consiste en una entrada de fluido de calentamiento (46), entradas de succión para arrastrar el fluido del recipiente (47) y una salida (48).

**[0069]** En referencia a la figura 4, un adaptador temporal de eductor múltiple (50) consiste en una brida de montaje (51) que se acopla a la penetración del recipiente existente, una penetración en la brida (52) para un tubo de suministro rígido (53) a través del cual se suministra vapor, eductores múltiples (54) y una conexión de suministro de fluido de calentamiento (55). Cada eductor consiste en una entrada de fluido de calentamiento (56), entradas de succión para arrastrar el fluido del recipiente (57) y una salida (58).

**[0070]** En referencia a la figura 5, se muestra una instalación típica de un único adaptador temporal eductor (40). La brida del adaptador (41) se monta en el generador de vapor (10) en una penetración existente (61) usando pernos (62) y una junta para sellar (63).

**[0071]** En otra realización de la invención, se montaría un dispositivo de inyección directa de vapor de tipo modulador como parte o adyacente al adaptador, y se usaría una bomba en contención para transportar fluido desde el generador de vapor a un recipiente en el que se produciría la inyección directa de vapor. La corriente combinada (agua o solución de limpieza del generador de vapor, combinada con vapor inyectado) se devolvería al generador de

vapor.

5 **[0072]** Además de la conexión en el SG, las conexiones a través de un sistema de planta existente fuera del edificio de contención, preferentemente en la línea de purga (19), se realizan para la introducción de agua y/o productos químicos en el SG. Las conexiones también sirven para permitir la introducción de gas a través de tuberías de purga para promover la mezcla o establecer condiciones de oxidación o reducción en el generador de vapor, según corresponda. Las alternativas para introducir el agua o los productos químicos de limpieza incluyen la introducción a través de una conexión en el sistema de agua de alimentación auxiliar de la planta, como se muestra en la figura 2.

10 **[0073]** Una vez que se completan todas las conexiones, se introduce agua en el generador de vapor. El nivel durante todo el procedimiento puede ser monitoreado por la instrumentación existente de la planta o por instrumentos de nivel temporales. En la realización preferida, esta agua es desmineralizada u otra agua de alta pureza (agua condensada), suministrada a los SG mediante sistemas y procedimientos de la planta, por ejemplo, a través del sistema de agua de alimentación auxiliar. En la realización preferida, el nivel de llenado inicial se selecciona de modo que el nivel de llenado final después de la acumulación de vapor condensado y la introducción de los agentes de limpieza químicos será el nivel diana para la limpieza. Generalmente esto suele estar justo encima de la parte superior del haz de tubos, pero debajo de los componentes críticos del generador de vapor, tales como la «soldadura circunferencial» (32), una soldadura que se sabe que es susceptible de agrietarse si se produce corrosión en forma de picadura como resultado de la limpieza del lado secundario. El sobrellenado del SG también da como resultado la posibilidad de que se derrame el producto químico y/o la espuma generada durante el procedimiento en los sistemas de la planta, tal como el sistema de agua de alimentación a través del colector del agua de alimentación. El sobrellenado también genera más desperdicio.

25 **[0074]** Volviendo nuevamente al sistema ilustrado en la figura 2, una vez lleno de agua, se inicia el flujo de vapor al dispositivo de inyección directa de vapor. La fuente de vapor es preferentemente una caldera de paquete portátil (22) pero también puede ser una planta de energía cercana. Se suministra agua de reposición a la caldera (30). El dispositivo de inyección fijado al generador de vapor puede ser un eductor o rociador (27). Para un volumen de llenado de aproximadamente 45,4 m<sup>3</sup> (12 000 galones), el tiempo requerido para precalentar el SG y el agua, por ejemplo, 90 °C (195 °F), una temperatura de aplicación convencional para el procedimiento EPRI/SGOG descrito en la bibliografía EPRI, sería de aproximadamente 6 horas en función de un flujo de 907 kg/h (2000 libras por hora) de vapor saturado de 8,6 bar (125 psig) (177 °C o 352 °F). Un experto en la materia reconocería que este tiempo de calentamiento representa una pequeña fracción del tiempo total de limpieza, y añade poco o nada de tiempo si el llenado, calentamiento y las inyecciones químicas se produjeran de forma simultánea.

35 **[0075]** Tenga en cuenta que el líquido que sale del eductor por arrastre con el vapor no está a esta presión, sino a una presión equivalente a la presión de cabeza de la columna de agua en el SG. Se ha medido que la temperatura a unos pocos diámetros de boquilla del eductor es inferior a 5,6 °C (10 °F) por encima de la del fluido a granel.

40 **[0076]** En esta invención, una pequeña cantidad de gas no condensable también se mezcla con el vapor en el suministro de vapor para reducir el ruido/vibración y el riesgo de daños por cavitación en el dispositivo eductor o en las partes internas adyacentes del recipiente. Típicamente, el volumen de gas no condensable es inferior al 1 %, pero en algunos casos puede variar hasta el 3 % o más. El flujo total de vapor es controlado por una válvula reguladora de presión (28) externa a la contención.

45 **[0077]** El presente procedimiento para calentar el SG y el agua de llenado es compatible con varios disolventes químicos de limpieza, incluidos los disolventes basados en EDTA EPRI/SGOG descritos en la bibliografía anterior. Este disolvente utiliza EDTA, hidrazina, hidróxido de amonio y un inhibidor de corrosión. A continuación se bombea una formulación concentrada de este disolvente (30-40 % como EDTA) desde un tanque de retención (24), a través de mangueras, a través de una bomba (25) que a su vez está conectada preferentemente a la conexión de purga. La concentración final del disolvente en el SG puede ser del 4 al 25 % como EDTA. La tasa de bombeo se controla para permitir que su temperatura en el SG sea mantenida por la inyección de vapor. El presente procedimiento también es compatible con agentes acondicionadores de incrustaciones y otras aminas, ácido orgánico, ácido mineral o disolventes de eliminación de incrustaciones basados en agentes quelantes/complejantes para especies de óxidos o metálicas.

55 **[0078]** La mezcla durante o después de la inyección del concentrado puede mejorarse mediante un rociado continuo con gas a través del sistema de purga (19), mezclando el concentrado con gas durante la inyección, o después de completar la inyección de disolvente. La mezcla también se puede lograr transfiriendo líquido entre intercambiadores de calor cuando se limpia más de un intercambiador de calor al mismo tiempo.

60 **[0079]** Después de completar la inyección del concentrado, la temperatura SG se mantiene mediante inyecciones periódicas de vapor o mediante inyección de vapor a una tasa reducida, presión más baja o temperatura más baja. Todos estos parámetros se controlan desde la contención exterior en la caldera.

65

**[0080]** Las muestras del disolvente se pueden obtener directamente del SG sin drenar la caldera (22) o deteniendo temporalmente el rociado y el muestreo a través de una conexión de salida en el sistema de purga (23, 23a, 23b). Si es necesario, los componentes químicos de compensación se pueden añadir mediante purga usando la bomba de inyección (25). Los ejemplos incluirían la reposición de los agentes químicos o la compensación de especies químicas críticas (por ejemplo, inhibidor de corrosión o agente reductor en el caso de procedimientos de disolución reductora). El drenaje parcial a los tanques de desechos (29) se puede utilizar para acomodar los volúmenes de reposición o compensación. Se debe tener en cuenta que la figura 2 muestra menos tanques de desechos que la figura 1. Esto se debe a que los volúmenes de desechos son más bajos en este procedimiento porque no se requiere un sistema de recirculación. El sistema de recirculación típicamente representa del 5 al 25 % del volumen total del sistema durante un procedimiento de limpieza por calor externo. Esto tiene la ventaja de reducir los costos de tratamiento de desechos, que para las limpiezas de generadores de vapor nucleares pueden superar los 8 dólares americanos por litro (30 dólares americanos por galón) o varios millones de dólares por aplicación.

**[0081]** A medida que aumenta la presión en los SG debido a la eliminación de gases por disolvente (por ejemplo, generación de nitrógeno a partir de la descomposición de algunos agentes reductores, tal como la hidrazina) o debido al rociado, las válvulas del sistema de vapor de las plantas, tales como las válvulas de alivio atmosférico (31) podrían abrirse periódicamente. Este es un procedimiento estándar para la limpieza química. Sin embargo, existe el deseo de limitar la cantidad de gas descargado a través de estas válvulas, ya que el gas puede contener especies tales como nitrógeno (un asfixiante), aminas tales como amoniaco o morfina (levemente tóxico) e hidrazina (un carcinógeno). Por lo tanto, un objetivo de esta invención es reducir el caudal de gas utilizado para mezclar o establecer condiciones reductoras u oxidantes según sea apropiado durante el procedimiento de limpieza. Los gases inertes tales como el nitrógeno o el argón se usan típicamente para promover la disolución reductora durante los procedimientos de limpieza (es decir, para eliminar entre otras especies magnetita u otros óxidos). Se puede usar aire, oxígeno u ozono para promover la disolución oxidativa (es decir, para eliminar metales tales como el cobre).

**[0082]** Las tasas de rociado de gas a través del sistema de purga se establecen para promover una buena mezcla y uniformidad de temperatura en los SG, al mismo tiempo que se minimizan las emisiones ambientales. El intervalo preferido para la presente invención es de 0,15 a 2,8 m<sup>3</sup>/min (de 5 a 100 cfm). Aunque esta tasa está muy por debajo de lo informado en algunas técnicas anteriores, las pruebas y análisis han demostrado que esta tasa es suficiente para «renovar» el lado secundario de un RSG en aproximadamente 10 minutos o menos. El rociado también puede ser continuo o intermitente. En aplicaciones intermitentes, el tiempo durante el cual el rociado está activo debe ser un mínimo de un volumen de renovación (por ejemplo, de 6 minutos a 0,85 m<sup>3</sup>/min (30 cfm)).

**[0083]** De lo anterior debería ser evidente que la inyección directa de vapor para la limpieza química del generador de vapor nuclear da como resultado una menor complejidad del equipo y requisitos de personal. Otro beneficio de la invención es que, a pesar de la simplicidad del procedimiento y el equipo requerido, aún permite la instalación de equipos de control de corrosión electroquímica y muestras dentro del generador de vapor, y el muestreo de disolvente sin requerir drenaje del generador de vapor. Los beneficios adicionales de un procedimiento de calor externo más simple tal como el que se describe en esta invención incluyen el potencial de un impacto reducido en el cronograma de la ruta crítica, que está implícito en cualquier procedimiento que retrase el enfriamiento de la planta en el Modo 5. Los volúmenes de desechos también se reducen debido a la eliminación del sistema de recirculación utilizado típicamente en procedimientos convencionales de calor externo.

**[0084]** El procedimiento y el equipo son aplicables a los procedimientos convencionales de limpieza química, agentes acondicionadores de incrustaciones, dispersantes o soluciones de descontaminación, o cualquier otro procedimiento para limpiar intercambiadores de calor o recipientes similares donde se requiera o sea útil el control de la temperatura. Otros expertos en la materia reconocerían que, si bien la realización preferida descrita en esta invención implica inyectar productos químicos a través del sistema de purga de la planta, una alternativa sería inyectar productos químicos a través de un adaptador de generador de vapor, a través del sistema de agua de alimentación auxiliar o a través de otro punto de acceso apropiado.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de eliminación de depósitos e impurezas del lado secundario (11) de un intercambiador de calor (10) que comprende las etapas de:
  - 5 eliminar un volumen de fluido de trabajo del lado secundario (11) del intercambiador de calor (10) suficiente como para exponer una penetración de acceso;
    - instalar un adaptador temporal (17) en la penetración de acceso expuesta, configurándose el adaptador para inyección directa de vapor;
  - 10 introducir un volumen de agua en el lado secundario (11) del intercambiador de calor (10); introducir una cantidad predeterminada de un reactivo de limpieza químico en el agua para formar una solución de limpieza en el lado secundario (11) del intercambiador de calor (10), el reactivo de limpieza químico seleccionado de entre un grupo que consiste en quelantes, agentes complejantes, agentes reductores y mezclas de los mismos;
  - 15 inyectar vapor a través del adaptador temporal (17) y en el lado secundario (11) del intercambiador de calor (10) para calentar el intercambiador de calor y el fluido residual a un intervalo de temperatura de limpieza diana; y  
**caracterizado por** la etapa de:
    - mantener el intercambiador de calor (10) y el fluido residual dentro del intervalo de temperatura de limpieza diana durante un período de limpieza usando el vapor inyectado (16) controlando un caudal del vapor inyectado.
- 20 2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el fluido residual incluye un componente seleccionado de entre un grupo que consiste en fluido de trabajo, compuestos químicos de limpieza, soluciones químicas de limpieza, disolventes químicos de limpieza, agua y mezclas de los mismos.
3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende además:
  - 25 inyectar un gas en el fluido residual a una tasa suficiente como para inducir el rociado de gas dentro del fluido residual, seleccionándose el gas de entre un grupo que consiste en vapor, gases no condensables y mezclas de los mismos.
4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el gas se inyecta en el fluido residual a través de una entrada seleccionada de entre un grupo que consiste en un sistema de purga del recipiente
  - 30 (19) y el adaptador temporal (40).
5. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además: introducir una cantidad adicional del reactivo de limpieza químico durante el período de limpieza.
- 35 6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 5, en el que el volumen de agua introducido se selecciona conforme al cual la adición de condensado de vapor y el reactivo de limpieza químico no excederá un volumen predeterminado del lado secundario (11).
7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que comprende además: controlar una
  - 40 tasa de inyección de vapor para producir un perfil de calentamiento predeterminado en el fluido residual.
8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el vapor se selecciona de entre un grupo que consiste en vapor saturado, vapor sobrecalentado y mezclas de los mismos.
- 45 9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, que comprende además: controlar la temperatura del vapor y la presión de vapor del vapor inyectado para compensar las variaciones en el intervalo de presión de la cabeza estática líquida dentro del intercambiador de calor durante el período de limpieza.
10. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el agente complejante se selecciona de entre un
  - 50 grupo que consiste en EDTA, NTA, ácidos orgánicos y mezclas de los mismos.
11. Un sistema de eliminación de depósitos e impurezas de un lado secundario (11) de un intercambiador de calor (10) que comprende:
  - 55 un primer adaptador (17) configurado para instalación temporal en una primera penetración de acceso convencional, comprendiendo el primer adaptador además
    - una brida configurada para acoplarse a la penetración de acceso;
    - medios para asegurar el adaptador a la penetración de acceso;
    - 60 un conducto (26) para introducir o eliminar fluido a través de la penetración de acceso; y
    - una abertura provista dentro del lado secundario (11) del intercambiador de calor (10);
  - una fuente de vapor (22) configurada para la conexión al conducto (26),
  - una fuente de gas configurada para la conexión al conducto; y
  - 65 un controlador configurado para controlar la inyección de vapor en el lado secundario (11) del intercambiador de

calor (10) a través del adaptador (17),

**caracterizado porque:**

- 5 en el que, en uso, dicho sistema está adaptado para mezclar un gas no condensable suministrado por la fuente de gas con el vapor suministrado por la fuente de vapor (22) para formar una corriente de gas combinada en el conducto para inyección en la solución de limpieza en el lado secundario del intercambiador de calor y el controlador varía una tasa del flujo de vapor hacia la solución de limpieza para elevar y mantener la solución de limpieza dentro de un intervalo de temperatura diana.
12. El sistema según la reivindicación 11, en el que una salida del conducto (26) se configura como un  
10 eductor.
13. El sistema según la reivindicación 11, en el que una salida del conducto (26) se selecciona de entre un grupo que consiste en boquillas de vapor directo del regulador, rociadores, eductores y combinaciones de los mismos.
- 15 14. El sistema según la reivindicación 11, en el que el conducto (26) comprende una boquilla de inyección de vapor configurada para, en uso, arrastrar un fluido a granel presente en el generador de vapor (10) durante la inyección en el lado secundario (11) del intercambiador de calor de la corriente de gas combinada a través de la boquilla de inyección de vapor, de manera que el arrastre de dicho fluido a granel promueve la mezcla de la corriente de gas combinada con el fluido a granel y asegura que la corriente de gas combinada expulsada desde la boquilla de  
20 vapor esté sustancialmente en equilibrio térmico con el fluido a granel.

FIG. 1 - Técnica convencional

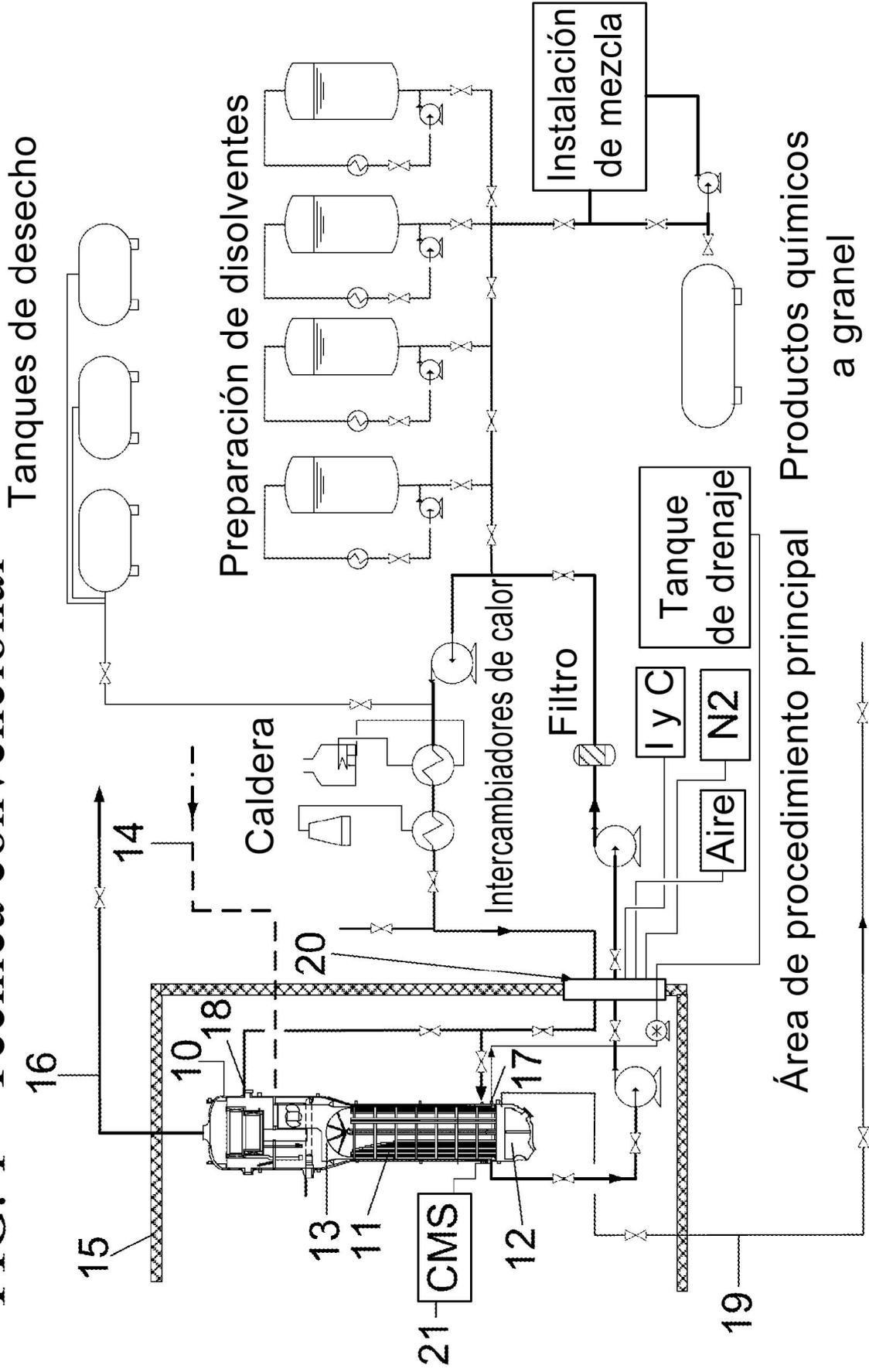


FIG. 2

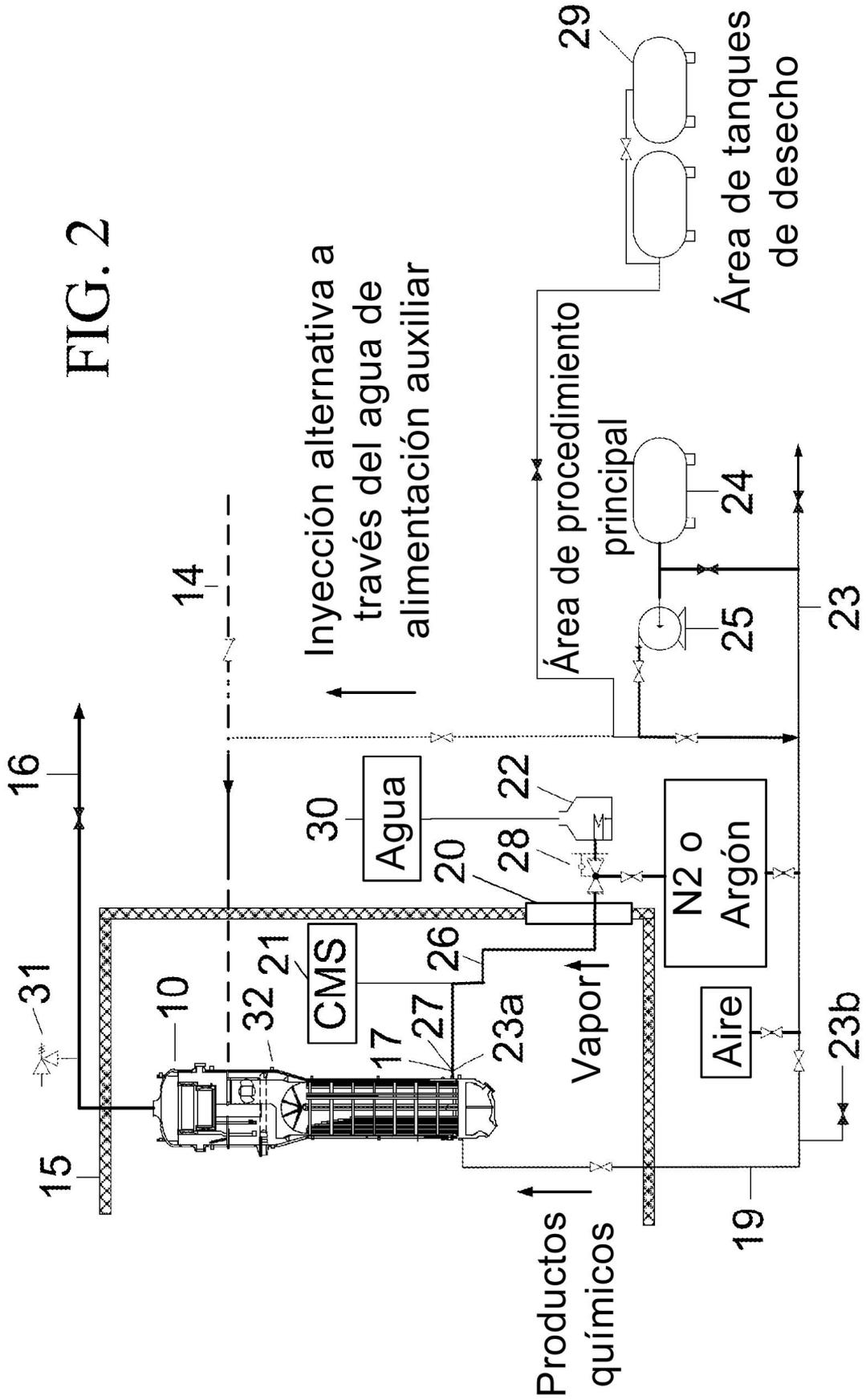
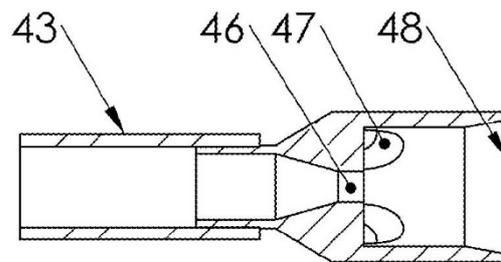
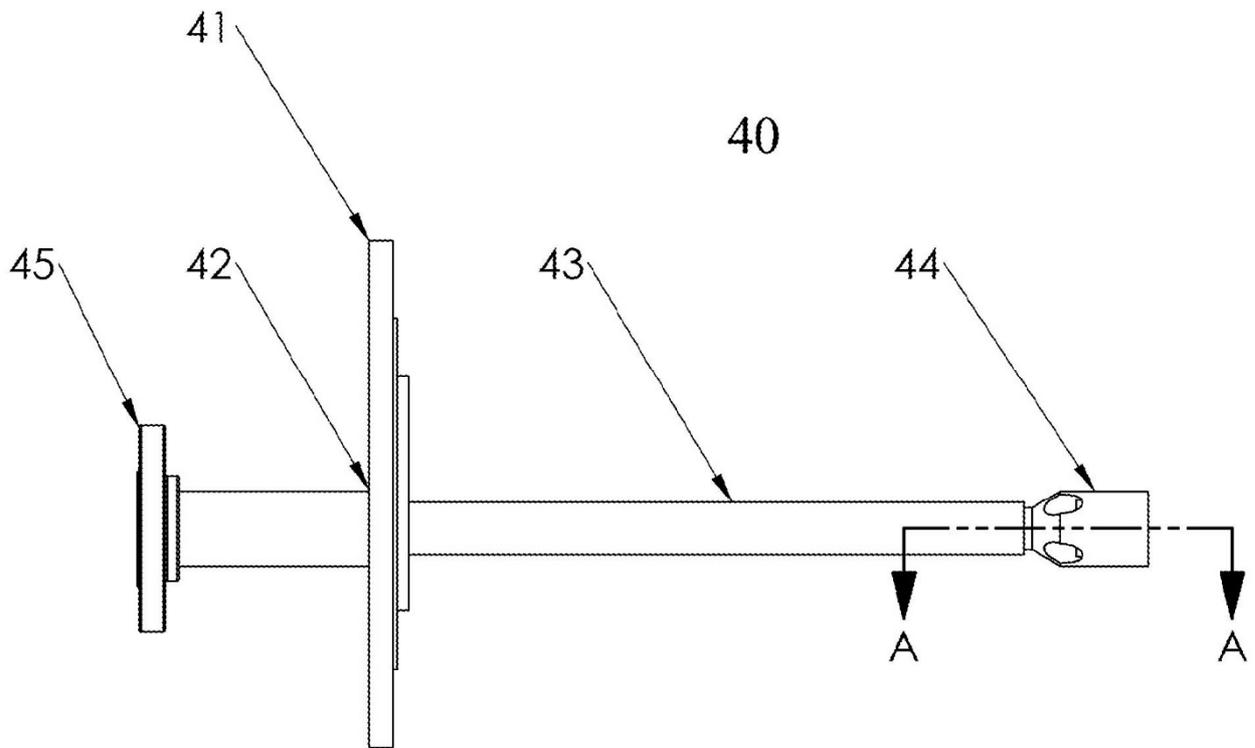


FIG. 3A



SECCIÓN AA

FIG. 3B

FIG. 4

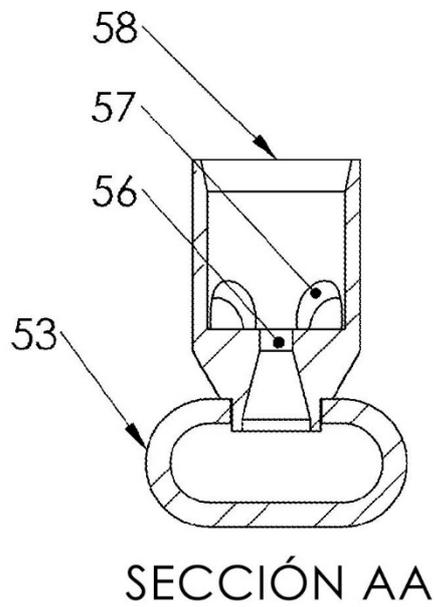
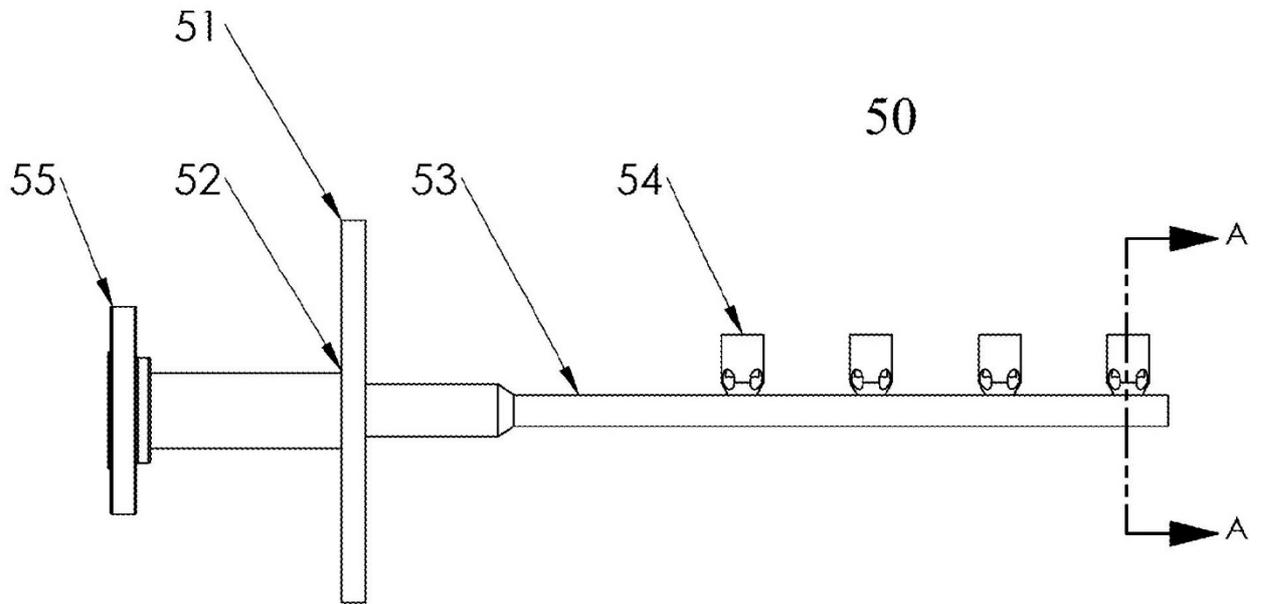
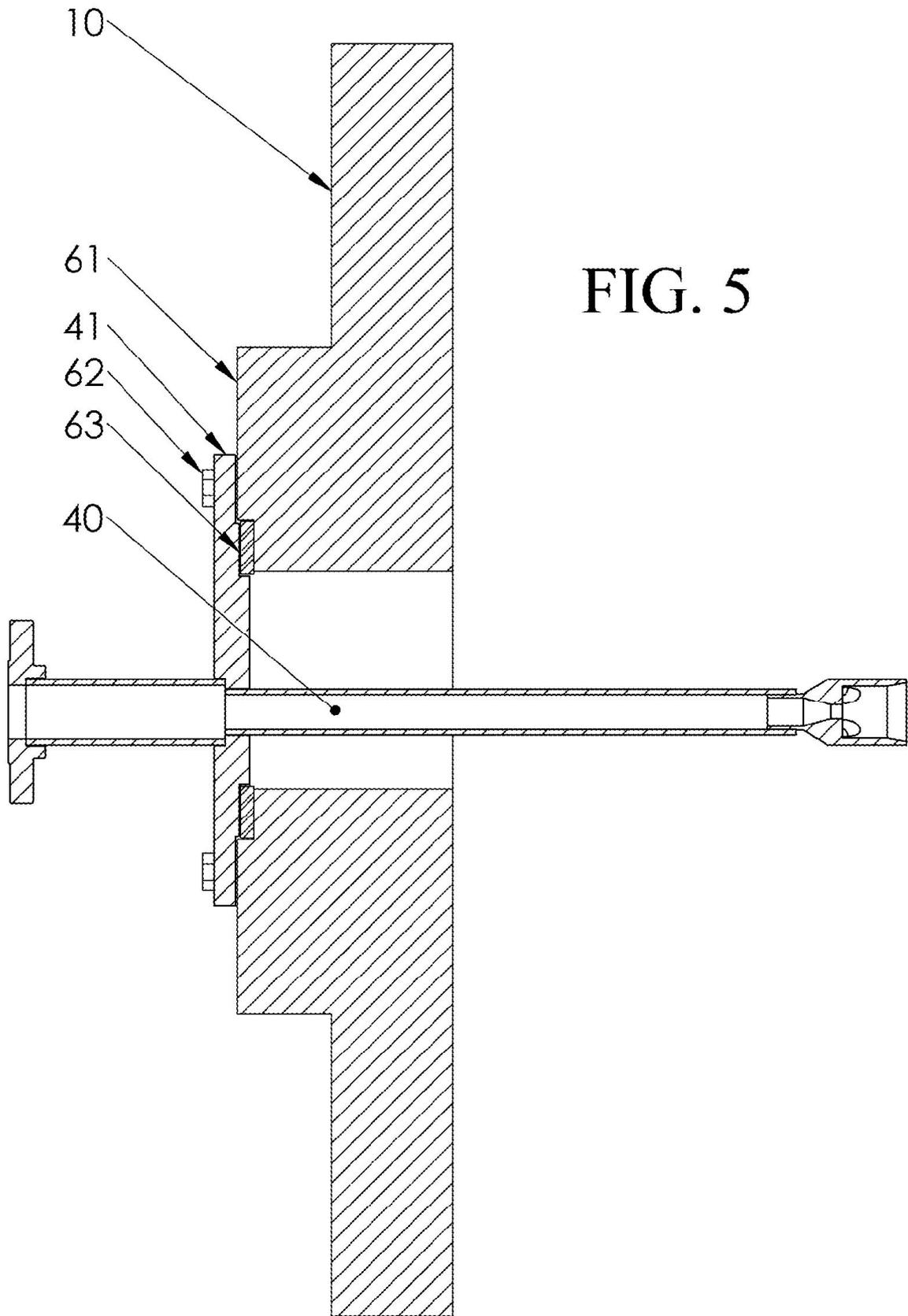


FIG. 4B



Vista en sección