

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 997 360**

51 Int. Cl.:

G21C 17/112 (2006.01)
G21C 17/10 (2006.01)
G21C 13/087 (2006.01)
G21C 13/093 (2006.01)
G21C 17/06 (2006.01)
G21F 5/008 (2006.01)
G21F 5/06 (2006.01)
H04Q 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.06.2020** **PCT/US2020/038900**
87 Fecha y número de publicación internacional: **25.03.2021** **WO21055060**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.06.2020** **E 20838672 (2)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2024** **EP 3987548**

54 Título: **Sistema de almacenamiento de contenedores en seco que tiene un aparato de detección**

30 Prioridad:

21.06.2019 US 201916448706

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.02.2025

73 Titular/es:

WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.00%)
1000 Westinghouse Drive Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US

72 Inventor/es:

CARVAJAL, JORGE V.;
SCHMIDT, JUSTIN P.;
ARNDT, JEFFREY L.;
SIRIANNI, PAUL M.;
STAFFORD, SHAWN C. y
METZGER, KATHRYN E.

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 997 360 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 almacenamiento de contenedores en seco que tiene un aparato de detección

5 REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUD RELACIONADA

Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud de Patente de EE. UU. n.º de serie 16/448.706, titulada SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES EN SECO QUE TIENE UN APARATO DE DETECCIÓN, presentada el 21 de junio de 2019.

10 ANTECEDENTES

1. Campo

15 El concepto divulgado y reivindicado se refiere en general a equipos de energía nuclear y, más particularmente, a un sistema de almacenamiento de contenedores en seco (DCSS) para almacenar combustible nuclear gastado (SNF) y que tiene un aparato de detección.

20 2. Técnica relacionada

En muchos sistemas de reactores nucleares de última generación, se emplean sensores en el núcleo para medir directamente la radiactividad dentro del núcleo en una serie de elevaciones axiales. Los sensores termopares también están situados en varios puntos alrededor del núcleo a una elevación donde el refrigerante sale del núcleo para proporcionar una medida directa de la temperatura de salida del refrigerante en varias ubicaciones radiales. Estos sensores se utilizan para medir directamente la distribución radial y axial de la potencia en el interior del núcleo del reactor. Esta información de medición de la distribución de potencia se utiliza para determinar si el reactor está funcionando dentro de los límites de distribución de potencia nuclear. El típico sensor en el núcleo utilizado para realizar esta función es un detector autoalimentado que produce una corriente eléctrica proporcional a la cantidad de fisión que se produce a su alrededor. Este tipo de sensor se dispone generalmente dentro de un cartucho de instrumentos dentro de varios conjuntos de combustibles alrededor del núcleo, y no requiere una fuente exterior de energía eléctrica para producir la corriente, se denomina comúnmente detector autoalimentado, y se describe más detalladamente en la patente de EE. UU. n.º 5.745.538, publicada el 28 de abril de 1998, y a nombre del titular de esta invención.

35 Otro tipo de sensor capaz de medir diversos parámetros del núcleo, y que suele estar dispuesto dentro de los cartuchos de instrumentos en diversos conjuntos combustibles alrededor del núcleo, se describe en la solicitud de patente de EE. UU. n.º de serie 15/417.504, presentada el 27 de enero de 2017. Este tipo de sensor emplea un dispositivo transmisor que incluye un detector de neutrones autoalimentado estructurado para detectar el flujo de neutrones, un condensador conectado eléctricamente en paralelo con el detector de neutrones, un tubo de descarga de gas que tiene un extremo de entrada y un extremo de salida, y una antena conectada eléctricamente al extremo de salida en serie con un circuito resonante. El extremo de entrada del tubo de descarga de gas está conectado eléctricamente al condensador. La antena está estructurada para emitir una señal que comprende una serie de pulsos representativos de la intensidad del flujo de neutrones controlado por el detector autoalimentado. También pueden controlarse otros parámetros del núcleo por sus efectos en la alteración de los valores de la inductancia y la capacitancia del circuito resonante.

Todavía otro sensor en el núcleo, uno que no requiere cables de señal para comunicar su salida fuera del reactor, se divulga en la patente de EE.UU. n.º 4.943.683, que describe un sistema de diagnóstico de anomalías para el núcleo de un reactor nuclear que tiene una unidad de detección de anomalías incorporada en un conjunto de combustible del núcleo del reactor nuclear, y un transmisor-receptor proporcionado fuera del recipiente del reactor. El transmisor-receptor transmite de forma inalámbrica una señal a la unidad de detección de anomalías y recibe de forma inalámbrica una señal de eco generada por la unidad de detección de anomalías. Cuando la unidad de detección de anomalías detecta una anomalía en el núcleo del reactor nuclear, como un aumento anómalo de la temperatura en el elemento combustible, el modo de la señal de eco se desvía de una señal de referencia. A continuación, el emisor-receptor detecta la desviación de la señal de eco con respecto a la señal de referencia y emite una señal de detección de anomalías a un sistema de protección de la planta. En realidad, el sensor controla la temperatura del refrigerante alrededor del conjunto de combustible en el que está montado.

60 El documento US 2019/180884 divulga un aparato de detección que se puede utilizar con una barra de combustible y un dedal de instrumento, en el que se detectan la temperatura, la elongación física y la presión ambiental dentro de la barra de combustible.

Se ha encontrado otra dificultad cuando es necesario almacenar combustible nuclear gastado (SNF), tal como, por ejemplo, después de su uso en un reactor nuclear. Se conocen sistemas de almacenamiento de contenedores en seco en los que se almacena el SNF. Estos sistemas de almacenamiento de contenedores en seco suelen incluir algún tipo de recipiente metálico dentro del cual se encuentra el SNF, y el recipiente metálico se encuentra dentro de un embalaje

exterior de hormigón. Se han colocado termopares entre el recipiente y el embalaje exterior para determinar la temperatura del recipiente, pero estos sistemas han experimentado dificultades porque la medición de la temperatura de un recipiente desde el exterior no proporciona necesariamente una descripción exacta, por ejemplo, de la temperatura en el interior del recipiente.

Aunque cada uno de los sensores anteriores monitoriza directamente las condiciones relacionadas con un núcleo de un reactor nuclear o un recipiente de un sistema de almacenamiento de contenedores en seco, dicho sensor no ha estado exento de limitaciones. Por lo tanto, sería deseable realizar mejoras.

SUMARIO

Ninguno de los sensores mencionados monitoriza directamente las condiciones dentro de una barra de combustible nuclear en el núcleo durante el funcionamiento del reactor. Antes de que los materiales avanzados de revestimiento del combustible puedan utilizarse comercialmente, deben someterse a pruebas rigurosas para recibir la aprobación reglamentaria. La metodología actual para probar materiales avanzados de revestimiento de combustible requiere que las barras de combustible se prueben durante varios ciclos de combustible y se examinen al final de la prueba de irradiación. Se trata de un proceso largo que dura varios años, durante los cuales no se dispone de datos sobre el revestimiento del combustible. En el método actual, los datos críticos solo se obtienen durante las actividades de examen posteriores a la irradiación. Lo que se desea es un sensor en la pila que pueda colocarse dentro de una barra de combustible, resista las condiciones peligrosas durante varios ciclos de combustible y no requiera penetraciones en el revestimiento de la barra de combustible.

La presente invención consigue el objetivo anterior proporcionando un aparato de detección integral pasiva en tiempo real de barras de combustible nuclear con un interrogador inductivo o magnético remoto (también conocido como inducción de pulsos). El aparato de detección incluye un circuito eléctrico resonante configurado para ser soportado en el interior de una barra de combustible nuclear y estructurado para generar un pulso de respuesta generalmente sinusoidal en respuesta a un pulso de excitación entrante y transmitir el pulso de respuesta en forma de una onda magnética que se desplaza a través de un revestimiento de la barra de combustible nuclear a otra ubicación dentro de un reactor en el que se aloja la barra de combustible nuclear, en el que una característica del pulso generado es indicativa de una condición de la barra de combustible. El aparato de detección también incluye un transmisor estructurado para colocarse fuera del revestimiento, en el reactor, en las proximidades de la barra de combustible y configurado para generar el pulso de excitación y transmitir el pulso de excitación a través del revestimiento al circuito eléctrico resonante, y un receptor estructurado para ser soportado dentro del reactor fuera del revestimiento, en las proximidades de la barra de combustible nuclear, y configurado para recibir el pulso de respuesta y, en respuesta al pulso de respuesta, comunicar una señal a un aparato de procesamiento electrónico fuera del reactor.

Preferentemente, el circuito resonante está soportado dentro de una cámara de la barra de combustible nuclear. En una de estas realizaciones, la característica del pulso de respuesta es indicativa de la temperatura de la pastilla de combustible de la línea central. En otra realización, la característica del pulso de respuesta es indicativa de la elongación de la pastilla de combustible. En otra realización, la característica del pulso de respuesta es indicativa de la presión interna de la barra de combustible. Además, la característica del pulso de respuesta puede estar configurada para ser indicativa simultáneamente de una pluralidad de condiciones de la barra de combustible.

También puede situarse un circuito eléctrico resonante adicional en una porción inferior de la barra de combustible con el fin de proporcionar mediciones en dos ubicaciones axiales diferentes. Preferiblemente, el circuito resonante comprende una pluralidad de componentes de circuito cuyas propiedades, tal como la capacitancia y la inductancia, se seleccionan para crear un pulso de respuesta con una frecuencia única, que puede interpretarse para identificar la barra de combustible nuclear concreta desde la que emana el pulso generado.

Además, el aparato de detección puede incluir un circuito de calibración que está configurado para ser soportado dentro del interior de la barra de combustible nuclear y estructurado para generar una señal de calibración estática cuando es interrogado por el pulso de excitación del transmisor, que puede ser recibido por el receptor y utilizado para corregir el pulso de respuesta recibido por el receptor para cualquier cambio de señal asociado con la degradación del componente o la deriva de temperatura.

Otra ventaja se obtiene proporcionando un sistema de almacenamiento de contenedores en seco (DCSS) que está estructurado para contener en el mismo una cantidad de combustible nuclear gastado (SNF) y que incluye un aparato de detección que tiene un circuito eléctrico resonante, estando situado el circuito eléctrico resonante dentro de una región interior de un recipiente metálico en la que está situado el SNF. El aparato de detección incluye un transmisor que genera un pulso de excitación y transmite el pulso de excitación a través de una pared metálica del recipiente y hacia la región interior. El pulso de excitación hace que el circuito resonante resuene y genere un pulso de respuesta que es en respuesta al pulso de excitación y para transmitir el pulso de respuesta a través de la pared a un receptor. Ventajosamente, el circuito resonante incluye un inductor que está formado con un núcleo cuya permeabilidad magnética varía de una manera bien entendida con la temperatura, con el resultado de que la frecuencia del circuito resonante varía en función de la temperatura en el interior del recipiente. La frecuencia del pulso de respuesta se utiliza entonces para determinar la temperatura en el interior del recipiente donde se encuentra el SNF.

Por consiguiente, un aspecto del concepto divulgado y reivindicado consiste en proporcionar un sistema de almacenamiento de contenedores en seco (DCSS) mejorado estructurado para contener en el mismo una cantidad de combustible nuclear gastado (SNF). En general, el DCSS incluye un recipiente que tiene una pared que está formada por un material metálico y que está formada para tener una primera región interior, estando estructurada la primera región interior para recibir en la misma el SNF, un embalaje exterior formado por un material cementoso y con una segunda región interior, que recibe el recipiente en la segunda región interior, un aparato de detección que puede cooperar con un aparato de procesamiento electrónico que está situado fuera del DCSS, pudiéndose indicar el aparato de detección generalmente como que incluye un transmisor, un aparato de circuito eléctrico, y un receptor, estando colocado el transmisor dentro de la segunda región interior y fuera del recipiente y que está estructurado para generar un pulso de excitación y para transmitir el pulso de excitación a través de la pared y en la primera región interior, teniendo el aparato de circuito eléctrico un circuito eléctrico resonante que está situado dentro de la primera región interior y que se estructura para generar un pulso de respuesta en respuesta al pulso de excitación y para transmitir el pulso de respuesta bajo la forma de una señal del campo magnético que se estructura para desplazarse desde la primera región interior y a través de la pared, pudiéndose indicar generalmente el circuito eléctrico resonante como que incluye una pluralidad de componentes de circuito, teniendo al menos un componente de circuito de la pluralidad de componentes de circuito una propiedad que está estructurado para variar en respuesta a una condición dentro de la primera región interior y que, en respuesta a un cambio en la condición, está estructurado para causar la propiedad y el pulso de respuesta a variar con el cambio en la condición y ser indicativo de la condición, y el receptor está situado dentro de la segunda región interior y fuera del recipiente, estando el receptor estructurado para recibir el pulso de respuesta y para comunicar al aparato de procesamiento electrónico una salida en respuesta al pulso de respuesta.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Una comprensión adicional de la invención se puede obtener a partir de la siguiente descripción cuando se lee conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un esquema funcional de un aparato de detección mejorado de acuerdo con una primera realización del concepto divulgado y reivindicado que se puede utilizar con una barra de combustible y un cartucho de instrumentos de una instalación nuclear;

La figura 2 es una representación esquemática de una instalación nuclear que tiene un reactor nuclear que incluye un conjunto de combustible que, a su vez, incluye la barra de combustible y el cartucho de instrumentos con los que se puede utilizar el aparato de detección de la figura 1;

La figura 3 es otra representación esquemática del aparato de detección de la figura 1;

La figura 4 es una representación parcialmente cortada de una barra de combustible dentro de la cual está situado un aparato de circuito eléctrico del aparato de detección de la figura 1;

La figura 5A es una representación de un trazado de una señal de respuesta de ejemplo que es emitida por el aparato de circuito eléctrico de la figura 4;

La figura 5B es un trazado alternativo de ejemplo de una señal de respuesta alternativa que es emitida por el aparato de circuito eléctrico de la figura 4;

La figura 6 es una representación de otra barra de combustible, parcialmente cortada, y que incluye un aparato de circuito eléctrico de acuerdo con una segunda realización del concepto divulgado y reivindicado;

La figura 7 es un gráfico que representa la variación de la permeabilidad en función de la temperatura de una barra ferrítica del aparato de circuito eléctrico de la figura 6;

La figura 8 es una representación esquemática de un aparato de circuito eléctrico de acuerdo con una tercera realización del concepto divulgado y reivindicado que se puede utilizar en una barra de combustible como se representa generalmente en la figura 2;

La figura 9 es una representación esquemática de una barra de combustible dentro de la cual está situado un aparato de circuito eléctrico de acuerdo con una cuarta realización del concepto divulgado y reivindicado;

La figura 10 es una representación esquemática de otra barra de combustible dentro de la cual está situado otro aparato de circuito eléctrico de acuerdo con una quinta realización del concepto divulgado y reivindicado;

La figura 11 es una representación esquemática de otra barra de combustible dentro de la cual está situado otro aparato de circuito eléctrico de acuerdo con una sexta realización del concepto divulgado y reivindicado;

La figura 12 es una representación esquemática de otro aparato de circuito eléctrico de acuerdo con una séptima realización del concepto divulgado y reivindicado que puede ser utilizado en una barra de combustible como se representa generalmente en la figura 2;

La figura 13 es una representación esquemática de otra barra de combustible dentro de la cual está situado otro aparato de circuito eléctrico de acuerdo con una octava realización del concepto divulgado y reivindicado;

La figura 14 es una vista en perspectiva en despiece, parcialmente cortada, de una primera realización de un sistema mejorado de almacenamiento de contenedores en seco (DCSS) de acuerdo con el concepto divulgado y reivindicado;

La figura 15 es una representación esquemática del DCSS de la figura 14;

La figura 16 es una vista en alzado, parcialmente cortada, del DCSS de las figuras 14 y 15;

La figura 17 es una vista en planta, parcialmente cortada, del DCSS de las figuras 14-16;

La figura 18 es una vista en planta superior, parcialmente cortada, de una segunda realización de un DCSS de acuerdo con el concepto divulgado y reivindicado;

La figura 19 es una vista en alzado frontal, parcialmente cortada, de un tercer ejemplo de un DCSS de acuerdo con el concepto divulgado y reivindicado;

La figura 20 es una vista en planta superior, parcialmente cortada, del DCSS de la figura 19;

La figura 21 es una representación de un aparato de antena del DCSS de la figura 19 en una condición en despiece lejos de un recipiente del DCSS; y

La figura 22 es una vista similar a la figura 21, excepto que representa una disposición alternativa de un aparato de antena utilizable con el DCSS de la figura 19.

Números similares se refieren a piezas similares en toda la memoria descriptiva.

DESCRIPCIÓN

En la figura 1 se representa en general un aparato de detección 4 mejorado de acuerdo con el concepto divulgado y reivindicado. El aparato de detección 4 se puede utilizar con una barra de combustible 6 y un cartucho de instrumentos 8, tales como los que se incluyen en un conjunto de combustible 10 (figura 2) de un reactor nuclear que se representa esquemáticamente en la figura 2 con el número 12, que significa una contención del reactor nuclear 12.

El aparato de detección 4 está situado dentro de la contención del reactor nuclear 12, y el aparato de detección 4 puede cooperar con un aparato de procesamiento electrónico 16 que está situado fuera de la contención del reactor nuclear 12. De este modo, el aparato de detección 4 está destinado a situarse en un entorno hostil situado en el interior de la contención del reactor nuclear 12, mientras que el aparato de procesamiento electrónico 16 está situado en un entorno suave externo a la contención del reactor nuclear 12.

Como puede entenderse a partir de la figura 1, puede considerarse que el aparato de procesamiento electrónico 16 incluye un transceptor 18 y un procesador de señales 22. El transceptor 18 está conectado por cable con un aparato de interrogación 48 que está situado en el cartucho de instrumentos 8. El procesador de señal 22 incluye un procesador y un almacenamiento 24, con el almacenamiento 24 teniendo almacenado en el mismo un número de rutinas 28, y el almacenamiento 24 teniendo además almacenado en el mismo un número de tablas de datos 30. Las rutinas 28 se pueden ejecutar en el procesador para hacer que el aparato de detección 4 realice diversas operaciones, incluyendo la recepción de señales desde el transceptor 18 y el acceso a las tablas de datos 30 para recuperar valores que se correspondan con el aspecto de las señales desde el transceptor 18 que sean representativas de las condiciones en el interior de la barra de combustible 6.

Como puede entenderse además a partir de la figura 1, puede decirse que la barra de combustible 6 incluye un revestimiento 32 y que tiene una región interior 36 situada dentro del revestimiento 32 y un número de pastillas de combustible 38 situadas dentro de la región interior 36. Tal como se emplea en este documento, la expresión "un número de" y sus variaciones se referirá en términos generales a cualquier cantidad distinta de cero, incluyendo una cantidad de uno. La barra de combustible tiene una cámara 42 en un extremo superior generalmente vertical de la barra de combustible 6.

Puede decirse que el aparato de detección 4 incluye un aparato de circuito eléctrico 44 que está soportado dentro de la cámara 42 de la barra de combustible 6 dentro de la región interior 36 de la misma. El aparato de detección 4 incluye además el aparato de interrogación 48, que puede decirse que está situado dentro de un interior del cartucho de instrumentos 8. Como se representa esquemáticamente en la figura 1, el aparato de circuito eléctrico 44 está situado dentro de la región interior 36 y se comunica con el aparato de interrogación 48 sin que se formen brechas u otras aberturas en el revestimiento 32, manteniendo así ventajosamente el revestimiento 32 intacto y manteniendo ventajosamente las pastillas de combustible 38 totalmente contenidas dentro de la región interior 36.

Como puede comprenderse adicionalmente a partir de la figura 1, y como se expondrá con mayor detalle a continuación, el aparato de circuito eléctrico 44 y el aparato de interrogación 48 se comunican de forma inalámbrica entre sí. Puede decirse que las condiciones dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6 incluyen una temperatura de las pastillas de combustible 38, un grado de elongación física de las pastillas de combustible 38 y la presión ambiental dentro del interior de la barra de combustible 6, a modo de ejemplo. Estas tres condiciones son directamente detectables por el aparato de circuito eléctrico 44 y se comunican a través del aparato de interrogación 48 al aparato de procesamiento electrónico 16. Como se expondrá con más detalle a continuación, se describen diversas realizaciones en las que la temperatura y la elongación de las pastillas de combustible 38 se detectan de diversas maneras, y en las que la presión ambiental dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6 se detecta de diversas maneras. Queda entendido que estas propiedades no pretenden ser limitativas.

Como puede entenderse a partir de la figura 3, puede decirse que el aparato de circuito eléctrico 44 incluye un circuito eléctrico resonante 50 que funciona como un sensor y que incluye una pluralidad de componentes de circuito que incluyen un condensador 54 y un inductor 56. Los componentes del circuito tienen valores o propiedades, tales como la capacitancia del condensador 54 y la inductancia del inductor 56, a modo de ejemplo, que se seleccionan para impartir al circuito eléctrico resonante 50 una frecuencia nominal única que, cuando es detectada por el aparato de interrogación 48, se puede utilizar para identificar la barra de combustible 6 particular dentro de la cual está situado el aparato del circuito eléctrico 44.

A este respecto, se entiende que una pluralidad de instancias del aparato de circuito eléctrico 44 pueden estar situadas en una pluralidad de barras de combustible 6 correspondientes del conjunto de combustible 10. Durante el funcionamiento del aparato de detección 4, el aparato de interrogación 48 interroga al aparato de circuito eléctrico 44 para recibir una señal del aparato de circuito eléctrico 44 que puede interpretarse como indicativa de una o más de las propiedades o condiciones dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6, tales como la temperatura y/o la elongación de las pastillas de combustible 38, la presión ambiental dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6, etc., y a modo de ejemplo. El conjunto de combustible 10 incluye un gran número de barras de combustible 6, y se prevé que un subconjunto de las barras de combustible 6 del conjunto de combustible 10 tenga cada una su correspondiente aparato de circuito eléctrico 44 situado en el mismo. Cuando el aparato de interrogación 48 envía su señal de interrogación, los diversos aparatos de circuitos eléctricos 44 emitirán en respuesta una señal que se transmite a través del revestimiento 32 o de la correspondiente barra de combustible 6 y es recibida por el aparato de interrogación 48. Las diversas señales de los diversos aparatos de circuito eléctrico 44 tienen, cada una, una frecuencia nominal única que se selecciona seleccionando las diversas propiedades del condensador 54 y del inductor 56, a modo de ejemplo, del aparato de circuito eléctrico 44 para proporcionar dicha frecuencia de firma. El aparato de procesamiento eléctrico 16 puede así utilizar las frecuencias de las distintas señales detectadas para determinar qué señal corresponde a qué barra de combustible 6 del conjunto de combustible 10.

Como puede entenderse además a partir de la figura 3, el aparato de circuito eléctrico 44 incluye adicionalmente un circuito eléctrico resonante 60 que se puede utilizar como un circuito de calibración. Es decir, el circuito eléctrico resonante 50 se puede utilizar como un circuito sensor que detecta la propiedad o condición dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6, y el circuito eléctrico resonante 60 se puede utilizar como un circuito de calibración para compensar la señal del circuito eléctrico resonante 50 para la degradación de componentes, la deriva de temperatura, y similares. A este respecto, el circuito eléctrico resonante 60 incluye un condensador 62 y un inductor 66 que se seleccionan para que tengan las mismas propiedades materiales que el condensador 54 y el inductor 56 del circuito eléctrico resonante 50. Sin embargo, y como se expondrá con mayor detalle más adelante, el circuito eléctrico resonante 50 está expuesto a la condición que se está midiendo dentro de la región interior 36, tal como la temperatura y/o la elongación de las pastillas de combustible 38, y/o la presión ambiental dentro de la región interior 36, a modo de ejemplo. El circuito eléctrico resonante 60, al poderse utilizar como circuito de calibración, generalmente no está tan expuesto a la condición que se está midiendo. Esta calibración se realiza empleando un análisis ratiométrico como el que se describe con más detalle en el presente documento.

Como puede entenderse además a partir de la figura 3, puede decirse que el aparato de interrogación 48 incluye un transmisor 68 y un receptor 72. El transmisor 68 está configurado para emitir un pulso de excitación 74 que es en forma de una señal de campo magnético que puede transmitirse a través del revestimiento del cartucho de instrumentos 8 en el que está situado el aparato de interrogación 48 y puede transmitirse a través del revestimiento 32 de la barra de combustible 6. De este modo, el pulso de excitación 74 se puede recibir por el inductor 56 y el inductor 66 de los circuitos eléctricos resonantes 50 y 60, respectivamente, para inducir una corriente resonante en los circuitos eléctricos resonantes 50 y 60 de forma conocida. Las corrientes inducidas en los circuitos eléctricos resonantes 50 y 60 dan lugar a la salida de un pulso de respuesta 78 desde el circuito eléctrico resonante 50 y de un pulso de respuesta 80 desde el circuito eléctrico resonante 60. Los pulsos de respuesta 78 y 80 se presentan en forma de señales de campo magnético, que no son meras señales de radiofrecuencia, y que pueden transmitirse desde el aparato de circuito eléctrico 44 a través del revestimiento 32 y a través del revestimiento del cartucho de instrumentos 8 y, de este modo, recibirse en el receptor 72.

El pulso de excitación 74 tiene una configuración generalmente sinusoidal. Los pulsos de respuesta 78 y 80 son igualmente pulsos sinusoidales, pero son señales sinusoidales decrecientes, y se observa que las figuras 5A y 5B muestran un par de trazos representativos de dos pulsos de respuesta 78 diferentes. En este sentido, la frecuencia del pulso de respuesta 78 puede correlacionarse con un parámetro dentro de la barra de combustible 6, tal como la temperatura, la amplitud pico del pulso de respuesta 78 puede corresponderse con otro parámetro dentro de la barra de combustible 6, tal como la elongación de las pastillas de combustible 38, y una tasa de decaimiento de la tasa de pulso de respuesta 78 puede correlacionarse con otro parámetro dentro de la barra de combustible 6, tal como la presión ambiental dentro de la región interior 36. Como tal, el pulso de respuesta 78 puede correlacionarse con una pluralidad de parámetros o condiciones dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6 dentro de la cual está situado el aparato de circuito eléctrico 44.

El mencionado análisis ratiométrico de los pulsos de respuesta 78 y 80 típicamente implica tomar una relación del pulso de respuesta 78 al pulso de respuesta 80 o viceversa, con el fin de eliminar los efectos de la degradación de los componentes y la deriva de temperatura. Por ejemplo, los circuitos eléctricos resonantes 50 y 60 pueden degradarse con el tiempo, afectando así a la señal de salida de los mismos. Asimismo, las señales que se emiten desde los circuitos eléctricos resonantes 50 y 60 pueden variar con la temperatura del reactor nuclear 12. Para compensar estos factores, se supone que el circuito eléctrico resonante 50 y el circuito eléctrico resonante 60 se degradarán sustancialmente al mismo ritmo con el paso del tiempo. Además, los circuitos eléctricos resonantes 50 y 60 estarán expuestos a la misma temperatura bruta, es decir, global, en el interior del reactor nuclear 12. Tomando la relación de los pulsos de respuesta 78 y 80, tal como la relación de las frecuencias, a modo de ejemplo, y utilizando la relación para buscar en las tablas de datos 30 un valor correspondiente para la temperatura, la elongación y/o la presión, se

eliminan los efectos individuales de la degradación de los componentes y la deriva de la temperatura en el circuito resonante 50. Esto se debe a que la señal ratiométrica es independiente de la degradación de los componentes y de la deriva de la temperatura, ya que se supone que los circuitos eléctricos resonantes 50 y 60 experimentan ambos la misma degradación de los componentes y la misma deriva de la temperatura.

Como se muestra mejor en la figura 4, el aparato de circuito eléctrico 44 incluye además un aparato de transmisión de elongación 84 que está situado dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6. El aparato de transmisión de elongación 84 incluye un soporte 86 que está formado de un material cerámico en la realización de ejemplo representada y que se apoya contra la pila de pastillas de combustible 38. El soporte 86 tiene un receptáculo 87 formado en el mismo, y el aparato de transmisión de elongación 84 incluye además un elemento alargado que es en la forma de una barra ferrítica 88 y que se recibe en el receptáculo 87. El inductor 56 incluye una bobina 90 que está situada alrededor de una superficie exterior de un tubo 92 que está formado de un material cerámico. El tubo 92 tiene un interior 94 dentro del cual se puede recibir un extremo de la barra ferrítica 88 opuesto al soporte 86.

A medida que las pastillas de combustible 38 aumentan de temperatura, se expanden térmicamente, haciendo así que las pastillas de combustible 38 empujen el soporte 86 y, por lo tanto, la barra ferrítica 88 en una dirección hacia la derecha en la figura 4, y por lo tanto sean recibidas en una medida relativamente mayor dentro del interior 94, lo que altera la inductancia del inductor 56. Tal alteración de la inductancia del inductor 56 ajusta la frecuencia del circuito eléctrico resonante 50, que se puede detectar cuando el pulso de excitación 74 excita una resonancia eléctrica en el circuito eléctrico resonante 50. El pulso de respuesta 78 del circuito eléctrico resonante 50 tiene así una frecuencia que es indicativa del grado de elongación de las pastillas de combustible 38. Los pulsos de respuesta 78 y 80 son recibidos por el receptor 72, y el receptor 72 envía en respuesta una serie de señales al aparato de procesamiento electrónico 16. El aparato de procesamiento electrónico 16 utiliza la relación de los pulsos de respuesta 78 y 80, o viceversa, para recuperar de las tablas de datos 30 una identidad de la barra de combustible 6 dentro de la cual está situado el aparato de circuito eléctrico 44, basándose en la frecuencia nominal de firma de los pulsos de respuesta 78 y 80, y adicionalmente recupera desde las tablas de datos 30 un valor que se corresponde con la extensión de la elongación de las pastillas de combustible 38 como se ejemplifica por el pulso de respuesta 78. A continuación, estos datos pueden enviarse a un sistema principal de monitorización de datos del reactor nuclear 12, a modo de ejemplo, o a otro lugar.

A este respecto, se observa que el circuito de calibración representado por el circuito eléctrico resonante 60 no es estrictamente crítico para la detección de las propiedades o condiciones tales como la elongación del combustible, la temperatura del combustible en la línea central, y la presión ambiental, en el interior de las diversas barras de combustible 6. Como tal, se entiende que el circuito de calibración 60 es de naturaleza opcional y se puede utilizar con el fin de simplificar la operación de recopilación de datos y para superar las limitaciones asociadas con la degradación de los componentes y la deriva de la temperatura, pero el circuito de calibración 60 no se considera necesario para el funcionamiento del aparato de detección 4. Como tal, se entiende que los diversos otros tipos de aparatos de circuito eléctrico en las diversas otras realizaciones que se describen en el presente documento pueden o no pueden incluir un circuito de calibración sin apartarse del espíritu de la divulgación instantánea. En este sentido, se observa que el circuito de calibración 60 se describe solo en términos del aparato de circuito eléctrico 44, pero se entiende que cualquiera de las otras realizaciones de los otros aparatos de circuito eléctrico en el presente documento pueden incorporar dicho circuito de calibración.

Como se ha sugerido anteriormente, el pulso de respuesta 78 es una onda sinusoidal decreciente que tiene propiedades tales como una amplitud de pico, una frecuencia y una velocidad de decaimiento. La figura 5A representa un trazo 96A de uno de dichos pulsos de respuesta 78, y la figura 5B representa otro trazo 96B de otro de dichos pulsos de respuesta 78. Se puede entender a partir de las figuras 5A y 5B que el trazo de la figura 5A tiene una amplitud de pico mayor, una frecuencia más alta (como se indica mediante el periodo 98A más corto comparado con el periodo 98B de la figura 5B), y además tiene una tasa de decaimiento más alta que el trazo 96B de la figura 5B. Como tal, mientras que cualquiera de temperatura, presión y elongación se puede medir directamente a partir de la frecuencia de cualquiera de los trazos 96A y 96B, se entiende que una pluralidad de tales parámetros se puede derivar simultáneamente de cada uno de tales trazos 96A y 96B dependiendo de la configuración de las rutinas 28 y de las tablas de datos 30, a modo de ejemplo.

Por lo tanto, puede decirse que la elongación de las pastillas de combustible 38 puede afectar al valor de inductancia del inductor 56 en virtud del movimiento relativo de la barra ferrítica 88 con respecto a la bobina 90. Esto afecta a la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es emitido por el circuito eléctrico resonante 50, y que, por lo tanto, se puede detectar mediante el aparato de procesamiento electrónico 16 a través del uso de las rutinas 28 y la tabla de datos 30.

La figura 6 representa un aparato de circuito eléctrico 144 mejorado de acuerdo con una segunda realización del concepto divulgado y reivindicado. El aparato del circuito eléctrico 144 incluye un circuito eléctrico resonante 150 que tiene un condensador 154 y un inductor 156, y es así similar de esa manera al aparato del circuito eléctrico 44. Sin embargo, el aparato de circuito eléctrico 144 incluye un aparato de transmisión de temperatura 184 que permite medir la temperatura de la pastilla de combustible de la línea central dentro de la barra de combustible 6. Específicamente, el aparato de transmisión de temperatura 184 incluye una pastilla de combustible 186 modificada que se modifica para tener un receptáculo 187 formado en el mismo. El aparato de transmisión de temperatura 184 incluye además una

barra de tungsteno 189 que es un elemento alargado y que se recibe en el receptáculo 187. Aunque el elemento alargado 189 se representa en la realización de ejemplo descrita en el presente documento como formado de tungsteno, se entiende que cualquiera de una amplia variedad de otros metales refractarios y aleaciones tales como molibdeno y similares se puede utilizar en lugar de tungsteno. El aparato de transmisión de temperatura 184 incluye además una barra ferrítica 188 que se apoya contra la barra de tungsteno 189, entendiéndose que la barra de tungsteno 189 se apoya con la pastilla de combustible 186 modificada. El inductor 156 incluye una bobina 190 que está situada directamente sobre la barra ferrítica 188.

Durante el funcionamiento, el calor que es generado por las pastillas de combustible 38 y la pastilla de combustible modificada 186 es conducido a través de la barra de tungsteno 189 y posteriormente a través de la barra ferrítica 188, provocando de este modo que la temperatura de la barra ferrítica 188 se corresponda con la temperatura de las pastillas de combustible 38 y la pastilla de combustible modificada 186. La permeabilidad de la barra ferrítica 188 cambia en función de la temperatura, y el cambio de permeabilidad con la temperatura se representa en un gráfico que se muestra de forma general en la figura 7. Una porción del gráfico de la figura 7 está rodeada y demuestra la temperatura que es típicamente observada por la barra ferrítica 188 después de que el calor de la pastilla de combustible modificada 186 es transferido a la barra ferrítica 188 por la barra de tungsteno 189 y demuestra, debido a la inclinación de la curva en la ubicación indicada en la figura 7, la correlación entre la temperatura de la barra ferrítica 188 y la permeabilidad de la misma.

La permeabilidad de la barra ferrítica 188 que, como se ha señalado, varía en función de la temperatura, afecta a la inductancia del inductor 156 con el resultado de que la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es emitido por el circuito resonante 150 varía directamente con la permeabilidad de la barra ferrítica 188 y, por lo tanto, con la temperatura de las pastillas de combustible 38 y de la pastilla de combustible modificada 186. Como tal, la temperatura de las pastillas de combustible 38 y de la pastilla de combustible modificada 186 puede medirse detectando el pulso de respuesta 78 que es emitido por el circuito eléctrico resonante 150 mediante el uso de las rutinas 28 y la recuperación de las tablas de datos 30 de una temperatura que se corresponde con la frecuencia detectada del pulso de respuesta 78.

Un aparato de circuito eléctrico 244 mejorado de acuerdo con una tercera realización del concepto divulgado y reivindicado se representa en la figura 8, y se puede utilizar en una barra de combustible de manera similar al aparato de circuito eléctrico 44. El aparato de circuito eléctrico 244 se puede recibir en la región interior 36 de la barra de combustible 6 e incluye un circuito eléctrico resonante 250 y un aparato de transmisión de temperatura 284 que detectan la temperatura de un conjunto de pastillas de combustible modificadas 286. Las pastillas de combustible modificadas 286 tienen cada una un receptáculo 287 formado en el mismo. El aparato de transmisión de temperatura 284 incluye una cantidad de metal líquido 291 que es líquido durante el funcionamiento del reactor nuclear 12. El aparato de transmisión de temperatura 284 incluye además una barra ferrítica 288 que está acoplada con el metal líquido 291 y flota flotando en el mismo, y se puede recibir en el interior de una bobina 290 de un inductor 256 del circuito eléctrico resonante 250. El metal líquido 291 se expande y contrae con los aumentos y las disminuciones de temperatura, respectivamente, de las pastillas de combustible modificadas 286. La posición de la barra ferrítica 288 con respecto a la bobina 290 depende así directamente de la temperatura central de las pastillas de combustible modificadas 286. Dicha posición de la barra ferrítica 288 con respecto a la bobina 290 afecta a la inductancia del inductor 256 y, por lo tanto, afecta de manera correspondiente a la frecuencia del circuito eléctrico resonante 250. El pulso de respuesta 78 generado por el circuito eléctrico resonante 250 se puede recibir por el receptor 72 y se comunica al aparato de procesamiento electrónico 16, y las rutinas 28 y las tablas de datos 30 se emplean para determinar la temperatura correspondiente de las pastillas de combustible modificadas 286 y, por lo tanto, de la barra de combustible 6 correspondiente.

La figura 9 representa un aparato de circuito eléctrico mejorado 344 de acuerdo con una cuarta realización del concepto divulgado y reivindicado. El aparato de circuito eléctrico 344 se puede utilizar en el interior de una barra de combustible 6 e incluye un circuito eléctrico resonante 350 y un aparato de transmisión de presión 385. El aparato de transmisión de presión 385 está configurado para permitir la medición de la presión ambiental dentro del interior de la barra de combustible 6 e incluye un soporte 386 que se apoya en la pila de pastillas de combustible 338. El aparato de transmisión de presión 385 incluye además una barra ferrítica 388 y un recipiente en forma de fuelle 393 que tiene una cavidad hueca 395 y además tiene una pluralidad de corrugaciones 396 formadas en el mismo. La cavidad hueca 395 está abierta y, por lo tanto, en comunicación fluida con la región interior de la barra de combustible 6. Además, un extremo del fuelle 393 opuesto a una barra ferrítica 388 está fijado al soporte 386.

El circuito eléctrico resonante 350 incluye un condensador 354 e incluye además un inductor 356 que tiene una bobina 390 que se forma alrededor del exterior de un tubo hueco 392 que tiene un interior 394 dentro del cual se puede recibir una barra ferrítica 388. El fuelle 393 y la barra ferrítica 388 se reciben de forma móvil en un soporte 386 y son empujados por un muelle en una dirección generalmente hacia las pastillas de combustible 338.

Como se entiende en la técnica relevante, a medida que el reactor nuclear 12 está en funcionamiento, se producen gases de fisión que incluyen uno o más gases nobles. Estos gases de fisión aumentan la presión ambiental en la región interior de la barra de combustible 6. Dado que la cavidad hueca 395 está en comunicación fluida con la región interior de la barra de combustible 6, el aumento de presión en la región interior 36 soporta el fuelle 393 dentro de la

cavidad hueca 395 y hace que el fuelle 393 se expanda axialmente, moviendo así la barra ferrítica 388 con respecto a la bobina 390 y afectando así a la inductancia del inductor 356. Un aumento de la presión ambiental dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6 expande así el fuelle 393, lo que resulta en un incremento adicional de la recepción de la barra ferrítica 388 en la bobina 390, lo que resulta en un cambio correspondiente en la inductancia del inductor 356.

El cambio correspondiente en la inductancia del inductor 356 afecta de manera predecible a la frecuencia del circuito eléctrico resonante 350 y, por lo tanto, afecta igualmente a la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es emitido por el circuito eléctrico resonante 350. Como resultado, cuando el pulso de respuesta 78 del circuito eléctrico resonante 350 es recibido por el receptor 72 y es comunicado al aparato de procesamiento electrónico 16, las rutinas 28 y las tablas de datos 30 son empleadas para obtener un valor correspondiente para la presión ambiental dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6. Dicho valor de la presión ambiental puede entonces comunicarse a un sistema de datos de la empresa del reactor nuclear 12.

Un aparato de circuito eléctrico 444 mejorado de acuerdo con una quinta realización del concepto divulgado y reivindicado se representa en general en la figura 10. El aparato de circuito eléctrico 444 está situado dentro de una región interior 436 de una barra de combustible 6 e incluye un circuito eléctrico resonante 450 que incluye un condensador y un inductor 456.

El aparato de circuito eléctrico 444 incluye además un aparato de transmisión de presión 485 que incluye un recipiente en forma de un tubo de Bourdon 493 que, en la realización de ejemplo representada, incluye un tubo hueco que está formado en una forma helicoidal. El tubo hueco del tubo de Bourdon 493 forma una cavidad hueca 495, excepto que una entrada 497 está formada en un extremo del tubo de Bourdon 493 y permite así la comunicación fluida con el interior del tubo de Bourdon 493. Más específicamente, el aparato de circuito eléctrico 444 incluye además un soporte 486 en forma de una junta que se extiende entre los bordes del tubo de Bourdon 493 adyacente a la entrada 497 y se extiende hasta una superficie interior de la región interior 436 de la barra de combustible 6. De este modo, el soporte 486 divide la región interior 436 en una porción principal 481 dentro de la cual se sitúan varias pastillas de combustible 438 y una subregión 483 dentro de la cual se sitúan el tubo de Bourdon 493 y el inductor 456. El tubo de Bourdon 493 también se apoya sobre el soporte 486. El soporte 486 resiste la comunicación de fluidos entre la porción principal 481 y la subregión 483, excepto por la entrada 497 que permite la comunicación de fluidos entre el interior del tubo de Bourdon 493 y la porción principal 481.

El aparato de transmisión de presión 485 incluye además una barra ferrítica 488 que está situada en el tubo de Bourdon 493 en un extremo del mismo opuesto a la entrada 497. El inductor 456 incluye una bobina 490, y el movimiento de la barra ferrítica 488 en relación con la bobina 490 cambia la inductancia del inductor 456 de tal manera que la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es generado por el aparato de circuito eléctrico 444 cambia en correspondencia con la presión ambiental dentro de la porción principal 481 de la región interior 436. Más específicamente, a medida que los gases de fisión se acumulan en la porción principal 481 de la región interior 436, la presión ambiental dentro de la porción principal 481 aumenta, al igual que la presión ambiental dentro de la cavidad hueca 495 del tubo de Bourdon 493. Dado que la subregión 483 no experimenta el aumento de la presión ambiental que experimenta la porción principal 481, y el aumento de la presión ambiental dentro de la cavidad hueca 495 del tubo de Bourdon 493 da como resultado la expansión del tubo de Bourdon 493 y el movimiento resultante de la barra ferrítica 488 en la dirección de la flecha 499 con respecto a la bobina 490. Esto resulta en un cambio correspondiente en la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es generado por el aparato de circuito eléctrico 444.

Por lo tanto, puede verse que los cambios en la presión ambiental dentro de la porción principal 481 de la región interior 436 dan como resultado un cambio en la inductancia del inductor 456 y un cambio correspondiente en la frecuencia nominal del circuito eléctrico resonante 450 y un cambio resultante en la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es generado por el aparato de circuito eléctrico 444. Cuando dicho pulso de respuesta 78 es recibido por el receptor 72, una señal correspondiente es comunicada al equipo de procesamiento electrónico 16, y las rutinas 28 y las tablas de datos 30 son utilizadas para obtener un valor correspondiente para la presión ambiental dentro de la región interior 436 para su salida según se desee.

Un aparato de circuito eléctrico 544 mejorado de acuerdo con una sexta realización del concepto divulgado y reivindicado se representa en general en la figura 11. El aparato de circuito eléctrico 544 es similar al aparato de circuito eléctrico 444 en que se emplea un tubo de Bourdon 593 como recipiente que tiene una cavidad hueca 595. En el aparato de circuito eléctrico 544, sin embargo, el tubo de Bourdon 593 incluye un tapón 597 en un extremo del mismo opuesto a una barra ferrítica 588 de tal manera que la cavidad hueca 595 del tubo de Bourdon no está en comunicación fluida con la región interior 536 de la barra de combustible 6, y un aumento de la presión ambiental dentro de la región interior 536 hace que el tubo de Bourdon 593 se contraiga. El tubo de Bourdon 493 está apoyado sobre un soporte 586 en las proximidades del tapón 597, y una contracción del tubo de Bourdon 493 debida al aumento de la presión ambiental dentro de la región interior 536 desplaza así la barra ferrítica 588 en la dirección de la flecha 599 con respecto a la bobina 590.

El aparato de circuito eléctrico 544 incluye un circuito eléctrico resonante 550 que tiene un condensador y un inductor 556, y el movimiento de la barra ferrítica 588 con respecto a la bobina 590 del inductor 556 cambia la inductancia del

inductor 556 y, por lo tanto, cambia la frecuencia nominal del circuito eléctrico resonante 550. El aparato de circuito eléctrico 544 incluye así un aparato de transmisión de presión 585 que es similar al aparato de transmisión de presión 485, excepto que el aparato de transmisión de presión 585 incluye un tubo de Bourdon 593 cuya cavidad hueca 595 no está en comunicación fluida con la región interior 536 y, por lo tanto, se contrae en presencia de una presión ambiental incrementada dentro de la región interior 536.

Un aparato de circuito eléctrico mejorado 644 de acuerdo con una séptima realización del concepto divulgado y reivindicado incluye un circuito eléctrico resonante 650 que tiene un condensador 654 y un inductor. El condensador 654 incluye un par de placas 652A y 652B que están separadas por un material dieléctrico 653. El aparato de circuito eléctrico 644 se puede recibir dentro de la región interior 36 de una barra de combustible 6 para emitir un pulso de respuesta 78 cuya frecuencia se ajusta en respuesta a un cambio en la presión ambiental dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6.

Más específicamente, el dieléctrico 653 es de naturaleza higroscópica y está configurado para absorber al menos algunos de los gases de fisión que se generan durante el funcionamiento del reactor nuclear 12. Dicha absorción de los gases de fisión por el dieléctrico 653 cambia la constante dieléctrica del dieléctrico 653, lo que ajusta la capacitancia del condensador 654, con un efecto correspondiente sobre la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es generado por el circuito eléctrico resonante 650. Como tal, un cambio en la presión ambiental dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6 afecta de manera correspondiente la capacitancia del condensador 654 y, por lo tanto, afecta de manera correspondiente la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es generado por el circuito eléctrico resonante 650. Cuando el pulso de respuesta 78 es recibido por el receptor 72, el receptor 72 proporciona en respuesta al aparato de procesamiento electrónico 16 una señal que es utilizada por las rutinas 28 en conjunción con las tablas de datos 30 para obtener y emitir un valor para la presión ambiental dentro de la región interior 36 de la barra de combustible 6 dentro de la cual está situado el aparato de circuito eléctrico 644.

Un aparato de circuito eléctrico 744 de acuerdo con una octava realización del concepto divulgado y reivindicado se representa de forma general en la figura 13 como situado dentro de una región interior 736 de una barra de combustible 6. El aparato de circuito eléctrico incluye un circuito eléctrico resonante 750 que incluye un condensador 754 y un inductor 756.

El aparato de circuito eléctrico 744 incluye un aparato de transmisión de presión 785 que incluye un soporte 786 sobre el que el condensador 756 está situado de forma estacionaria e incluye además una junta flexible 782. Más específicamente, el condensador 754 incluye un par de placas 752A y 752B con un material dieléctrico 753 interpuesto entre las mismas. La placa 752A está situada en el soporte 786, y la junta flexible se extiende entre la placa 752B y una superficie interior de la barra de combustible 6 para dividir la región interior 736 en una porción principal 781 dentro de la cual están situadas varias pastillas de combustible 738 y una subregión 783 dentro de la cual están situados el inductor 756, la placa 752A, el soporte 786 y el dieléctrico 753. El soporte 786 es rígido, pero tiene una serie de aberturas formadas en el mismo de tal manera que un aumento o una disminución de la presión ambiental dentro de la porción principal 781 dará lugar a un movimiento de la junta flexible 782 con respecto al soporte 786. De este modo, la junta flexible 782 resiste la comunicación de fluidos entre la porción principal 781, que es el lugar donde se generan los gases de fisión, y la subregión 783.

Cuando la porción principal 781 experimenta un cambio en la presión ambiental dentro de la porción principal 781, esto hace que la junta flexible 782 y la placa 752B se muevan con respecto a la placa 752A que, estando situada sobre el soporte 786, permanece estacionaria. El material dieléctrico 753 está configurado para ser al menos parcialmente flexible en respuesta al movimiento de la placa 752B con respecto a la placa 752A. Sin embargo, tal movimiento de la placa 752B con respecto a la placa 752A resulta en un cambio en la capacitancia del condensador 754. Esto resulta en un cambio correspondiente en la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es generado por el circuito eléctrico resonante 750 como resultado de un cambio en la presión ambiental dentro de la porción principal 781. Por lo tanto, puede entenderse que un cambio en la presión ambiental dentro de la porción principal 781 de la región interior 736 cambia de manera correspondiente la frecuencia del pulso de respuesta 78 que es recibido por el receptor 72 y que, como resultado, comunica una señal al aparato de procesamiento electrónico 16. El aparato de procesamiento electrónico 16 emplea entonces sus rutinas 28 y sus tablas de datos 30 para determinar un valor de presión que se corresponde con la frecuencia del pulso de respuesta 78 y que es indicativo de la presión ambiental dentro de la porción principal 781 de la región interior 736.

Por lo tanto, puede verse que se proporcionan diversos aparatos de circuito eléctrico que son capaces de medir directamente parámetros tales como la presión ambiental, la temperatura de la pastilla de combustible de la línea central y la elongación de la pastilla de combustible dentro de las diversas barras de combustible 6 del conjunto de combustible 10. Como se ha señalado, cualquiera de los aparatos de circuitos eléctricos puede incluir el circuito de calibración que se puede utilizar para compensar la degradación de los componentes y la deriva de la temperatura. Además de la medición directa de los parámetros tales como la temperatura de la pastilla de combustible en la línea central, la elongación de la pastilla de combustible y la presión ambiental dentro de la región interior de las barras de combustible 6, se reitera que el pulso de respuesta 78 en ciertas circunstancias puede ser analizado en términos de su amplitud pico, frecuencia y tasa de decaimiento para indicar indirecta y simultáneamente una pluralidad de los mismos parámetros de las barras de combustible 6. Otras variaciones serán evidentes.

Una primera realización de un sistema de almacenamiento de contenedores en seco (DCSS) 802 mejorado de acuerdo con el concepto divulgado y reivindicado se representa generalmente en las figuras 14-17. El DCSS 802 incluye un aparato de detección 804 que comparte cierta similitud con el aparato de detección 4. El aparato de detección 804 está situado en el interior del DCSS 802 y está estructurado para proporcionar una señal de salida a un aparato de procesamiento electrónico 808 que está situado en el exterior y probablemente alejado del DCSS 802.

El DCSS 802 está configurado para almacenar en el mismo una cantidad de combustible nuclear gastado (SNF) 812. Más concretamente, el DCSS 802 incluye, además del aparato de detección 802, un recipiente 816 dentro del cual está situado el SNF 812 y un embalaje exterior 820 que encierra en su interior el recipiente 816. El recipiente 816 tiene una configuración aproximadamente cilíndrica y está formado por una pared 824 que está fabricada de un material metálico y que tiene un componente de pared lateral cilíndrica y un par de componentes de pared de extremo circular que se fijan entre sí para formar un recinto sellado. En particular, el recipiente 816 está configurado para incluir una primera región interior 828 que está sellada de la comunicación con la atmósfera que rodea el DCSS 802. El SNF 812 se recibe, almacena y encierra dentro de la primera región interior 828.

Puede decirse que el embalaje exterior 820 incluye un cuerpo 832 que está formado de un material cementoso tal como hormigón y que incluye un componente de pared anular lateral y un par de componentes de pared de extremo circular que juntos forman el cuerpo 832. El embalaje exterior 820 está formado para tener una segunda región interior 836 dentro de la cual se recibe el recipiente 816. Sin embargo, como puede entenderse a partir de la figura 16, entre el cuerpo 832 y la pared 824 se forma un anillo 840, que es una región de espacio vacío. El cuerpo 832 tiene una serie de aberturas 844 formadas en el mismo que proporcionan comunicación entre el anillo 840, que es una parte de la segunda región interior 836, y el exterior del embalaje exterior 820.

Como se muestra mejor en la figura 15, puede decirse que el aparato de detección 804 incluye un transmisor 848 que tiene una antena de transmisión 852, un receptor 856 que tiene una antena de receptor 860, y un aparato de circuito eléctrico 864 que incluye un circuito eléctrico resonante 868. El circuito eléctrico resonante 868 está situado con el SNF 812 dentro de la primera región interior 828 y está encerrado en la misma dentro del recipiente 816. El circuito eléctrico resonante 868 incluye un número de componentes de circuito que incluyen un condensador 872 y un inductor 876 que juntos forman un circuito resonante cuando el inductor 876 es activado por un pulso de excitación 874 que es generado por el transmisor 848 y que es similar al pulso de excitación 74. Específicamente, el pulso de excitación 874 es transmitido por la antena de transmisión 852 a través de la pared 824 y activa una bobina 882 del inductor 876 y, junto con el condensador 872, forma un circuito resonante. Se observa, sin embargo, que el inductor 876 incluye adicionalmente un núcleo 884 que está ventajosamente formado de un material de perminvar particular que tiene una alta permeabilidad magnética y un alto punto de Curie. En la realización de ejemplo representada, el material de perminvar utilizado para formar el núcleo 884 es un material de ferrita de perminvar de NiZn de alta temperatura fabricado y vendido por National Magnetics Group, Inc. de Bethlehem, Pennsylvania, EE. UU. con el nombre de "M3". Este tipo particular de perminvar tiene ventajosamente una permeabilidad magnética que varía de forma conocida en respuesta a un cambio de temperatura. Esta relación es similar a la representada en la figura 7 en el contexto de la barra ferrítica 188, pero que es igualmente aplicable al núcleo 884. Dado que la permeabilidad magnética del núcleo 884 varía con la temperatura, la frecuencia del circuito eléctrico resonante 868 varía ventajosamente de forma correspondiente con la temperatura dentro de la primera región interior 828.

Cuando el circuito eléctrico resonante 868 es activado por el pulso de excitación 874 que es generado por el transmisor 848 y que es transmitido a través de la pared 824 por la antena de transmisión 852, la resonancia del circuito eléctrico resonante 868 responde directamente a y es indicativa de la temperatura dentro de la primera región interior 828 del recipiente 816 donde está situado el SNF 812. En respuesta al pulso de excitación 874 del transmisor 848, el circuito eléctrico resonante 868 se activa y genera un pulso de respuesta 880 cuya frecuencia se basa en la frecuencia de resonancia del circuito eléctrico resonante 868 que, como se señaló anteriormente, se basa en la temperatura de la primera región interior 828 debido a la permeabilidad magnética variable del núcleo 884. El pulso de respuesta 880 que se genera mediante el circuito eléctrico resonante 868 es similar al pulso de respuesta 80 y tiene la forma de una onda sinusoidal decreciente que tiene propiedades tales como amplitud de pico, la frecuencia y la velocidad de decaimiento, tal como se representa generalmente en las figuras 5A y 5B en el contexto del aparato de circuito eléctrico 44. El pulso de respuesta 880 se transmite en forma de una señal de campo magnético que se desplaza a través de la pared 824, que es metálica, y es recibida por la antena de recepción 860, que está situada dentro de la segunda región interior 836, pero que está situada fuera del recipiente 816. La frecuencia del pulso de respuesta se optimiza para la transmisión a través de la pared 824 y para la detección por el receptor 856 con el fin de determinar una temperatura dentro de la primera región interior 828, y en la realización de ejemplo representada el pulso de respuesta 880 tiene una frecuencia que está aproximadamente en el intervalo de aproximadamente 1000-2000 Hz, aunque pueden emplearse otras frecuencias sin apartarse del espíritu de la presente divulgación.

El receptor 856, en respuesta a haber recibido el pulso de respuesta 880 con la antena de recepción 860, genera una salida que se comunica al aparato de procesamiento electrónico 808. La salida tiene una característica, tal como la frecuencia, que se basa en las propiedades del condensador 872 y del inductor 876, es decir, en la frecuencia del circuito resonante que, a su vez, se basa en la temperatura dentro de la primera región interior 828. Esto permite determinar mediante el aparato de procesamiento electrónico 808 y a partir de la salida una temperatura que existe

dentro de la primera región interior 828. La temperatura es entonces comunicada por el aparato de procesamiento electrónico 808 a, por ejemplo, un sistema de datos de la empresa o se utiliza de otra manera. A este respecto, se entiende que la variación de la permeabilidad magnética del núcleo 884 en función de la temperatura típicamente sería una propiedad indeseable del material de perminvar del que está formado el núcleo 884, pero en la aplicación instantánea dicha variabilidad de la permeabilidad magnética con la temperatura se emplea ventajosamente para variar la frecuencia resonante del circuito eléctrico resonante 868 con el fin de indicar ventajosamente la temperatura dentro de la primera región interior 828.

Puede entenderse que la antena de recepción 860 recibirá el pulso de excitación 874 de una manera similar a la manera en que el circuito eléctrico resonante 868 recibe el pulso de excitación 874, excepto que la antena de recepción 860 lo recibirá antes debido a su mayor proximidad con la antena de transmisión 852. El pulso de excitación 874 es generalmente de magnitud y energía mucho mayores que el pulso de respuesta detectado 880, y el aparato de detección 804 está ventajosamente configurado para evitar la destrucción del receptor 856 y su electrónica asociada debido a que el pulso de excitación 874 es recibido por la antena de recepción 860. En particular, el receptor 856 incluye ventajosamente además un amplificador de ganancia variable en la forma de ejemplo de un circuito de compuerta 888, indicado en "G" en la figura 15, que es conmutable entre un estado apagado y un estado encendido. El circuito de compuerta 888 en el estado apagado atenúa la señal que recibe la antena de recepción 860 en tres órdenes de magnitud en el ejemplo representado, de tal manera que si el pulso de excitación 874, al ser recibido por la antena de recepción 860, normalmente resultaría en una salida del orden de un voltio, dicha atenuación de esa señal en tres órdenes de magnitud daría como resultado una señal atenuada que está en el orden de un milivoltio. El circuito de compuerta 888 evita así ventajosamente la destrucción del aparato de detección 804 en respuesta al pulso de excitación 874.

El circuito de compuerta 888 se conmuta entonces ventajosamente desde la condición de apagado a la condición de encendido un periodo de tiempo predeterminado después de la iniciación del pulso de excitación 874. En la realización de ejemplo representada, el circuito de compuerta 888 se cambia desde la condición de apagado a la condición de encendido 250 microsegundos después del inicio del pulso de excitación, aunque se entiende que otros periodos de tiempo predeterminados mayores o menores que este periodo mencionado pueden ser utilizados sin apartarse del espíritu de la presente divulgación. Después de este periodo de tiempo predeterminado, en el cual el circuito de compuerta 888 se cambia de la condición de apagado a la condición de encendido, el pulso de respuesta 880 que es recibido por la antena de recepción 860 se comunica como una señal de salida a la unidad de procesamiento electrónico 808 para su uso en la determinación de la temperatura dentro de la primera región interior 828. Por lo tanto, se puede ver que el circuito de compuerta 888 atenúa una porción de la salida del receptor 856 que corresponde con el pulso de excitación 874, pero luego cesa dicha atenuación un periodo predeterminado de tiempo después del pulso de excitación 874 con el fin de permitir que el pulso de respuesta 880 sea detectado por la antena de recepción 860 y se proporcione como una señal de salida del receptor 856, con dicha señal de salida siendo empleada como una entrada en el aparato de procesamiento electrónico 808 con el fin de determinar la temperatura dentro de la primera región interior 828.

Como puede entenderse a partir de la figura 17, el aparato de circuito eléctrico 864, designado con la letra "S" en las figuras 14 y 16-17, está situado aproximadamente en el centro del recipiente 816, y puede entenderse a partir de la figura 16 que está situado cerca del extremo superior del SNF 812. El transmisor 848 y el receptor 856 se colocan dentro del anillo 840 en una posición óptima con respecto al aparato del circuito eléctrico 864. Un cable 890 se extiende a través de una de las aberturas 844 entre un transeceptor formado por el transmisor 848 y el receptor 856 y el aparato de procesamiento electrónico 808. Como tal, mientras que el aparato de circuito eléctrico 864 está sellado dentro de la primera región interior 828 del recipiente 816, el transmisor 848 y el receptor 856 están situados dentro del anillo 840, que está en comunicación con el exterior del DCSS 802. El aparato de circuito eléctrico 864 sirve así como un sensor autoalimentado que genera el pulso de respuesta 880 que es representativo de la temperatura dentro de la primera región interior 828.

En comparación con el DCSS de las figuras 14-17, se observa que una segunda realización de un DCSS 902 se representa generalmente en la figura 18 como que incluye un aparato de detección 904 que se comunica con un aparato de procesamiento electrónico 908, pero el aparato de detección 904 incluye una pluralidad de transmisores, receptores y aparatos de circuitos eléctricos. Más específicamente, la figura 18 representa el aparato de detección 904 como que incluye una pluralidad de transmisores que se indican en los números de referencia 948A, 948B, 948C, y 948D, a los que se puede hacer referencia de manera colectiva o individual en el presente documento con el número de referencia 948. El aparato de detección 904 incluye además una pluralidad de receptores que se indican en general con los números de referencia 956A, 956B, 956C y 956D, y a los que se puede hacer referencia de manera colectiva o individual en el presente documento con el número de referencia 956. El aparato de detección 904 incluye adicionalmente una pluralidad de aparatos de circuitos eléctricos que se indican con los números de referencia 964A, 964B, 964C, y 964D, y a los que se puede hacer referencia aquí de manera colectiva o individual con el número de referencia 964. Cada aparato de circuito eléctrico 964 es similar al aparato de circuito eléctrico 864 y está emparejado con uno particular de los transmisores 948 y uno particular de los receptores 956. Cuando un transmisor particular 948 genera un pulso de excitación, similar al pulso de excitación 874, su aparato de circuito eléctrico 964 correspondiente genera un pulso de respuesta que es similar al pulso de respuesta 880 y que se comunica en forma de una señal de campo magnético a través de una pared metálica 924 de un recipiente 916 del DCSS 902 y es detectado por el receptor

956 correspondiente que genera una salida correspondiente que se comunica al aparato de procesamiento electrónico 908. Por ejemplo, un pulso de excitación que es generado por el transmisor 948A activa el circuito eléctrico resonante del aparato de circuito eléctrico 964A que, a su vez, genera un pulso de respuesta que es detectado por el receptor 956A. A este respecto, se entiende que los transmisores 948 se dispararán secuencialmente para generar el pulso de excitación, uno tras otro, lo que resultará secuencialmente en la generación de pulsos de respuesta por los correspondientes aparatos de circuito eléctrico 964 y la detección resultante de los pulsos de respuesta por los correspondientes receptores 956 para su comunicación al aparato de procesamiento electrónico 908. A este respecto, puede entenderse que los aparatos del circuito eléctrico 964 se representan en la figura 18 como situados en diversas ubicaciones dentro del recipiente del DCSS 902 y se designan con "S1", "S2", "S3" y "S4". Los pares transmisor/receptor 948 y 956 están situados en el espacio anular entre el recipiente y un embalaje exterior del DCSS 902.

El aparato de detección 904 puede emplear cualquiera de una amplia variedad de dispositivos y metodologías para distinguir unos de otros los diversos pulsos de respuesta que se detectan en los receptores 956. Por ejemplo, cada uno de los receptores 956 podría incluir adicionalmente un circuito de compuerta, similar al circuito de compuerta 888, que se puede conmutar entre una condición de apagado y una condición de encendido en momentos predeterminados con respecto al pulso de excitación que fue generado por el transmisor 948 correspondiente con el fin de detectar y comunicar al aparato de procesamiento electrónico 908 solo la señal que fue recibida desde el aparato de circuito eléctrico 964 correspondiente. Se pueden emplear otras metodologías basadas en la temporización, la frecuencia de la firma y similares para distinguir las distintas señales detectadas por los receptores 956. El posicionamiento de los diversos aparatos del circuito eléctrico 964 a través del recipiente 916 permite ventajosamente detectar diferentes temperaturas en diferentes ubicaciones dentro del interior del recipiente 916.

Una tercera realización de un DCSS 1002 mejorado se representa generalmente en las figuras 19-21, con una configuración alternativa de una porción de la misma representada en la figura 22. El DCSS 1002 incluye un aparato de detección 1004 que es interno al DCSS 1002 y que comunica señales a un aparato de procesamiento electrónico 1008 que es externo al DCSS 1002. El aparato de detección 1004 incluye un transmisor 1048 que tiene una antena de transmisión 1052 y un receptor 1056 que tiene una antena de recepción 1060. El aparato de detección 1004 incluye además una pluralidad de aparatos de circuitos eléctricos que se indican generalmente con los números de referencia 1064A, 1064B, 1064C y 1064D, y a los que se puede hacer referencia colectiva o individualmente en el presente documento con el número de referencia 1064. Los aparatos de circuito eléctrico 1064 son similares a los aparatos de circuito eléctrico 964 y a los aparatos de circuito eléctrico 864. La antena de transmisión 1052 y la antena de recepción 1060 forman juntas un aparato de antena 1062.

Como puede entenderse a partir de la figura 21, la antena de transmisión 1052 es en forma de un número de primeros devanados 1066 de alambre, siendo los primeros devanados 1066 de una configuración anular. De manera similar, la antena de recepción 1060 tiene la forma de un número de segundos devanados 1070 de alambre que son igualmente de configuración anular, con los primeros y segundos devanados 1066 y 1070 superpuestos. En la realización de ejemplo representada, la antena de transmisión 1052 está formada por un cable relativamente más grueso con relativamente menos espiras, mientras que la antena de recepción 1060 está formada por un cable relativamente más fino con relativamente más espiras. Cuando el aparato de antena 1062 se instala sobre un recipiente 1016 del DCSS 1002, tal como se representa en la figura 19, el aparato de antena 1062 circunscribe una porción 1074 del recipiente 1016.

Como puede entenderse a partir de la figura 20, los aparatos de circuito eléctrico 1064 están situados en varias posiciones dentro del recipiente 1016. Cuando la antena de transmisión 1052 transmite un pulso de excitación que es generado por el transmisor 1048 y que es similar al pulso de excitación 874, el pulso de excitación activa los circuitos eléctricos resonantes en cada uno de los aparatos de circuitos eléctricos 1064, haciendo que cada uno de ellos genere pulsos de respuesta que son similares al pulso de respuesta 880 y que se comunican como señales de campo magnético a través de una pared 1024 del recipiente 1016 y son detectados por la antena de recepción 1060. El receptor 1056 a su vez genera una salida que se proporciona al aparato de procesamiento electrónico 1008 y que es indicativa de las diversas temperaturas en las ubicaciones donde los diversos aparatos de circuitos eléctricos 1064 están situados dentro del interior del recipiente 1016. Dado que las señales de la pluralidad de aparatos de circuitos eléctricos 1064 están siendo recibidas por la única antena de recepción 1060, se pueden emplear varias técnicas para distinguir un pulso de respuesta de otro con el fin de determinar qué aparato de circuito eléctrico 1064 generó qué pulso de respuesta. Por ejemplo, se pueden emplear firmas de frecuencia en los diversos aparatos de circuitos eléctricos 1064, o se pueden emplear retardos de tiempo conocidos entre la generación del pulso de excitación y la recepción de los pulsos de respuesta, o incluso otras técnicas. También se observa que el receptor 1056 puede incluir un circuito de compuerta como el circuito de compuerta 888 según sea necesario para evitar la destrucción del aparato de detección 1004 debido a que el pulso de excitación es recibido por la antena de recepción 1060.

La figura 22 representa un aparato de antena alternativo 1162 que puede emplearse en el DCSS 1002 en lugar del aparato de antena 1062. El aparato de antena 1162 incluye un número de primeros devanados 1166 que se pueden utilizar como antena de transmisión y un número de segundos devanados 1160 que se pueden utilizar como antena de recepción, pero los primeros y segundos devanados 1166 y 1170 están situados uno al lado del otro en lugar de superpuestos. Como tales, los primeros devanados 1166 circunscriben una porción 1174A del recipiente 1016,

mientras que los segundos devanados 1170 circunscriben otra porción 1174B del recipiente 1016 cuando el aparato de antena 1162 está instalado en el recipiente 1016. Tal configuración puede proporcionar una distinción aún mayor entre los aparatos de circuito eléctrico 1164 que se emplean en el DCSS 1002, dos de los cuales se representan en la figura 22.

Más ventajosamente, el DCSS 802, el DCSS 902, y el DCSS 1002 pueden incorporar cada uno cualquiera de las estructuras antes mencionadas para medir la presión. Por ejemplo, el condensador 654 puede usarse en lugar del condensador 872, o el condensador 654 puede emplearse en un circuito resonante separado con un inductor cuya capacitancia no varíe con la temperatura para proporcionar un pulso de respuesta que sea indicativo de una presión ambiental dentro de la primera región interior 828. Asimismo, cualquiera de los mencionados aparatos de transmisión de presión 385, 485, 585 y 785, a modo de ejemplo, puede incorporarse a cualquiera de los aparatos de detección 804, 904 y 1004 con el fin de detectar una presión ambiental dentro de la primera región interior 828. De nuevo, tales aparatos de transmisión de presión 385, 485, 585, y 785 podrían proporcionarse, por ejemplo, como dispositivos separados adicionales a los aparatos de circuito eléctrico 864, 964, y 1064, y que generan un pulso de respuesta separado que responde al pulso de excitación. Estos pueden ser incorporados en cualquiera de una variedad de modos, tales como proporcionar frecuencias características para cada uno de estos aparatos de transmisión de presión, a modo de ejemplo, o proporcionando pulsos de excitación separados que excitan por separado los aparatos de transmisión de presión. Otros ejemplos serán evidentes.

Por lo tanto, puede verse que el uso ventajoso del núcleo 884 con una permeabilidad magnética que varía de una manera conocida con la temperatura con el fin de detectar una temperatura en el interior de un recipiente de un DCSS es altamente ventajoso. Además, la incorporación del condensador 654 o de cualquiera de los aparatos de transmisión de presión 385, 485, 585 y 785 permite ventajosamente la detección de una presión ambiental en el interior de un recipiente de un DCSS es igualmente muy ventajosa. Otras ventajas serán evidentes.

Aunque realizaciones específicas de la invención se han descrito en detalle, se apreciará por parte de los expertos en la técnica que diversas modificaciones y alternativas a esos detalles podrían desarrollarse a la luz de las enseñanzas globales de la divulgación. De acuerdo con ello, las realizaciones particulares divulgadas pretenden ser ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención, que se da por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de almacenamiento de contenedores en seco (DCSS) estructurado para contener en el mismo una cantidad de combustible nuclear gastado (SNF), comprendiendo el DCSS:

un recipiente que tiene una pared que está formada de un material metálico y que está formado para tener una primera región interior (828), estando la primera región interior estructurada para recibir en la misma el SNF; un embalaje exterior (820) que está formado de un material cementoso y que está formado para tener una segunda región interior (836), estando el recipiente recibido en la segunda región interior (836); un aparato de detección (4) que puede cooperar con un aparato de procesamiento electrónico (16) que está situado fuera del DCSS, comprendiendo el aparato de detección (4) un transmisor (68), un aparato de circuito eléctrico (44), y un receptor (72); estando colocado el transmisor (68) dentro de la segunda región interior (836) y fuera del recipiente y estando estructurado para generar un pulso de excitación (874) y para transmitir el pulso de excitación a través de la pared y dentro de la primera región interior (828); teniendo el aparato de circuito eléctrico (44) un circuito eléctrico resonante (50) que está situado dentro de la primera región interior (828) y que está estructurado para generar un pulso de respuesta (880) en respuesta al pulso de excitación (874) y para transmitir el pulso de respuesta (880) en forma de una señal de campo magnético que está estructurada para desplazarse desde la primera región interior (828) y a través de la pared; comprendiendo el circuito eléctrico resonante (50) una pluralidad de componentes de circuito, teniendo al menos un componente de circuito de la pluralidad de componentes de circuito una propiedad que está estructurada para variar en respuesta a una condición dentro de la primera región interior (828) y que, en respuesta a un cambio en la condición, está estructurada para hacer que la propiedad y el pulso de respuesta varíen con el cambio en la condición y sean indicativos de la condición; y estando colocado el receptor (72) dentro de la segunda región interior (836) y fuera del recipiente, estando el receptor (72) estructurado para recibir el pulso de respuesta (880) y comunicar al aparato de procesamiento electrónico (16) una salida que responda al pulso de respuesta (880).

2. El DCSS de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de componentes de circuito comprende un inductor (876) que tiene una inductancia que está estructurada para variar en respuesta a la condición y que, en respuesta al cambio en la condición, está estructurada para hacer que el pulso de respuesta (880) tenga una frecuencia que varía con la condición.

3. El DCSS de la reivindicación 2, en el que la primera región interior (828) tiene una temperatura, teniendo el inductor (876) un núcleo que tiene una permeabilidad que está estructurada para variar en respuesta a la temperatura y que, en respuesta a un cambio en la temperatura, está estructurada para sufrir un cambio en su permeabilidad para alterar la inductancia y causar como resultado el pulso de respuesta para tener una frecuencia que varía con la temperatura.

4. El DCSS de la reivindicación 1, en el que el receptor (72) está estructurado para recibir el pulso de excitación (874) desde el transmisor (68) antes de recibir el pulso de respuesta (880) desde el aparato de circuito eléctrico (44), y en el que el aparato de detección (4) comprende además un circuito de compuerta (888) que está estructurado para atenuar desde la salida una porción de la salida que responde al pulso de excitación (874).

5. El DCSS de la reivindicación 4 en el que el circuito de compuerta (888) es conmutable entre una condición de apagado en la que atenúa de la salida la porción de la salida que es sensible al pulso de excitación (874) y una condición de encendido un período predeterminado de tiempo después de la generación del pulso de excitación (874) en el que el circuito de compuerta (888) cesa la atenuación de la salida.

6. El DCSS de la reivindicación 1, en el que:

el aparato de detección (4) comprende además otro transmisor (68), otro aparato de circuito eléctrico (44) y otro receptor (72); estando el otro transmisor (68) colocado dentro de la segunda región interior (836) y fuera del recipiente y está estructurado para generar otro pulso de excitación (874) después de la generación del pulso de excitación (874) y para transmitir el otro pulso de excitación a través de la pared y dentro de la primera región interior (828); teniendo el otro aparato de circuito eléctrico (44) otro circuito eléctrico resonante (50) que está situado dentro de la primera región interior (828) y que está estructurado para generar otro pulso de respuesta (880) en respuesta al otro pulso de excitación (874) y para transmitir el otro pulso de respuesta en forma de otra señal de campo magnético que está estructurada para desplazarse desde la primera región interior (828) y a través de la pared; y estando el otro receptor (72) situado dentro de la segunda región interior (836) y fuera del recipiente, estando el otro receptor (72) estructurado para recibir el otro pulso de respuesta (880) y comunicar al aparato de procesamiento electrónico (16) otra salida que responda al pulso de respuesta (880).

7. El DCSS de la reivindicación 1, en el que:

el aparato de detección (4) comprende además otro aparato de circuito eléctrico (44);
 teniendo el otro aparato de circuito eléctrico (44) otro circuito eléctrico resonante (50) que está situado dentro
 de la primera región interior (828) y que está estructurado para generar otro pulso de respuesta (880) en
 respuesta al pulso de excitación (874) y para transmitir el otro pulso de respuesta (880) en forma de otra señal
 de campo magnético que está estructurada para desplazarse desde la primera región interior (828) y a través
 de la pared; y
 estando estructurado el receptor (72) para recibir tanto el pulso de respuesta (880) como el otro pulso de
 respuesta (880) y para comunicar al aparato de procesamiento electrónico (16) como la salida una señal de
 salida que responde al pulso de respuesta (880) y al otro pulso de respuesta (880).

8. El DCSS de la reivindicación 7, en el que el transmisor (68) incluye una antena de transmisión (1052), y en el que
 el receptor (72) incluye una antena de recepción (1060), comprendiendo al menos una de la antena de transmisión
 (1052) y la antena de recepción (1060) un número de bobinados que son de una configuración anular que se extienden
 alrededor de una porción del recipiente.

9. El DCSS de la reivindicación 7, en el que el transmisor (68) incluye una antena de transmisión (1052), y en el que
 el receptor (72) incluye una antena de recepción (1060), comprendiendo la antena de transmisión (1052) un número
 de primeros devanados que son de una configuración anular, y comprendiendo la antena de recepción (1060) un
 número de segundos devanados que son de una configuración anular.

10. El DCSS de la reivindicación 9, en el que el número de primeros devanados y el número de segundos devanados
 circunscriben una porción del recipiente.

11. El DCSS de la reivindicación 9, en el que el circuito eléctrico resonante (50) y el otro circuito eléctrico resonante
 (50) están ambos situados uno dentro y otro adyacente a la porción del recipiente circunscrita por el número de
 primeros devanados y el número de segundos devanados.

12. El DCSS de la reivindicación 9, en el que el número de primeros devanados circunscribe una primera porción del
 recipiente, y en el que el número de segundos devanados circunscribe una segunda porción del recipiente, estando el
 circuito eléctrico resonante (50) y el otro circuito eléctrico resonante (50) situados dentro de al menos una de la primera
 porción del recipiente y de la segunda porción del recipiente.

13. El DCSS de la reivindicación 1, en el que el aparato de detección comprende un aparato de transmisión de presión
 (385, 485, 585, 785) que está estructurado para emitir como pulso de respuesta un pulso que es indicativo de una
 presión ambiental dentro de la primera región interior (828).

14. El DCSS de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de componentes de circuito comprende un condensador
 (54) cuya capacitancia varía con la presión ambiental dentro de la primera región interior (828), y en el que el circuito
 eléctrico resonante (50) está estructurado para emitir como pulso de respuesta un pulso que es indicativo de una
 presión ambiental dentro de la primera región interior (828).

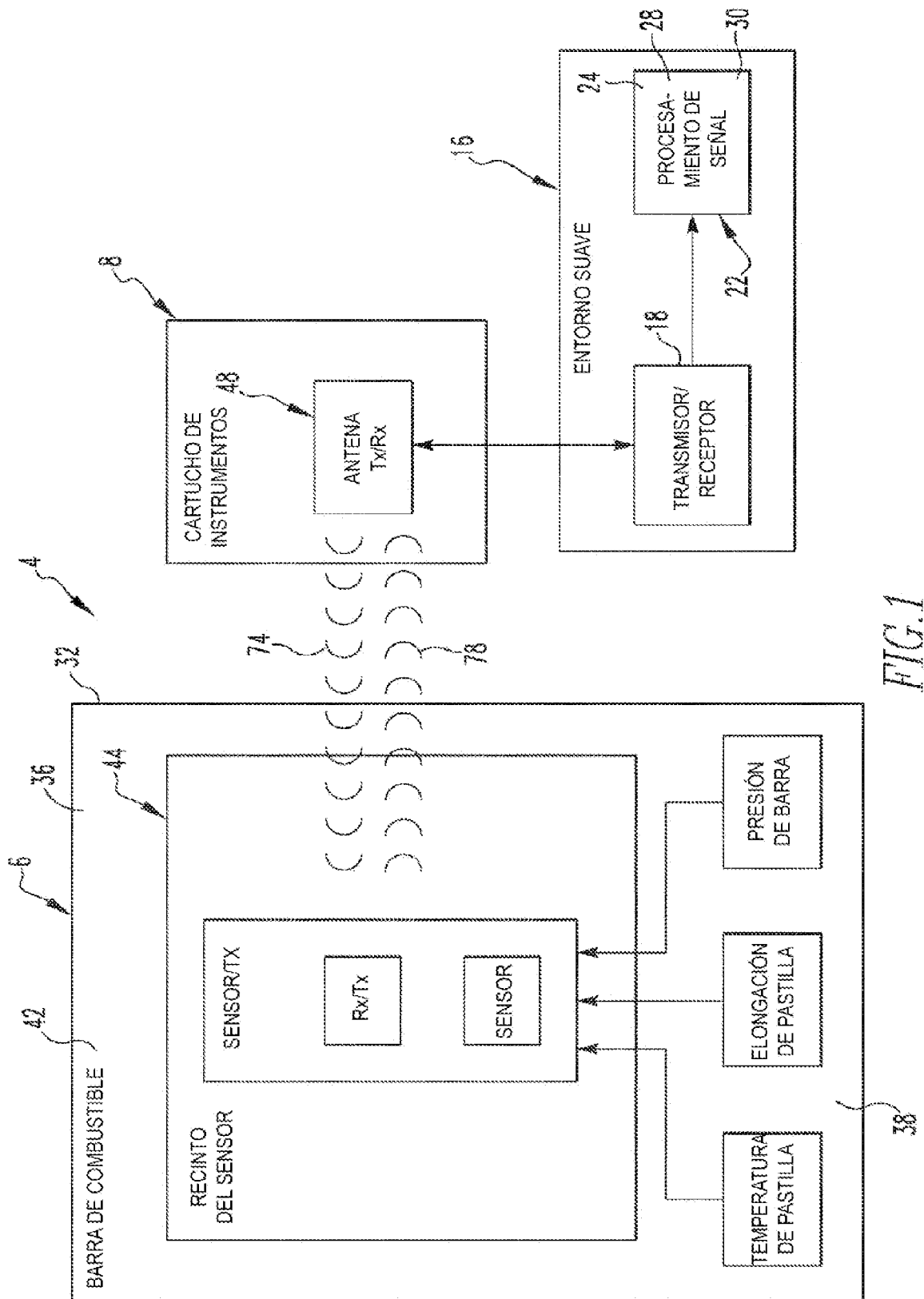


FIG.1

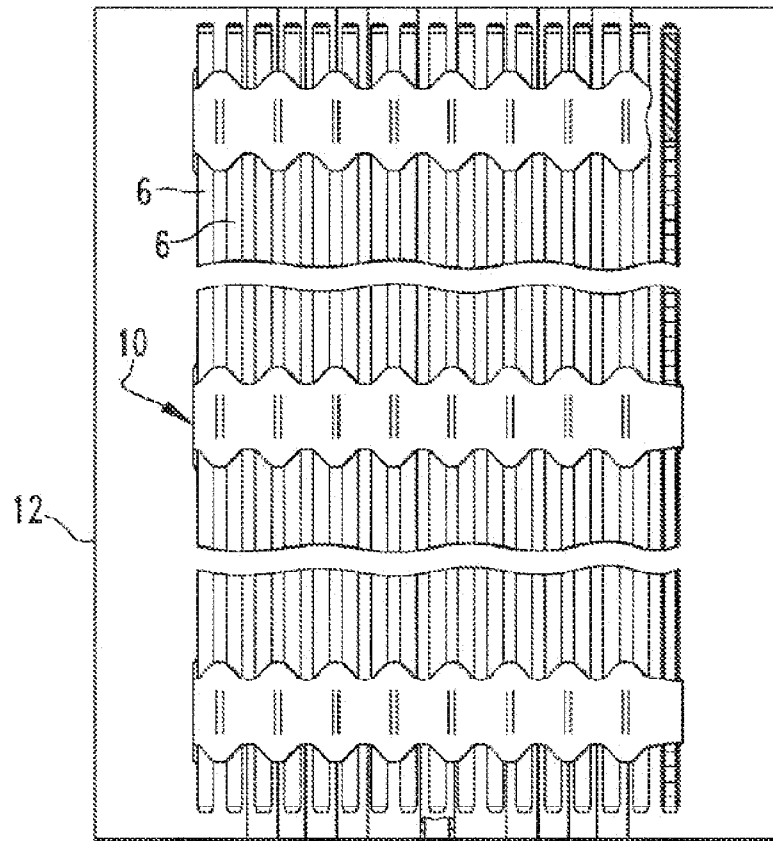


FIG. 2

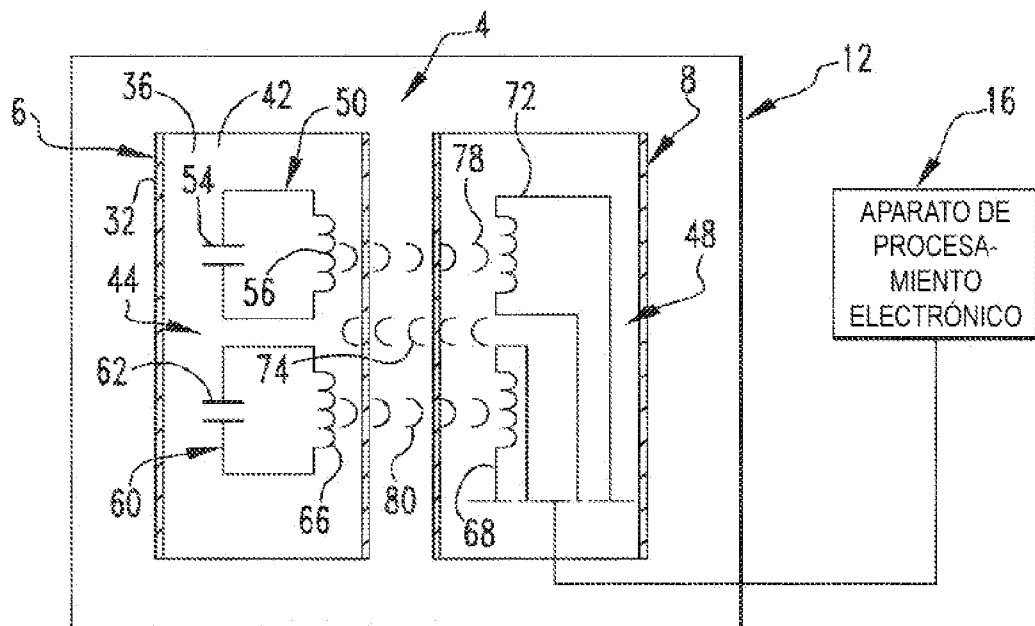
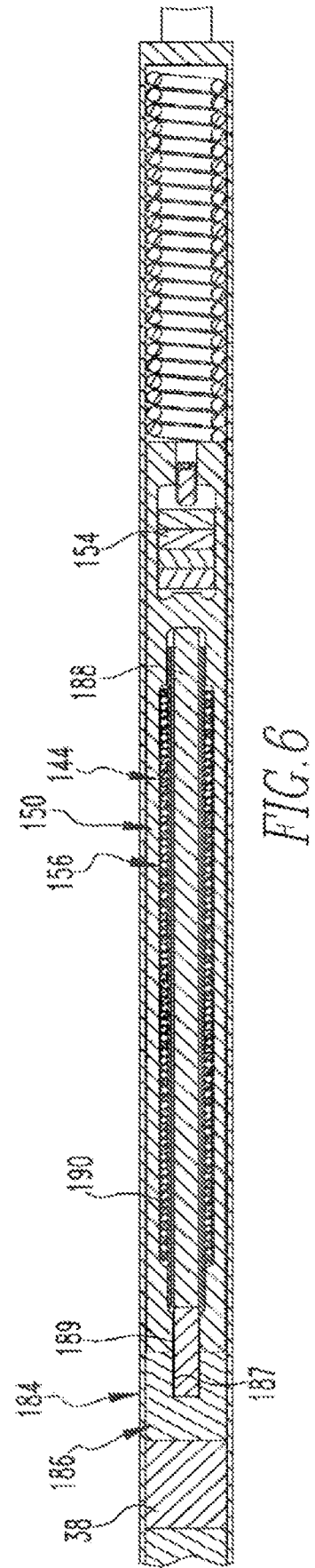
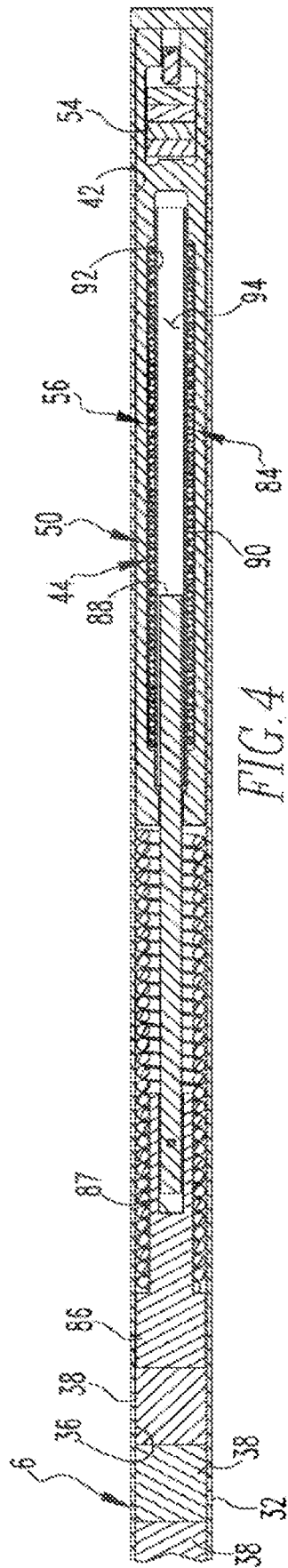


FIG. 3



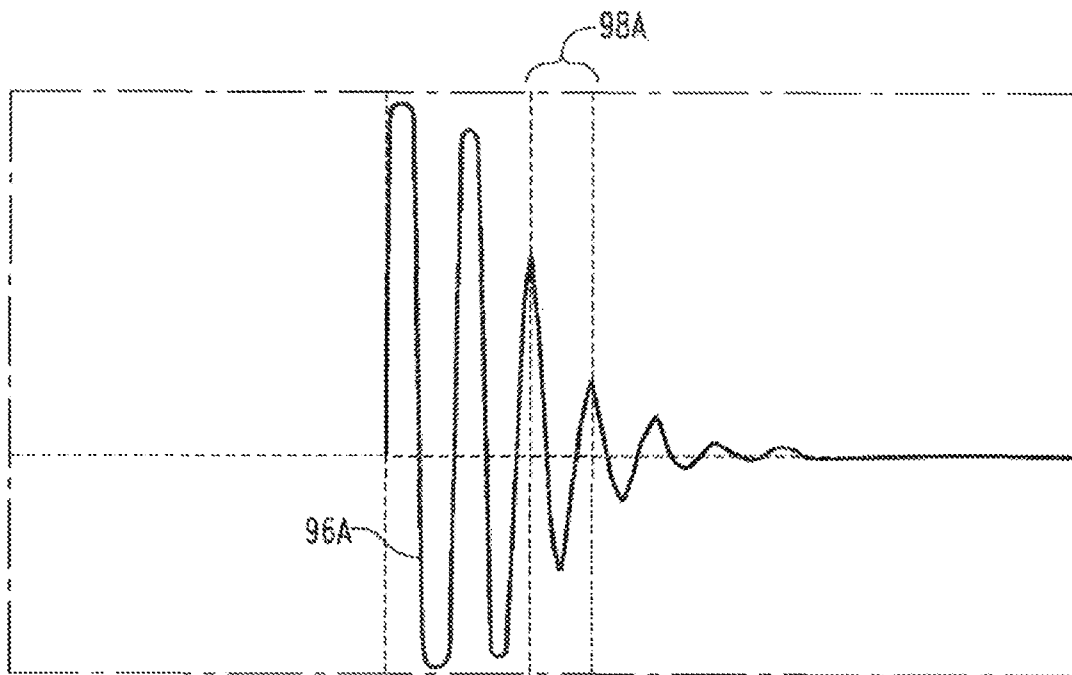


FIG. 5A

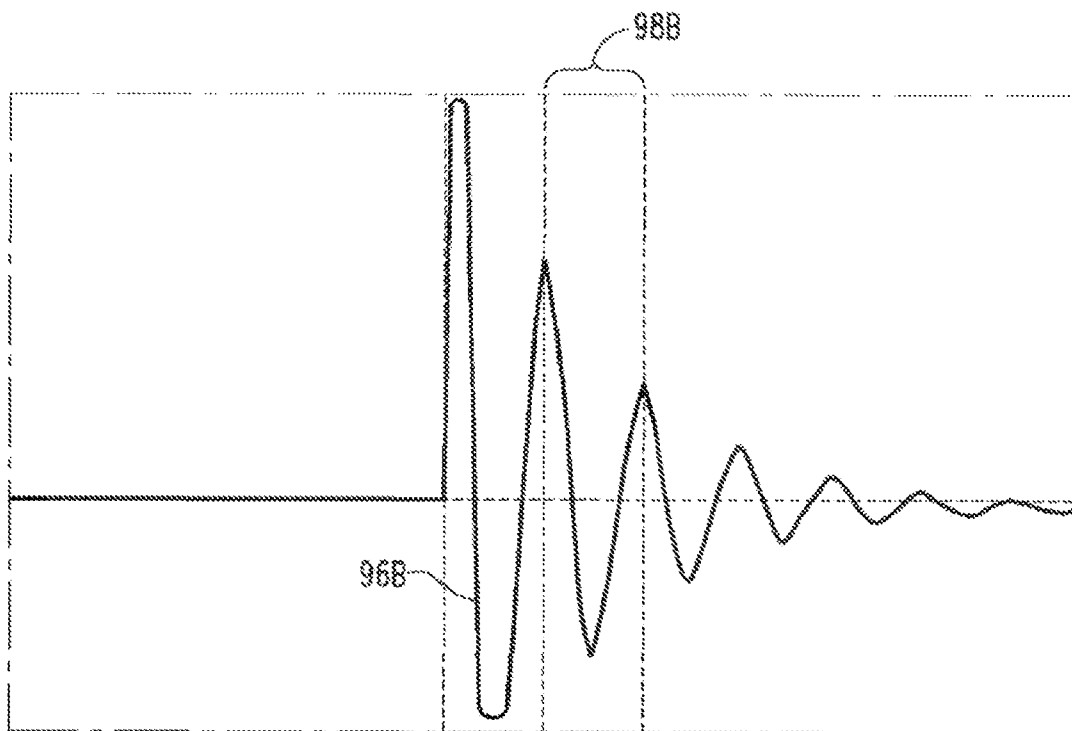


FIG. 5B

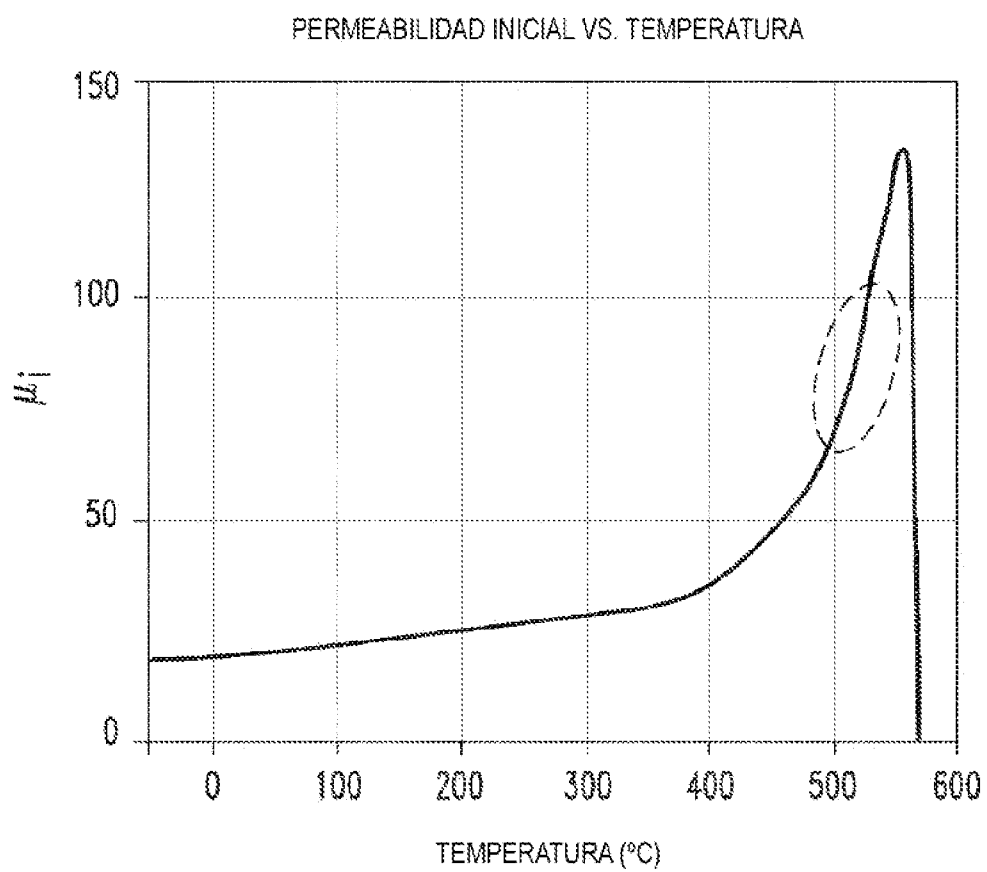


FIG. 7

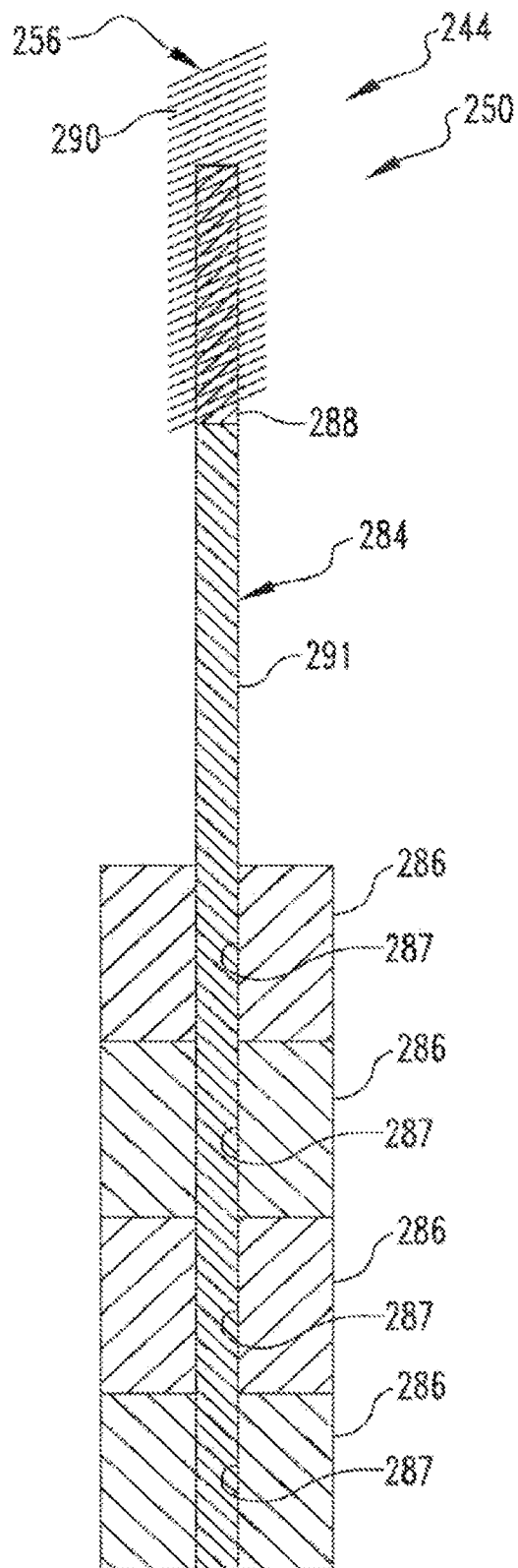
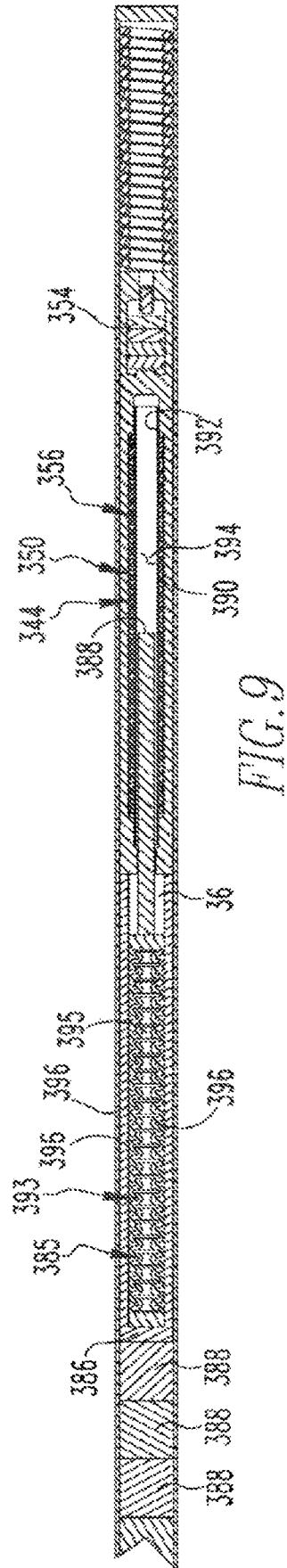


FIG. 8



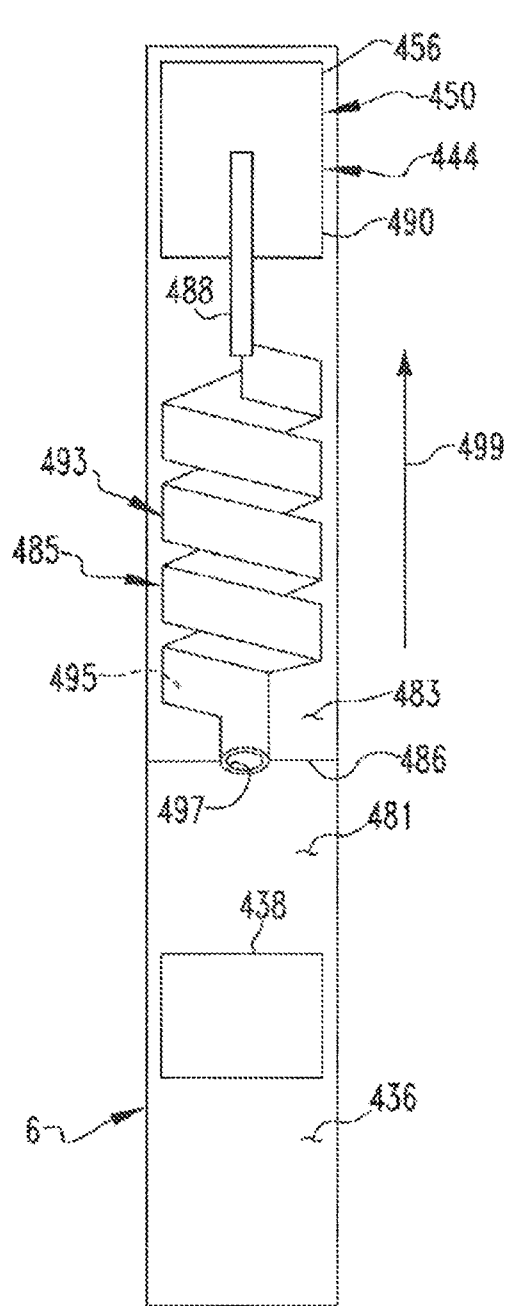


FIG. 10

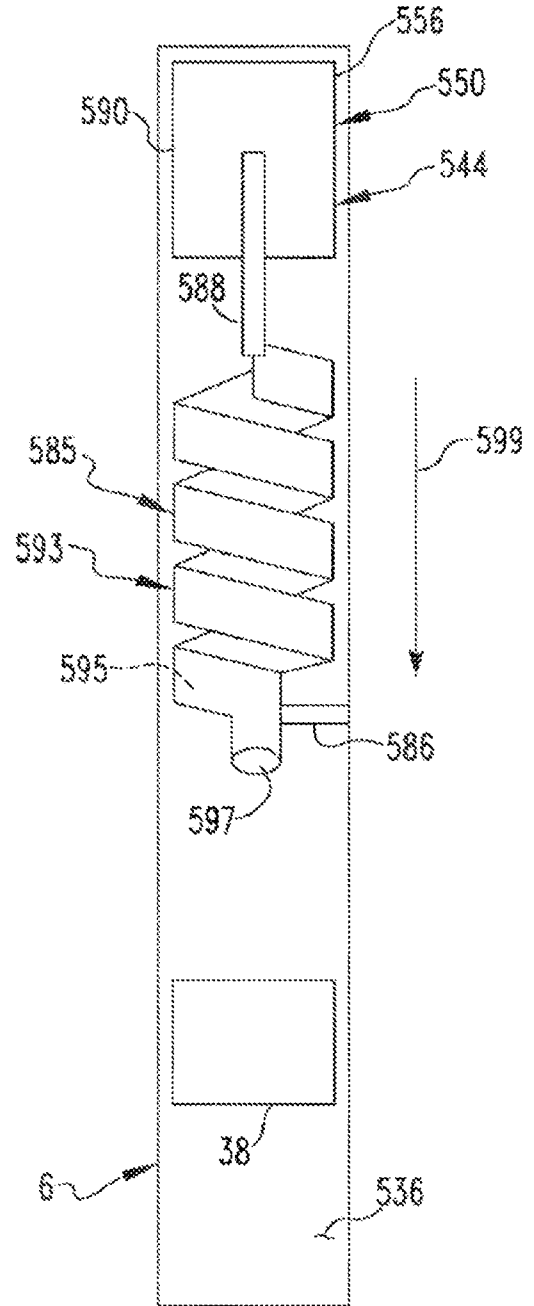


FIG. 11

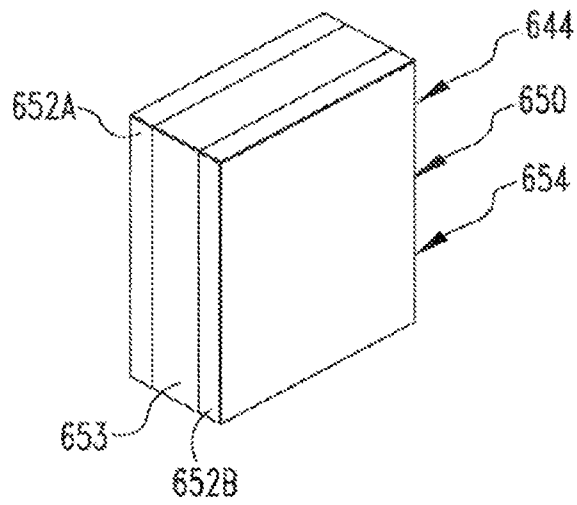


FIG. 12

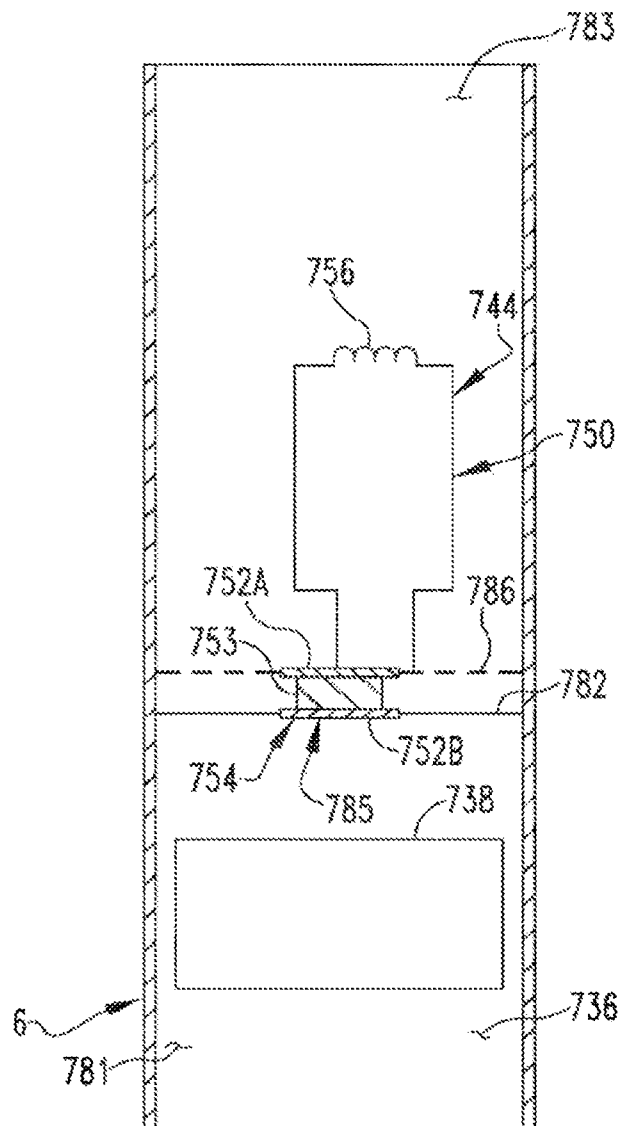


FIG. 13

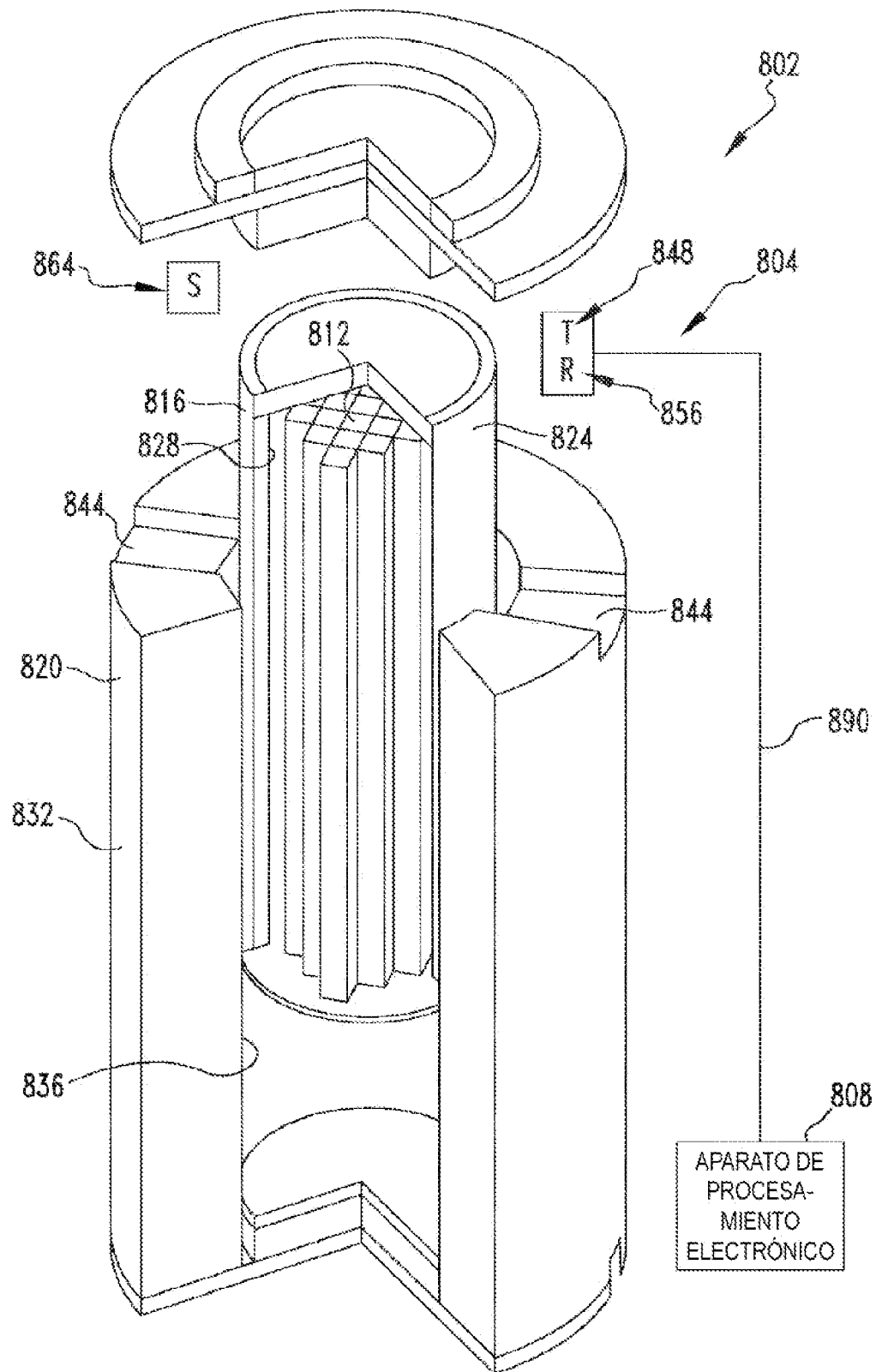
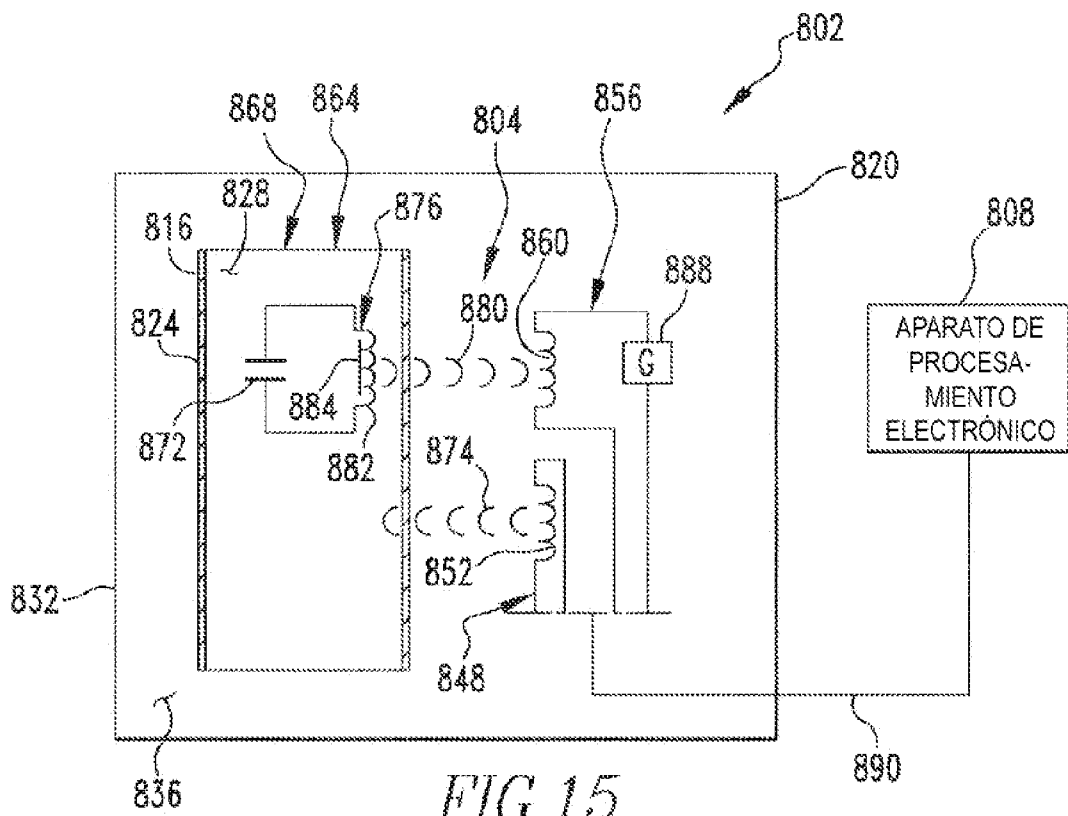


FIG. 14



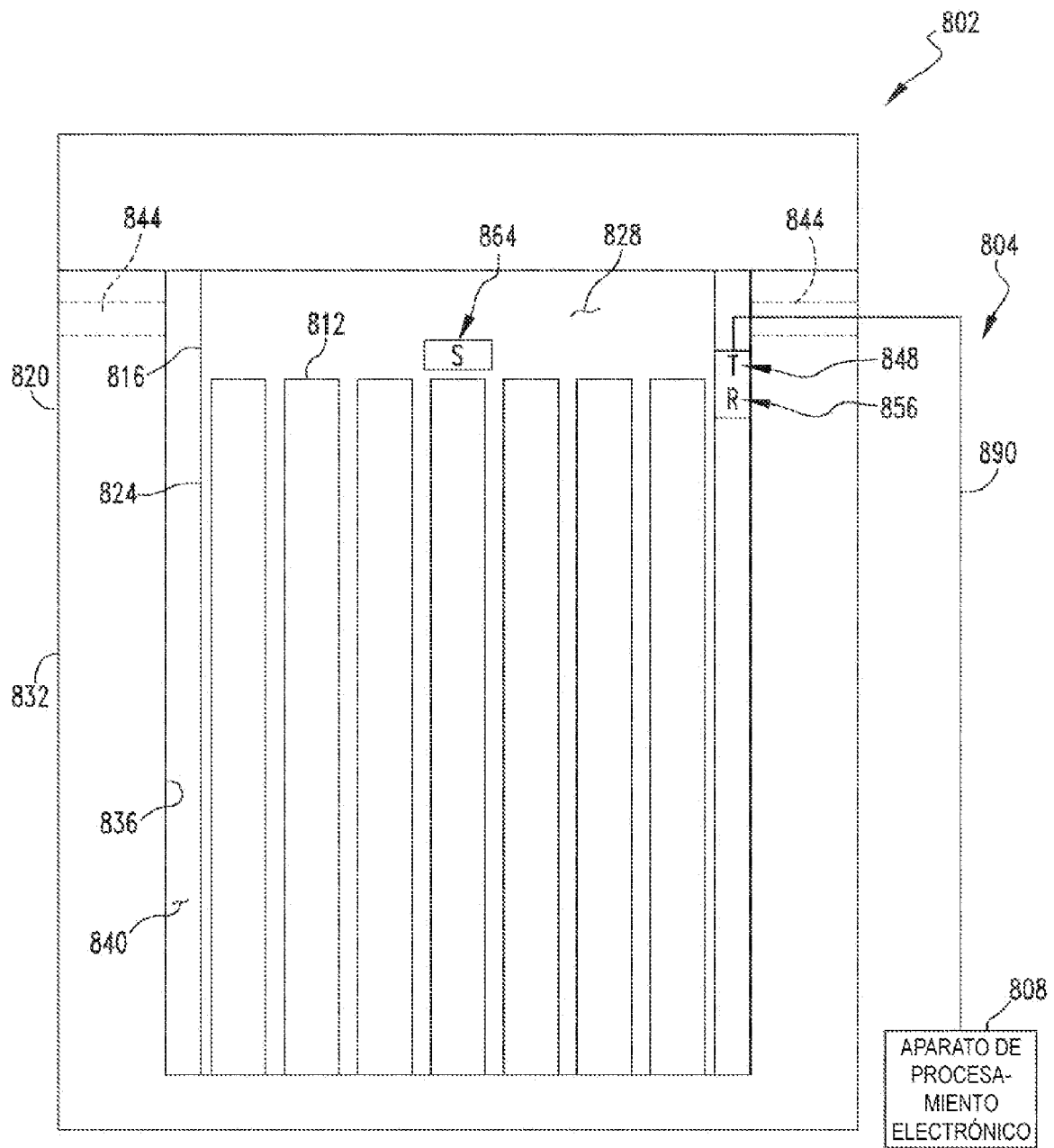
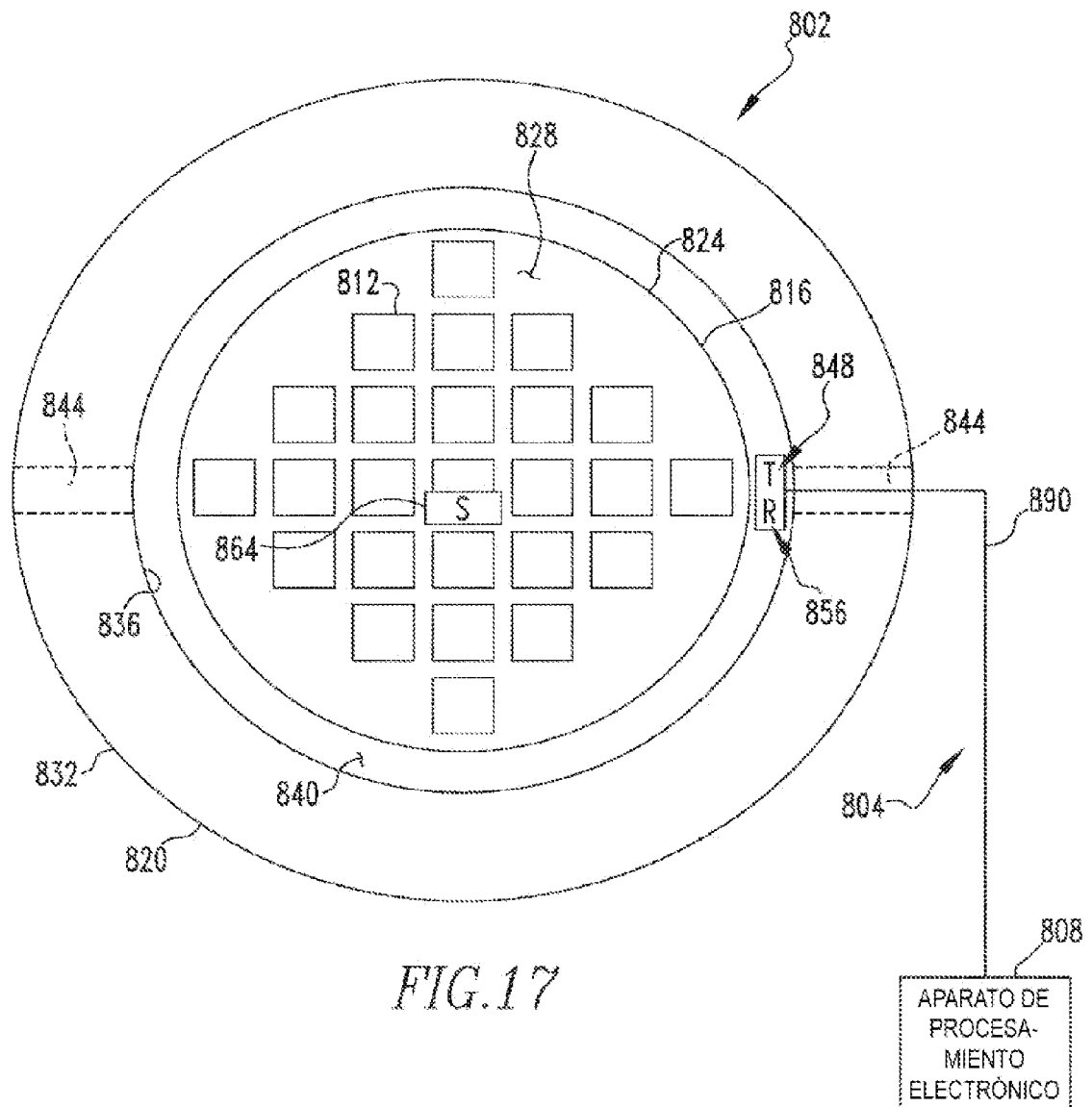


FIG.16



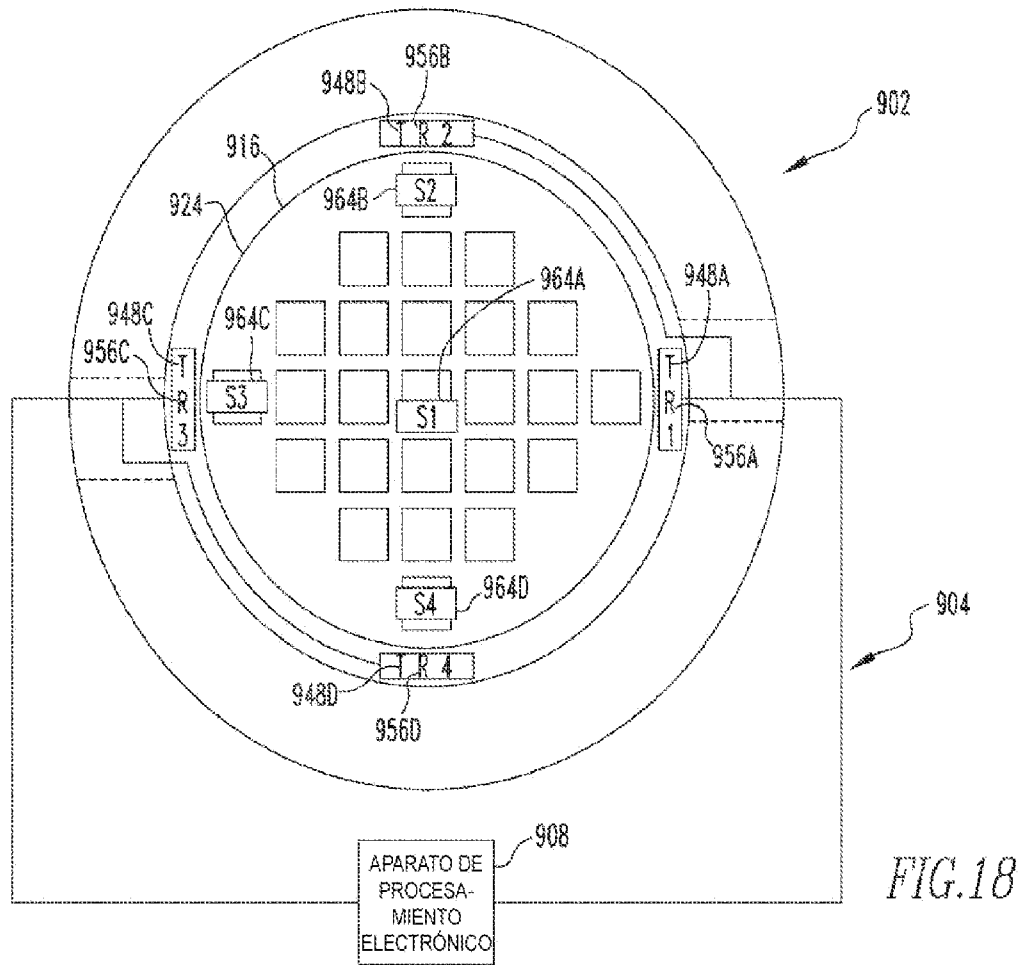


FIG.18

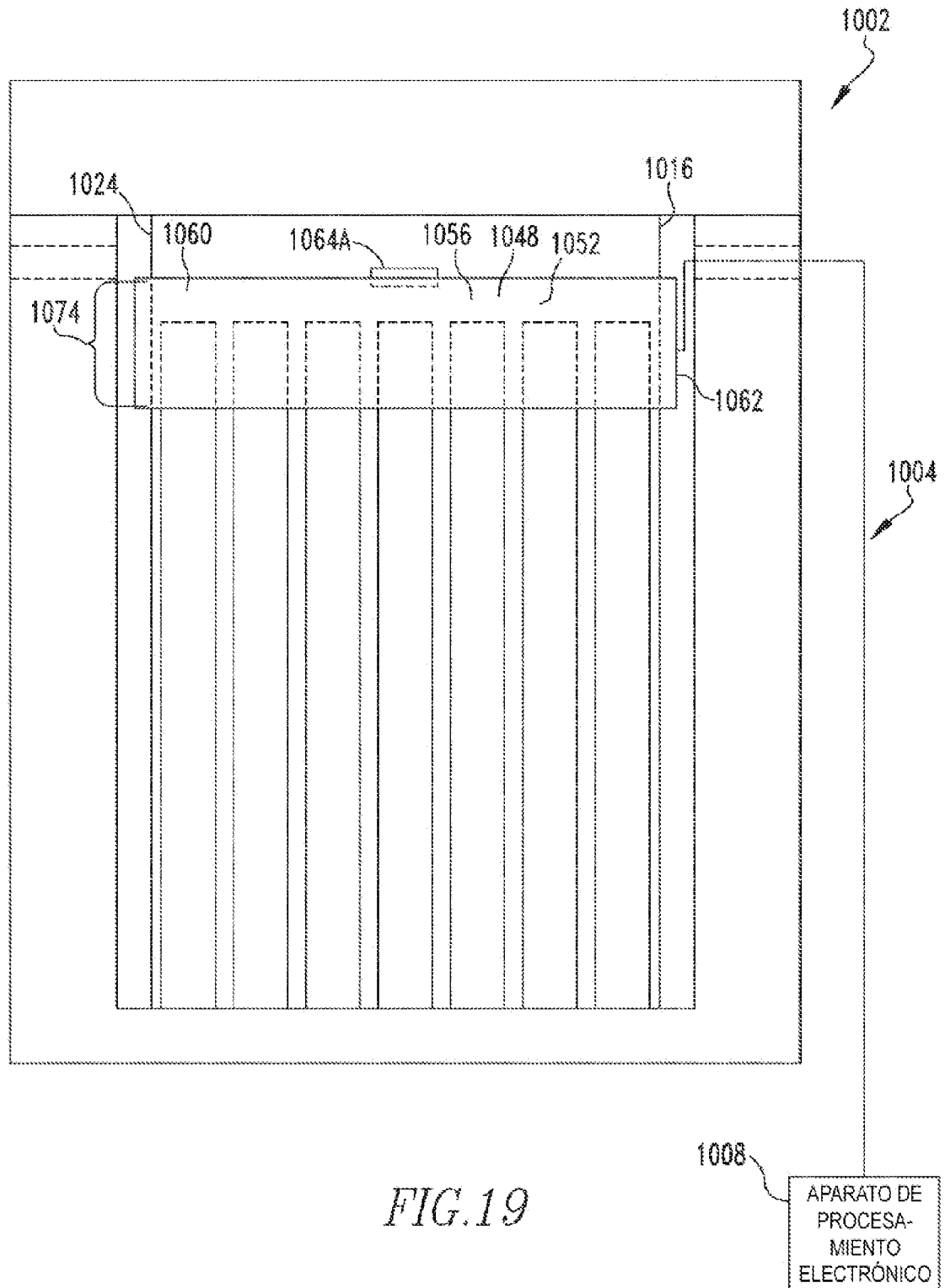


FIG.19

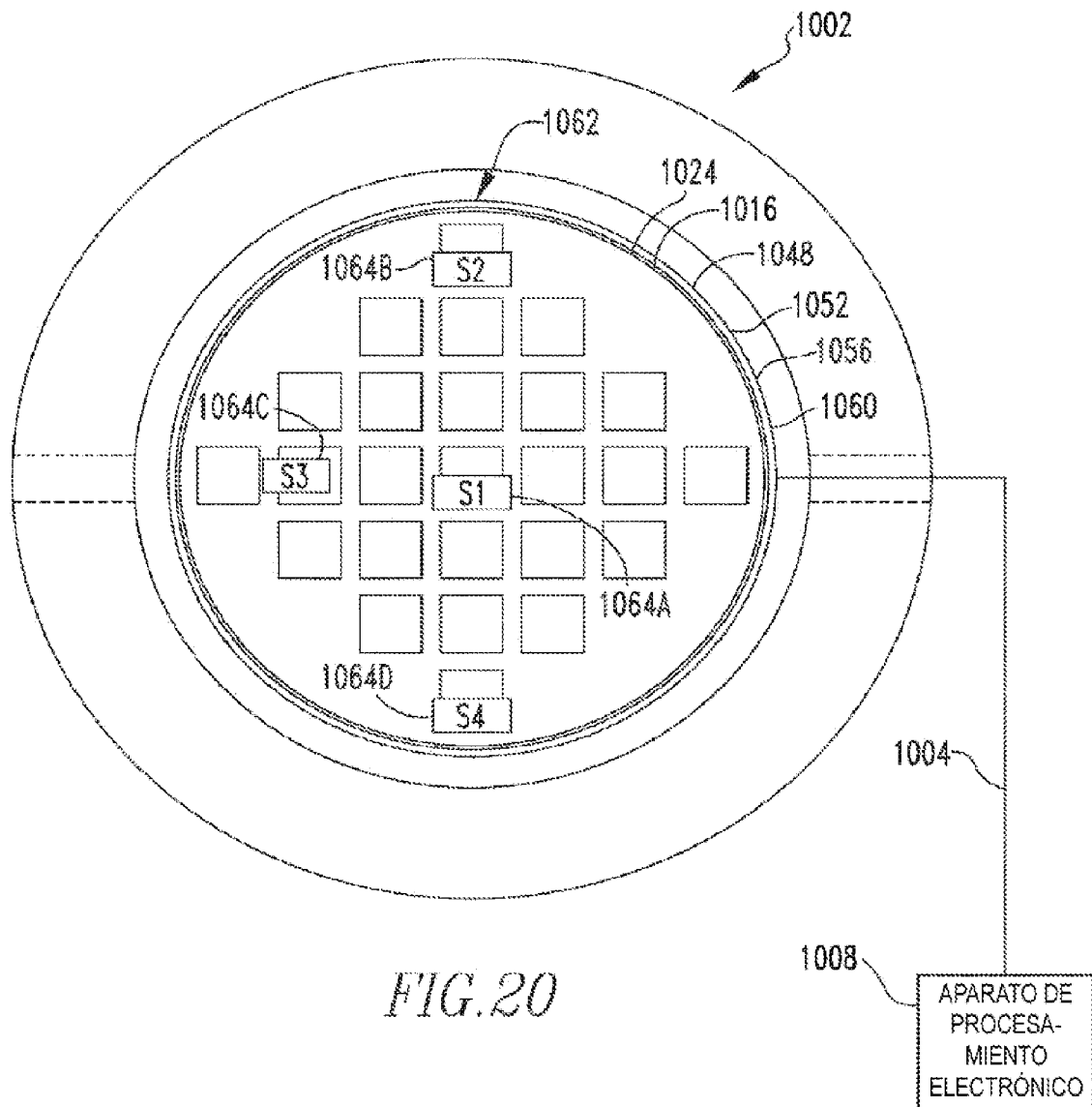


FIG. 20

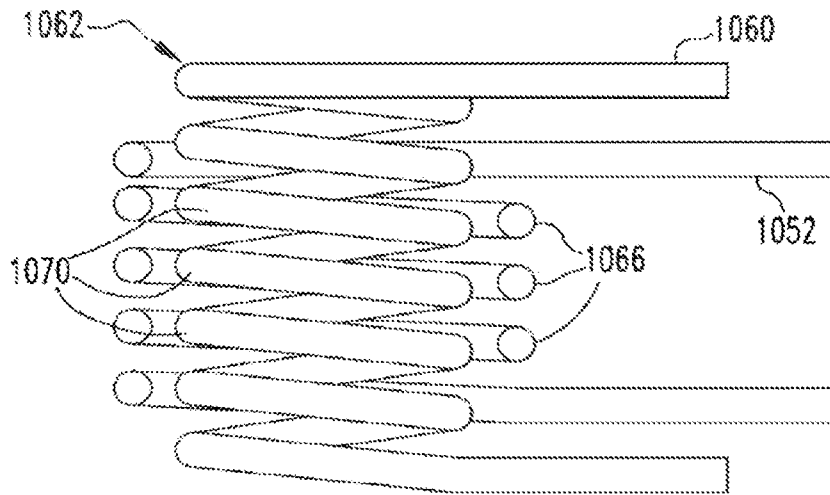


FIG. 21

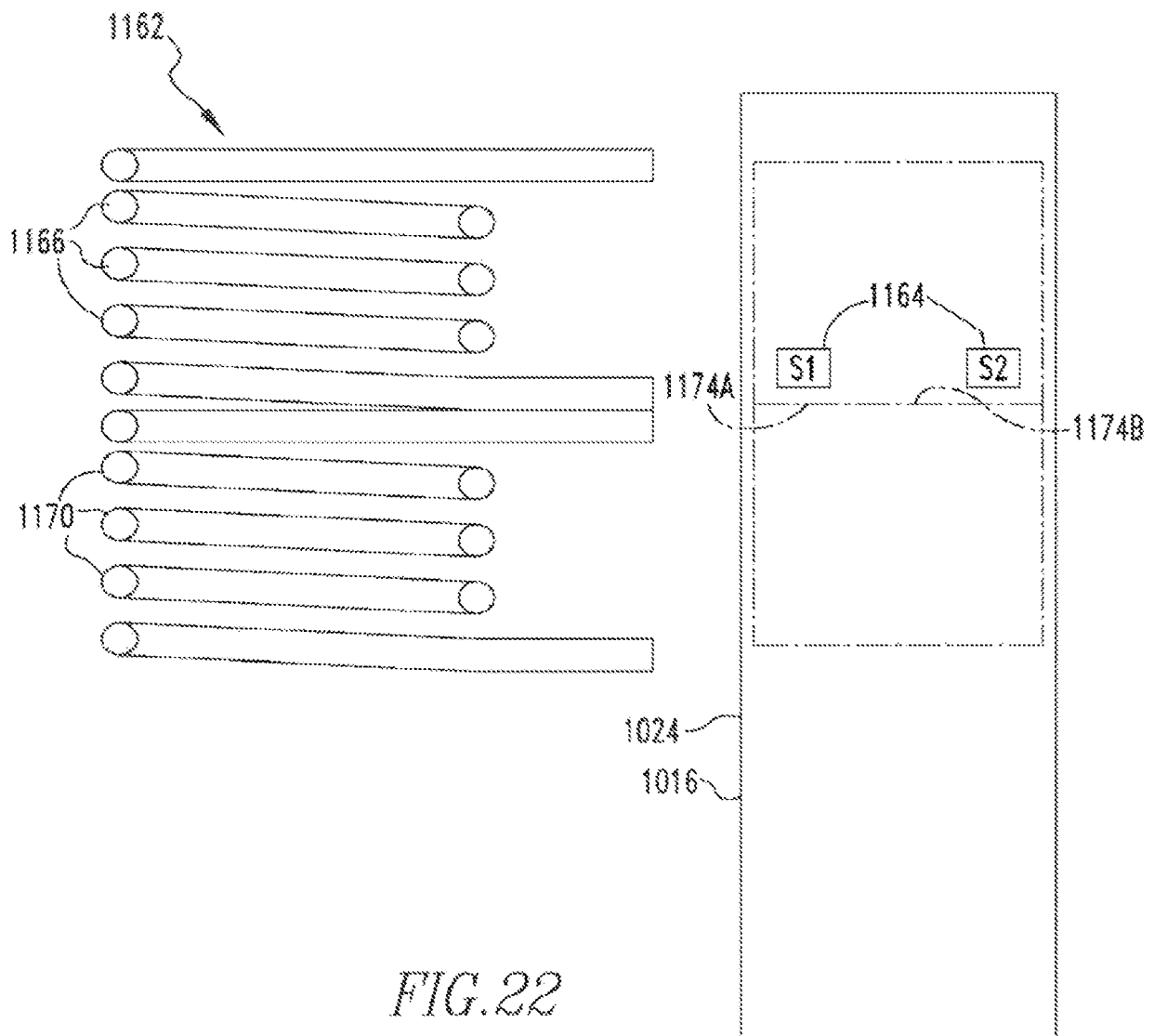


FIG. 22