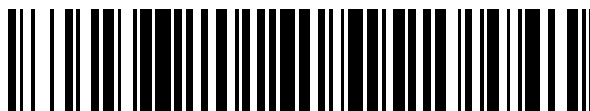


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 589 280**

51 Int. Cl.:

**G01F 23/284** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2013** E 13162152 (6)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.07.2016** EP 2741059

54 Título: **Sistemas y procedimientos para medir remotamente un nivel de líquido usando reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)**

30 Prioridad:

**10.12.2012 US 201213709955**

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

**11.11.2016**

73 Titular/es:

**GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC  
(100.0%)  
3901 Castle Hayne Road  
Wilmington, NC 28401, US**

72 Inventor/es:

**SPLICHAL, WILLIAM FRANCIS;  
DAYAL, YOGESHWAR;  
EISERMANN, PHILIP O.;  
LENTNER, BRUCE J.;  
SAWYER, STEVEN D. y  
GARDNER, ERIC RANKIN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 589 280 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

Sistemas y procedimientos para medir remotamente un nivel de líquido usando reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)

La presente invención se refiere a sistemas y procedimientos para la medición de un nivel de líquido.

5 Convencionalmente, se ha usado la reflectometría en el dominio del tiempo (TDR, del inglés "Time-Domain Reflectometry") para caracterizar y localizar fallos en cables metálicos. Aunque hay sistemas de medición de nivel de agua basados en reflectometría en el dominio del tiempo (TDR), no se ha diseñado ninguno para medir remotamente niveles de agua (por ejemplo, niveles de agua de piscinas de combustible gastado (SFP, del inglés "Spent Fuel Pool")) desde distancias relativamente alejadas mediante la utilización de impulsos y procedimientos de discriminación de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) altamente especializados. Por ejemplo, un sistema de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) convencional utiliza una onda escalonada en lugar de impulsos. Otros enfoques convencionales incluyen técnicas de radar de onda guiada (GWR, del inglés "Guided Wave Radar") que usan tecnología en esta categoría general. Sin embargo, todas las dichas técnicas convencionales requieren dispositivos electrónicos en la proximidad (es decir, relativamente en la cercana proximidad) de la piscina de combustible gastado (SFP) y, por ello, no son adecuados para la medición del nivel de agua en entornos post-accidente hostiles que podrían incluir alta radiación, altas temperaturas, alta actividad sísmica, fuego, explosiones, y caída de residuos.

El documento US 3.474.337 se refiere a un sistema para la detección de niveles y características eléctricas de materiales fluidos.

20 En un aspecto, se proporciona un sistema para la medición de un nivel de líquido de acuerdo con la reivindicación 1. En otro aspecto, se proporciona un procedimiento de medición de un nivel de líquido de acuerdo con la reivindicación 11.

25 Diversas realizaciones del presente documento se refieren a un sistema de TDR de pulsos remotos para la medición de un nivel de agua (o nivel de cualquier líquido) en un tanque (por ejemplo, piscina de combustible gastado) en un entorno post-accidente usando equipos electrónicos localizados remotamente (hasta 305 m o más) desde la sonda. No se localiza ningún circuito eléctrico o electrónico, que podría ser susceptible a las condiciones del hostil entorno post-accidente, en o cerca de la sonda.

30 El chasis del equipo electrónico de TDR de pulsos localizado remotamente contiene circuitos para la generación de un pulso incidente y la recepción de pulsos reflejados. El circuito de generación de pulsos se diseña para producir un pulso incidente corto con rápidos tiempos de elevación y caída y suficiente amplitud para la transmisión sobre el largo cable coaxial (hasta 305 m o más) hasta la sonda y la producción de pulsos reflejados desde la sonda con amplitud suficiente para trasladarse de vuelta sobre el largo cable coaxial de la línea de transmisión y ser medidos por el circuito receptor. El circuito receptor de pulsos se diseña para recibir e identificar/discriminar los pulsos reflejados producidos a partir de dos discontinuidades de impedancia específicas en la sonda, y para medir el tiempo entre ellos. Los pulsos reflejados específicos que se detectan proceden de las dos discontinuidades de impedancia principales siguientes.

35 El primer pulso reflejado (Pulso n.º 1) procede de la discontinuidad de impedancia entre el cable de la línea de transmisión coaxial de baja impedancia y un cable de calibración de alta impedancia. Esto da como resultado un pulso reflejado con polaridad positiva.

40 El segundo pulso reflejado (Pulso n.º 2) procede de la discontinuidad de impedancia entre la interfaz aire/agua en la sonda. La constante dieléctrica del aire es más baja que la del agua, de modo que este pulso reflejado desde una impedancia alta a baja produce un pulso reflejado con polaridad negativa.

45 El primer pulso reflejado proporciona una referencia para la medición del nivel de agua dado que tiene lugar en una localización fija, mientras que el segundo pulso reflejado tiene lugar en la interfaz del nivel de agua y cambia cuando cambia el nivel de agua. Podrían añadirse también deliberadamente otras discontinuidades de impedancia en localizaciones específicas para establecer una localización de referencia alternativa para la medición del nivel de agua.

50 En el equipo electrónico del TDR de pulsos, el Pulso n.º 1 reflejado de la discontinuidad de impedancia se detecta automáticamente tomando nota de cuándo la amplitud del flanco ascendente del pulso positivo supera un ajuste discriminador positivo preestablecido fijo. El Pulso n.º 2 reflejado de la discontinuidad de impedancia se detecta automáticamente tomando nota de cuándo la amplitud del flanco de inicio del pulso negativo cae por debajo de un ajuste discriminador negativo preestablecido fijo. Se inicia una rampa de tensión automáticamente cuando se detecta el Pulso n.º 1 y se detiene cuando se detecta el Pulso n.º 2, de modo que la rampa de tensión es una medida del intervalo de tiempo entre los pulsos. El intervalo de tiempo entre pulsos reflejados se convierte a una distancia basándose en la calibración inicial del sistema. Para minimizar el tiempo de cálculo y el volumen de datos analizados, el sistema de medición se inicializa para reconocer solamente los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados de

grandes discontinuidades de impedancia. El tiempo que utiliza el pulso inicial para propagarse a lo largo de la línea de transmisión del cable coaxial hasta la sonda es bloqueado en la electrónica como "tiempo muerto". Este "tiempo muerto" depende de la longitud del cable y se determina después de que se instale el sistema y se establezcan las longitudes de la línea de transmisión del cable coaxial.

- 5 Basar la medición del nivel de agua en el tiempo entre dos Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados de discontinuidades de impedancia evita la imprecisión debido a cambios en la velocidad de propagación del pulso en los 30,5-305 m o más de línea de transmisión de cable coaxial. Dichos cambios pueden tener lugar debido a cambios en el material dieléctrico entre el conductor del centro del cable y la pantalla debido a interferencias cruzadas, oxidación, cambios de temperatura, etc. en un entorno post-accidente. Cualquier pequeño cambio en la velocidad podría provocar un error significativo en el nivel del agua debido a la larga longitud (por ejemplo 305 m) del cable. El uso de la tecnología TDR de pulsos descrita en la presente divulgación no está sometido a este error de degradación del cable.

10 El uso del pulso incidente corto con el sistema TDR de pulsos proporciona menor distorsión del pulso reflejado (comparado con el incidente) que un sistema TDR de onda escalonada. Esto es debido a que el pulso corto contiene principalmente altas frecuencias, y dado que estas frecuencias se atenúan uniformemente cuando el pulso se propaga a lo largo de la larga línea de transmisión del cable coaxial, los pulsos reflejados en la discontinuidad de impedancia tienen aproximadamente la misma forma (y específicamente la misma agudeza distintiva del tiempo de elevación del flanco ascendente) que el pulso incidente. Por el contrario, la onda escalonada contiene una cantidad significativa de bajas frecuencias que se atenúan menos que las altas frecuencias en la onda escalonada. Así para la misma ganancia del sistema necesaria para supervisar toda la onda escalonada, las bajas frecuencias dominan, y la rápida elevación del flanco ascendente de la onda escalonada incidente se distorsiona hacia una elevación más lenta para la onda escalonada reflejada. De modo que la relación señal a ruido de un sistema TDR de pulsos descrita en la presente divulgación es mayor que la de un sistema TDR de la onda escalonada para la medición del nivel de agua.

15 La sonda de nivel de líquido se diseña de modo que la interfaz del cable de calibración en la parte superior de la sonda tiene una impedancia característica (~130 ohmios) significativamente más alta que la línea de transmisión del cable coaxial (por ejemplo 50 o 75 ohmios) para crear un pulso (Pulso n.º 1) reflejado en la discontinuidad de impedancia de amplitud positiva con amplitud suficientemente alta. Dado que este pulso reflejado tiene lugar en una localización fija, su detección proporciona un punto de referencia exacta para la medición del nivel de agua.

20 La sonda de nivel de líquido se diseña de modo que la elevada impedancia de sonda con el dieléctrico aire (130 ohmios) es significativamente más alta que la baja impedancia de sonda con el dieléctrico agua (~15 ohmios a temperatura ambiente), y esto produce un pulso negativo (Pulso n.º 2) de amplitud significativamente grande en la interfaz aire/agua de la sonda. Dado que el pulso reflejado en la discontinuidad de impedancia tiene lugar en el nivel del agua, su detección con relación al pulso positivo proporciona una medición exacta del nivel de líquido desde el punto de referencia.

25 Se usa una longitud relativamente corta (por ejemplo 1,83 m) de cable coaxial de calibración para conectar la parte superior de la sonda y la línea de transmisión del cable coaxial (por ejemplo, 305 m), para proporcionar una localización de referencia alternativa para la medición del nivel de agua. El cable de calibración se elige para que tenga la misma impedancia que la parte superior de la sonda (~130 ohmios). Esta disposición con el cable de calibración alarga efectivamente la distancia desde la parte superior de la sonda al nivel de agua desde el punto de vista de los tiempos del pulso, dado que permite que tenga lugar un primer Pulso n.º 1 reflejado en la discontinuidad de impedancia en la interfaz entre el cable de calibración y los 305 m de cable y no proporciona un pulso en la discontinuidad de impedancia en la parte superior de la sonda. Esta disposición proporciona más tiempo entre los pulsos positivos y negativos para una medición del nivel de agua más precisa. El uso de un cable de calibración corto puede facilitar también el movimiento vertical y calibración de la sonda, dado que la larga línea de transmisión del cable coaxial puede fijarse en un conducto y no tener capacidad para moverse fácilmente. El uso de esta configuración requiere un cable de calibración cuya constante dieléctrica permanezca constante entre calibraciones y durante condiciones de accidente.

30 En una variante no de acuerdo con la invención reivindicada, el cable de calibración puede usarse para conectar la parte superior de la sonda y la línea de transmisión de cable coaxial incluso para el caso en el que el punto de referencia para el Pulso n.º 1 sea la parte superior de la sonda. Para este caso el cable de calibración tendría la misma impedancia característica baja que la larga línea de transmisión de cable coaxial (50 o 75 ohmios) de modo que no haya discontinuidad de impedancias en el punto en el que el largo cable coaxial se une con el cable de calibración corto y el cable de calibración sería simplemente una extensión del largo cable coaxial. Dicha disposición proporcionaría la capacidad para facilitar la calibración pero el pulso n.º 1 reflejado en la discontinuidad de impedancia aún tendría lugar en la parte superior de la sonda.

35 La sonda se diseña para una configuración de línea de transmisión coaxial con una barra interior dentro de un tubo exterior, y la longitud de la sonda es igual a o mayor que la longitud del nivel de agua que ha de medirse (~10,7 m para la aplicación en la SFP). Para asegurar que las características de impedancia se mantienen a todo lo largo de la longitud de la sonda, el diseño proporciona delgados separadores de aislamiento localizados cada 1,52 m entre

- 5 los electrodos interior y exterior que aseguran que la geometría del espacio (o concetricidad) entre el interior de la sonda y los electrodos exteriores permanece constante a todo lo largo de la longitud de la sonda. La parte superior de la sonda tiene un conector de cabeza coaxial que se adapta al cable coaxial, y diseñado con una pequeña longitud axial (por ejemplo, unas pocas pulgadas), de modo que no introduzca un pulso reflejado en la discontinuidad de impedancia que interfiera, y proporcione un sellado efectivo entre el interior y exterior de la sonda. La parte inferior de la sonda tiene una placa que se suelda a los electrodos central y exterior que proporciona un diseño de sonda sólido, y el pulso de discontinuidad de impedancia desde el fondo no interfiere con el nivel de medición de agua dado que tiene lugar posteriormente al Pulso n.º 2 en la discontinuidad de impedancia desde la interfaz aire/agua de la sonda.
- 10 Los electrodos de la sonda se fabrican con metales conductores (tales como acero inoxidable) que propagan las señales TDR de pulsos de modo efectivo y que también realizan sondas robustas capaces de operar en un entorno hostil de radiación, temperatura, sísmico y de calidad del agua post-accidente. Pueden ponerse sobre los electrodos si es necesario recubrimientos conductores que usen materiales tales como oro. Los separadores de aislamiento se realizan de materiales que pueden fabricarse para satisfacer el diseño de los separadores y para soportar una
- 15 elevada radiación, temperatura y entorno de calidad de agua (tal como circonio, cerámica, cuarzo) dentro de la sonda. El aislante entre las conexiones del electrodo en el conector de la parte superior de la sonda se realiza de un material que pueda fabricarse para cumplir con el diseño de conector y para soportar un entorno de alta radiación y temperatura en la sonda por encima del agua de la SFP.
- 20 El tubo exterior de la sonda tiene orificios en él a todo lo largo de la longitud de la sonda y en la parte inferior para permitir que el agua se mueva libremente en la sonda y para asegurar que el nivel de agua en el interior de la sonda es el mismo que el nivel de agua en el exterior de la sonda. Estos separadores de aislamiento se diseñan también para permitir que el agua se mueva libremente a través y alrededor de ellos.
- 25 La sonda puede instalarse en la SFP usando un diseño único de rótula en el que la bola se suelda a la sonda y el asiento es integral con la placa que se suelda al borde del revestimiento de la SFP o se ancla a la Plataforma de Reabastecimiento. La sonda cuelga como un péndulo con la bola afianzada en el asiento. En un evento sísmico la sonda oscilaría como un péndulo amortiguado por el agua de la SFP y limitada por la pared de la SFP. Las bajas frecuencias naturales reducen las fuerzas sísmicas sobre la sonda y simplifican su calificación con el espectro sísmico especificado. El conjunto de sonda montado se equipa con una cubierta para protegerlo durante el ambiente normal y post-accidente. La cubierta puede alojar también el cable de calibración y proporcionar protección para el
- 30 cable de calibración y el conector de la sonda.
- 35 La sonda y su montaje en la SFP se diseñan para permitir una calibración simple de la sonda in situ. Esta calibración in situ puede llevarse a cabo simplemente elevando y descendiendo la sonda verticalmente en la SFP por medio de un anillo de elevación (o gancho) fijado a la parte superior de la sonda, y midiendo el cambio correspondiente en el nivel del agua con relación a la parte superior de la sonda. La sonda puede moverse verticalmente en una cantidad igual a la longitud del cable de calibración (~1,83 m), y esto puede ser todo lo que es necesario para la calibración de la sonda. No se requiere la retirada de la sonda de la SFP, o medios complicados de ascenso y descenso del agua en la sonda, para la calibración de la sonda.
- 40 Las diversas características y ventajas de las realizaciones no limitativas del presente documento pueden hacerse más evidentes tras la revisión de la descripción detallada, en conjunto con los dibujos adjuntos. Los dibujos adjuntos se proporcionan meramente con finalidades ilustrativas y no deberían interpretarse como limitación del alcance de las reivindicaciones. Los dibujos adjuntos no han de ser considerados como dibujados a escala a menos que se haga notar explícitamente. Por razones de claridad, pueden haberse exagerado diversas dimensiones de los dibujos.
- 45 La FIG. 1A es una vista esquemática de un sistema para la medición de un nivel de líquido de acuerdo con una realización no limitativa.
- La FIG. 1B es una vista esquemática de otro sistema para la medición de un nivel de líquido de acuerdo con una realización no limitativa.
- La FIG. 1C es una vista en perspectiva de una sonda que puede usarse en el sistema de la FIG. 1A o en el sistema de la FIG. 1B.
- 50 La FIG. 2 es un diagrama de bloques del equipo electrónico que puede usarse en un sistema para la medición del nivel de líquido de acuerdo con una realización no limitativa.
- La FIG. 3A es una vista en perspectiva de una disposición de montaje para un sistema para la medición de un nivel de líquido de acuerdo con una realización no limitativa.
- 55 La FIG. 3B es una vista en perspectiva de otra disposición de montaje para un sistema para la medición de un nivel de líquido de acuerdo con una realización no limitativa.
- La FIG. 4A es una vista esquemática del sistema para la medición de un nivel de líquido en un ensayo de prueba de

concepto de acuerdo con una realización no limitativa.

La FIG. 4B es un gráfico de los resultados del ensayo de prueba de concepto realizado con el sistema de la FIG. 4A.

La FIG. 5A es una vista esquemática del sistema para la medición de un nivel de líquido en un ensayo del prototipo de desarrollo conceptual de acuerdo con una realización no limitativa.

- 5 La FIG. 5B es un gráfico de los resultados del ensayo de prototipo de desarrollo conceptual llevado a cabo con el sistema de la FIG. 5A.

10 Debería entenderse que cuando un elemento o capa se refiere como que está "sobre", "conectado a", "acoplado a", o "cubriendo" otro elemento o capa, puede estar directamente sobre, conectado a, acoplado a o cubriendo el otro elemento o capa o pueden estar presentes elementos o capas intermedias. Por el contrario, cuando un elemento se refiere como que está "directamente sobre", "directamente conectado a", o "directamente acoplado a" otro elemento o capa, no hay elementos o capas intermedias presentes. Números iguales se refieren a elementos iguales a todo lo largo de la memoria. Tal como se usa en el presente documento, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los artículos listados asociados.

15 Debería entenderse que, aunque los términos primero, segundo, tercero, etc. pueden usarse en el presente documento para describir diversos elementos, componentes, zonas, capas y/o secciones, estos elementos, componentes, zonas, capas y/o secciones no deberían estar limitados por esos términos. Estos términos se usan solamente para distinguir un elemento, componente, zona, capa o sección de otra zona, capa o sección. Por ello, un primer elemento, componente, zona, capa o sección explicado a continuación podría denominarse como un segundo elemento, componente, zona, capa o sección sin apartarse de las enseñanzas de las realizaciones de ejemplo.

20 Los términos relativos especialmente (por ejemplo, "debajo de", "debajo", "inferior", "encima", "superior" y similares) pueden usarse en el presente documento por facilidad de descripción para describir un elemento o relación de características con otro(s) elemento(s) o característica(s) tal como se ilustra en las figuras. Debería entenderse que los términos espacialmente relativos se pretende que engloben diferentes orientaciones del dispositivo en uso u operación además de la orientación representada en las figuras. Por ejemplo, si el dispositivo en las figuras se vuelca, los elementos descritos como "debajo" o "debajo de" otros elementos o características estarían entonces orientados "encima" de los otros elementos o características. Por ello, el término "debajo" pueden englobar tanto una orientación de por encima como por debajo. El dispositivo puede orientarse en otra forma (girarse 90 grados o en otras orientaciones) y los descriptores espacialmente relativos usados en el presente documento interpretarse en consecuencia.

30 La terminología usada en el presente documento tiene la finalidad de describir varias realizaciones solamente y no se pretende que sea limitativa de las realizaciones de ejemplo. Tal como se usa en el presente documento, las formas singulares "un", "una", y "el", "la" se pretende que incluyan asimismo las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá adicionalmente que los términos "incluye", "incluyendo", "comprende" y/o "comprendiendo", cuando se usan en la presente memoria, especifican la presencia de las características, enteros, etapas, orientaciones, elementos y/o componentes establecidos, pero no presuponen la presencia o adición de una o más de otras características, enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

40 Las realizaciones de ejemplo se describen en el presente documento con referencia a ilustraciones de sección transversal que son ilustraciones esquemáticas de realizaciones idealizadas (y estructuras intermedias) de las realizaciones de ejemplo. Como tales, han de esperarse variaciones respecto a las formas de las ilustraciones como resultado, por ejemplo, de las técnicas de fabricación y/o tolerancias. Por ello, las realizaciones de ejemplo no deberían interpretarse como limitadas a las formas de las zonas ilustradas en el presente documento sino que han de incluir desviaciones en formas que sean el resultado, por ejemplo, de la fabricación. Por ejemplo, una zona implantada e ilustrada como un rectángulo tendrá, típicamente, características redondeadas o curvadas y/o un gradiente de concentración de implantación en sus bordes en lugar de un cambio binario de implantada a zona no implantada. De la misma manera, una zona sepultada formada por implantación puede ser resultado de alguna implantación en la zona entre la zona sepultada y la superficie a través de la que tienen lugar la implantación. Por ello, las zonas ilustradas en las figuras son de naturaleza esquemática y sus formas no se pretende que ilustren la forma real de una zona de un dispositivo y no se pretende que limiten el alcance de las realizaciones de ejemplo.

50 A menos que se defina lo contrario, todos los términos (incluyendo términos técnicos y científicos) usados en el presente documento tienen el mismo significado que se entiende comúnmente por un experto en la materia a la que pertenecen las realizaciones de ejemplo. Se entenderá adicionalmente que los términos, incluyendo aquellos definidos en los diccionarios comúnmente usados, deberían interpretarse teniendo un significado que es consistente con su significado en el contexto de la técnica relevante y no se interpretarán en un sentido idealizado o excesivamente formal a menos que así se defina expresamente en el presente documento.

55 La presente divulgación se refiere a sistemas de instrumentos únicos (sondas y equipos electrónicos) y procedimientos para la medición del nivel de líquido en un tanque, por ejemplo, un nivel de agua en una piscina de combustible gastado (SFP) de un reactor nuclear, aunque las realizaciones de ejemplo no están limitadas a la

misma. Por el contrario, se debería entender que la referencia a la medición de un nivel de agua en la presente divulgación puede generalizarse a la medición de cualquier nivel de líquido, dado que los sistemas de instrumentos y los procedimientos del presente documento pueden usarse para medir cualquier nivel de líquido en una diversidad de recipientes.

5 El sistema de instrumentación del presente documento es único en que envía un pulso de ancho corto (nanosegundos) (denominado como un "impulso") a lo largo de una línea de transmisión por cable relativamente larga hasta una sonda y mide el tiempo entre los impulsos reflejados creados por condiciones de discontinuidad de impedancia especialmente diseñadas usando una técnica de discriminador especial. En este sistema, la generación de pulsos de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) y el equipo electrónico de medición pueden localizarse remotamente a una distancia relativamente alejada (por ejemplo, un centenar de pies) desde la piscina de combustible gastado (SFP).

10 La divulgación del presente documento puede utilizarse para supervisar el nivel de agua en una piscina de combustible gastado (SFP) en un reactor nuclear en un entorno post-accidente. Sin embargo, debería entenderse que la tecnología puede adaptarse también fácilmente para medición del nivel de agua en la vasija a presión del reactor nuclear (RPV) u otras aplicaciones de medición de nivel de agua que requieran un equipo electrónico remoto y una sonda robusta.

15 La FIG. 1A es una vista esquemática de un sistema para la medición de un nivel de líquido de acuerdo con un ejemplo no de acuerdo con la invención tal como se reivindica.

20 La FIG. 1B es una vista esquemática de otro sistema para la medición de un nivel de líquido de acuerdo con un ejemplo no de acuerdo con la invención tal como se reivindica.

Debería entenderse que cualquiera de las características, disposiciones y/o configuraciones mostradas en la FIG. 1A, pero no explícitamente mostrada en la FIG. 1B, pueden aplicarse también a la FIG. 1B y viceversa. La FIG. 1C es una vista en perspectiva de una sonda que puede usarse en el sistema de la FIG. 1A o en el sistema de la FIG. 1B.

25 En referencia a las FIGS. 1A-1C, un sistema 100 incluye una sonda 106 que se monta en el interior del tanque 102 que contiene una masa de agua 104 (por ejemplo, la piscina de combustible gastado del reactor nuclear), aunque debería entenderse que las enseñanzas del presente documento pueden aplicarse a líquidos en general. La sonda 106 incluye una barra conductora 112 dispuesta dentro de un tubo conductor 110. El tubo conductor 110 puede incluir una pluralidad de perforaciones 124 a lo largo de toda su longitud. Pueden usarse una pluralidad de separadores 126 de aislamiento para mantener una disposición coaxial entre la barra conductora 112 y el tubo conductor 110. Puede proporcionarse un dispositivo 114 de tensado en un extremo inferior del tubo conductor 110. La sonda 106 puede sujetarse a las paredes interiores del tanque 102 con soportes laterales 116. Un cable coaxial 118 conecta una unidad 120 de pulsos a la sonda 106 a través de un conector 108 de cabeza. La unidad 120 de pulsos puede incluir un discriminador 120a y una pantalla 120b de nivel. Puede utilizarse un calibrador 122 en conexión con la unidad 120 de pulsos.

30 Con detalle adicional, el sistema 100 incluye una sonda 106 especialmente diseñada (o sensor) que se coloca en el interior del tanque 102 cuyo nivel de agua ha de ser medido. La sonda 106 se conecta a través de un conector 108 de cabeza especialmente diseñado a un cable coaxial 118 de bajas fugas pero largo (línea de transmisión) hasta una unidad 120 de pulsos diseñada de modo único (unidad de envío y recepción de pulsos TDR). El cable coaxial 118 puede variar desde 30,5 m a 305 m de largo. Por ejemplo, el cable coaxial puede ser de 76 m, 152 m, o 229 m de largo, aunque la presente divulgación no está limitada a los mismos.

35 La sonda 106 tiene una longitud ligeramente más larga que el nivel de agua a ser medido (aproximadamente 10,7 m para una aplicación de supervisión en piscina de combustible gastado) y tiene una configuración coaxial que consiste en una barra conductora 112 (una barra o tubo central eléctricamente conductor) que forma un electrodo, y un tubo conductor 110 (un tubo exterior eléctricamente conductor) que forma el otro electrodo. La sonda 106 es pasiva y no tiene partes móviles o componentes activos. El diámetro exterior de la barra conductora 112 (electrodo interior) y el diámetro interior del tubo conductor 110 (electrodo exterior) se seleccionan especialmente para asegurar que hay un incremento significativo en la impedancia entre el cable de la línea de transmisión y la interfaz de aire de la sonda y una disminución significativa de la impedancia en la interfaz de aire y agua de la sonda.

40 Otro factor en la selección de los diámetros de los dos electrodos es asegurar mecánicamente que el hueco o separación entre los electrodos permanece constante a todo lo largo de la longitud de la sonda 106. Se han construido varios modelos de desarrollo de sonda para finalidades de ensayo, y se han realizado ensayos con sondas en donde el diámetro interior es un cable con diámetro exterior ~1,6256 mm y el electrodo exterior es un tubo con diámetro interior ~20,88 mm, y una sonda en donde el electrodo interior es una barra con un diámetro exterior ~3,175 mm y el electrodo exterior es un tubo con un diámetro interior ~60,20 mm. Pueden usarse también otros diseños de sonda coaxial que mantienen una relación adecuadamente elevada entre el diámetro interior del electrodo exterior y el diámetro exterior del electrodo interior, siempre que se satisfagan los requisitos mecánicos de la sonda. Un requisito mecánico importante es que la barra conductora 112 (conductor central) mantenga una

separación constante respecto a las paredes del tubo conductor 110 de modo que la geometría del hueco (o concetricidad) se mantenga a todo lo largo de la longitud de la sonda 106 incluso bajo una carga sísmica. El mantenimiento de la concetricidad asegura que los pulsos reflejados dependerán solamente del nivel del agua la sonda 106 para una detección precisa del nivel de agua.

5 Un diseño potencial para asegurar la concetricidad es montar un número suficiente de delgados separadores 126 de aislamiento (denominados como discos de separación o separadores) sobre la barra conductora 112 (electrodo o conductor central). La distancia entre los separadores 126 de aislamiento montados sobre el electrodo central depende del diseño de la sonda y cómo de rígido es el electrodo central. Para el electrodo central menos rígido de 1,6256 mm de diámetro puede ser necesario colocar los separadores 126 de aislamiento cada 30,5 cm a lo largo de la longitud de la sonda, pero para el diseño de barra central más rígida de 6,35 mm de diámetro, los separadores 126 de aislamiento pueden separarse de 1,52 a 3,05 m de separación. Los separadores 126 de aislamiento se diseñan para permitir que el agua pase libremente a través y/o alrededor de ellos mientras mantienen una configuración coaxial y separación eléctrica entre el conductor central y el exterior.

15 Los separadores 126 de aislamiento se realizan de materiales tales como cerámica, vidrio, cuarzo, etc. para soportar las condiciones de temperatura y radiación post-accidente y las propiedades químicas del agua en el interior de la piscina de combustible gastado (SFP). La introducción de separadores 126 de aislamiento puede complicar el diseño de la sonda y afectar potencialmente a la impedancia y a la medición del nivel de agua en sus localizaciones, de modo que es deseable limitar el número de separadores 126 de aislamiento en la sonda 106. Una forma de reducir el número de separadores 126 de aislamiento es rigidizar el electrodo central mediante la aplicación de una tensión en él en ambos extremos a través de un dispositivo de tensado 114, pero debe tenerse cuidado en asegurar que la resistencia del electrodo central se mantiene y que no hay una tensión indebida sobre los hilos del cable soldados al conector 108 de cabeza en la parte superior de la sonda 106. Los separadores 126 de aislamiento se diseñan para permitir que el agua se mueva libremente pasándoles cuando cambia el nivel del agua. El tubo conductor 110 exterior tiene perforaciones 124 (orificios) a todo lo largo de su longitud para permitir que el agua se mueva libremente dentro y fuera de la sonda 106 de modo que el nivel de agua en el interior de la sonda 106 sea el mismo que el de la piscina en la que se localiza la sonda 106.

20 Los materiales del conductor central y del conductor exterior tubular se diseñan especialmente para una propagación eficiente de los pulsos TDR y también para soportar los efectos de la corrosión del agua en la SFP, y los efectos de la radiación gamma y temperatura elevada del combustible usado. La parte superior de la sonda tiene un conector coaxial con un aislador cerámico capaz de funcionar en las condiciones medioambientales y de radiación post-accidente, que conecta los electrodos central y exterior de la sonda al cable coaxial para transmisión al equipo electrónico TDR localizado remotamente. Las conexiones de los electrodos conductores central y exterior al conector coaxial en la parte superior de la sonda 106 se diseñan especialmente para una propagación eficiente del pulso TDR. La sonda 106 se inserta verticalmente en la SFP y el montaje se diseña para cumplir con los requisitos de cualificación sísmica.

30 El chasis del equipo electrónico TDR localizado remotamente contiene circuitos electrónicos para la generación de pulsos y la recepción de los pulsos reflejados. El circuito de generación de pulsos se diseña para producir un pulso corto con un rápido tiempo de elevación y caída (por ejemplo, 1 a 10 ns) y una amplitud suficiente para su transmisión a través del largo (hasta 305 m) cable coaxial 118 a la sonda 106 y producir los pulsos reflejados desde la sonda 106 con suficiente amplitud para que se trasladen de vuelta a través del largo cable coaxial 118 y sean medidos por el circuito receptor. El circuito receptor de pulsos se diseña para recibir e identificar/discriminar los pulsos reflejados producidos en dos discontinuidades de impedancia específicas en la sonda, y para medir el tiempo entre ellos. Los pulsos reflejados específicos que se detectan son en las dos discontinuidades de impedancia principales siguientes. El primer pulso reflejado (Pulso n.º 1) es de la discontinuidad de impedancia entre el cable de la línea de transmisión coaxial de baja impedancia y la interfaz en el aire superior de la sonda de alta impedancia. Esto da como resultado un pulso reflejado con una polaridad positiva. El segundo pulso reflejado (Pulso n.º 2) procede de la discontinuidad de impedancia en la interfaz aire/agua en la sonda. La constante dieléctrica del aire es más baja que la del agua, de modo que este pulso reflejado de una impedancia alta a baja produce un pulso reflejado con polaridad negativa.

40 El primer pulso reflejado proporciona una referencia para la medición del nivel del agua dado que tiene lugar en una localización fija, mientras que el segundo pulso reflejado tiene lugar en la interfaz del nivel de agua y cambia cuando cambia el nivel de agua. Otras discontinuidades de impedancia podrían estar también deliberadamente en una localización específica para establecer una localización de referencia alternativa para la medición del nivel de agua. Por ejemplo, puede usarse un corto cable de calibración de longitud fija con las mismas características de impedancia de la sonda 106 dentro del dieléctrico aire, para generar el pulso de TDR positivo (Pulso n.º 1) reflejado en la discontinuidad de impedancia, mientras que la interfaz en el nivel aire/agua continuaría generando el pulso de TDR negativo (Pulso n.º 2) reflejado en la discontinuidad de impedancia.

50 Para tener una buena resolución y una buena relación señal a ruido para los pulsos de TDR reflejados, se necesita un equipo electrónico especial para generar pulsos incidentes de tensión cortos de elevada amplitud con rápidos tiempos de elevación y caída (por ejemplo, ~1 nanosegundo), que tengan suficiente energía para propagarse hasta el final de un largo (hasta 305 m) cable coaxial 118 (línea de transmisión) a la sonda 106. El cable coaxial 118 desde

el equipo electrónico localizado remotamente hasta la sonda 106 se diseña con características de bajas pérdidas a las frecuencias de interés de modo que después de que el pulso incidente se propague al final del largo cable coaxial 118, los pulsos (Pulso n.º 1 y Pulso n.º 2) reflejados en las discontinuidades de impedancia tienen suficiente amplitud y son suficientemente cortos con rápidos tiempos de elevación para ser resueltos por el circuito de recepción de pulsos. Cuanto mayor sea la amplitud del pulso en el generador de pulsos, mayor será la amplitud del pulso reflejado en la discontinuidad de impedancia recibido desde el largo (por ejemplo 152 m a 305 m) cable coaxial 118 (línea de transmisión), y mayor será la relación señal a ruido para una precisión de medición mejorada.

Se llevarán a cabo ensayos para probar la viabilidad del concepto de medición de pulsos TDR descrito en la presente divulgación, y los resultados de estos ensayos se describen en una sección posterior. Una amplitud de pulso incidente en el generador de 250 mV fue adecuada para 137 m de cable coaxial de 75 ohmios que esta fácilmente disponible del comerciante Rockbestos. Otros ensayos de desarrollo con electrónica de generación de pulsos incidentes mejorada que produjeron pulsos de amplitud mayor (~ 5 V), y el uso de 305 m de cable especial de bajas pérdidas de 50 ohmios del comerciante Times Microwave, han conducido a pulsos de discontinuidad de impedancia TDR reflejados con una amplitud más alta mejorada (~ 450 mV). Una optimización adicional del circuito de pulsos puede generar pulsos incidentes de amplitudes incluso más altas que pueden incrementar adicionalmente la amplitud de los pulsos de discontinuidad de impedancia TDR reflejados para mejorar adicionalmente la resolución y la relación señal a ruido para unas mediciones de nivel de agua basadas en TDR mejoradas con líneas de cable de transmisión coaxial mayores de 305 m, si se requiere.

El sistema electrónico se diseña para tener la capacidad de detectar automáticamente los siguientes dos pulsos reflejados en las discontinuidades de impedancia. El Pulso n.º 1 se refleja en cualquiera de las dos configuraciones de discontinuidad de impedancia siguientes. Primero, hay una discontinuidad de impedancia entre la línea de transmisión del cable coaxial (impedancia característica ~ 50 o 75 ohmios) y el conector coaxial en la parte superior de la sonda (impedancia característica ~130 ohmios). Segundo, hay también una discontinuidad de impedancia entre la línea de transmisión de cable coaxial (impedancia característica ~ 50 o 75 ohmios) y una corta longitud de cable fija (llamado cable de calibración de sonda) con la misma impedancia característica que la parte superior de la sonda (impedancia característica ~130 ohmios).

Ambas de estas configuraciones producen un pulso positivo de amplitud adecuadamente grande debido a la gran discontinuidad de impedancia de 80 o 55 ohmios. La primera configuración sin el cable de calibración de alta impedancia proporciona una medición de nivel de agua que es independiente del cable de calibración. Sin embargo está configuración es adecuada cuando los pulsos son muy cortos y el equipo electrónico suficientemente rápido para discriminar y medir el tiempo entre el Pulso n.º 1 y el Pulso n.º 2. Para esta configuración la sonda 106 se posiciona verticalmente en el tanque 102 de modo que hay una mínima distancia entre el conector 108 de cabeza de sonda y el nivel de agua anticipado más alto en la SFP para permitir un intervalo de tiempo suficiente entre pulsos para mediciones precisas. El uso del cable de calibración de alta impedancia en la segunda configuración proporciona un tiempo mayor entre los Pulsos n.º 1 y n.º 2, y desde el punto de vista de tiempos eleva de modo efectivo la conexión de la cabeza de sonda. El tiempo extra es igual a la longitud del cable dividido por la velocidad del pulso en el cable.

El uso de un cable de calibración también permite que la sonda se mueva arriba y abajo fácilmente para calibración sin mover el cable de 305 m que puede estar rígidamente montado en la SFP. Dado que el cable de calibración es corto (~1,83 m) no necesita tener las mismas características de pérdidas que la larga línea de transmisión del cable coaxial y se diseña para ser flexible para facilitar la calibración y para tener la impedancia característica y la robustez necesaria para el entorno post-accidente. Podría incluirse también un cable de calibración de pequeña longitud similar en la primera configuración para facilitar la calibración, pero la impedancia característica de este cable de calibración necesitaría ser la misma que la de la larga línea de transmisión de cable coaxial (50 o 75 ohmios) de modo que no haya discontinuidad de impedancia en esa unión y la discontinuidad de impedancia para el Pulso n.º 1 tenga lugar en la parte superior de la sonda. Para ambas configuraciones, el pulso positivo (Pulso n.º 1) es fijo en el tiempo y no varía con el nivel de agua, y por ello proporciona una referencia constante para medir el nivel de agua a partir de él.

El Pulso n.º 2 se refleja desde la discontinuidad de impedancia en la interfaz aire/agua en la sonda 106. La gran discontinuidad de impedancia (130 ohmios en la columna de aire de la sonda por encima del nivel de agua a ~15 ohmios en la columna de agua de la sonda en y por debajo del nivel de agua) produce un gran pulso negativo. El tiempo de este pulso negativo varía con el nivel de agua, y específicamente el tiempo del flanco de inicio del pulso negativo es una medición precisa del nivel de agua.

El circuito electrónico de recepción del sistema determina el nivel de agua como sigue, midiendo particularmente el intervalo de tiempo entre los pulsos reflejados en las discontinuidades de impedancia positivo (Pulso n.º 1) y negativo (Pulso n.º 2) descritos anteriormente. El tiempo de inicio de la medición del intervalo se detecta mediante la detección del tiempo en el que la amplitud del flanco ascendente del pulso positivo supera un ajuste de discriminador positivo preestablecido fijo. El tiempo de parada de la medición del intervalo se detecta notando en el que la amplitud del flanco de inicio del pulso negativo cae por debajo de un ajuste de discriminador negativo preestablecido fijo. El sistema de medición TDR usa discriminadores rápidos para detectar y establecer el intervalo de tiempo entre el Pulso n.º 1 y el Pulso n.º 2, y los discriminadores se ajustan por encima del nivel de ruido en la



señal. Para minimizar el tiempo de cálculo y el volumen de datos analizados, el sistema de medición se inicializa para reconocer solamente los pulsos reflejados grandes (Pulso n.º 1 y Pulso n.º 2) que se originan a partir de las discontinuidades de impedancia explicadas anteriormente que tienen lugar más allá de la línea de transmisión del largo cable coaxial. El tiempo que lleva al pulso incidente propagarse a través del largo cable coaxial 118 (línea de transmisión) hasta la sonda es bloqueado en la electrónica como "tiempo muerto". Este "tiempo muerto" depende de la longitud del cable coaxial 118 y se determina después de que se instale el sistema y se establezcan las longitudes del cable coaxial.

El intervalo de tiempo medido entre los pulsos reflejados se convierte en distancia basándose en una calibración inicial del sistema. En esta calibración inicial se mide el nivel de agua en el interior de la sonda 106 por separado y se correlaciona con el intervalo de tiempo medido entre los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia. Nótese que esta medición del nivel de agua se basa solamente en cuándo cambia el dieléctrico de aire a agua, y por lo tanto es insensible a la temperatura del agua o a la pureza del agua. También, dado que la medición se basa en el intervalo de tiempo entre pulsos reflejados desde los cambios de impedancia cerca (o en) el conector de cabeza de sonda 108 y el nivel de agua, es insensible a cambios en la velocidad de propagación del pulso debidos a cambios de potencial del material dieléctrico en el largo (hasta 305 m) cable coaxial 118 (línea de transmisión) que conecta el equipo electrónico a la sonda 106, lo que puede tener lugar debido a unas condiciones medioambientales post-accidente y debido a la larga vida de diseño del sistema (~40 años). La velocidad de propagación de un pulso en la zona entre el conector de cabeza de sonda 108 y el nivel de agua es relativamente constante debido a que la constante dieléctrica del aire no cambia significativamente con la temperatura (~5 ppm por grado centígrado) o con la humedad (~1,4 ppm por tanto por ciento de humedad relativa) de modo que la calibración sea suficientemente precisa a lo largo de todo el intervalo de operación.

La calibración del sistema depende del posicionamiento vertical de la sonda 106 en la instalación. Una vez instalada la calibración de la sonda no cambia dado que el intervalo de tiempo entre los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados depende solamente de la distancia entre el conector 108 de cabeza de sonda y el nivel de agua. Nótese que la amplitud del pulso reflejado desde la interfaz aire/agua (Pulso n.º 2) podría cambiar ligeramente (~ 15 %) debido a los cambios de la constante dieléctrica del agua relacionados con la temperatura, pero el tiempo en el que este pulso de discontinuidad de impedancia tiene lugar no cambiaría. Por ello aunque la amplitud del pulso de discontinuidad de impedancia reflejada pudiera cambiar, el tiempo del pulso reflejado depende solamente del nivel de agua de la SFP y no cambiaría si el nivel no cambia, independientemente de la temperatura del agua. Los equipos electrónicos y circuitos del discriminador remotos pueden calibrarse periódicamente respecto a su deriva mediante el uso de un calibrador 122 (por ejemplo, una fuente de calibración externa).

La FIG. 2 es un diagrama de bloques del circuito electrónico que puede usarse en un sistema para la medición del nivel de líquido de acuerdo con una realización no limitativa. En referencia a la FIG. 2, el diagrama de bloques 200 es una configuración posible para el equipo electrónico en la unidad 120 de pulsos. El equipo electrónico del sistema remoto consiste básicamente en un circuito de generación de pulsos incidentes (sección de generación de impulsos) que genera y transmite pulsos a la sonda 106 a través de un largo (hasta 305 m) cable coaxial 118 (línea de transmisión), y el circuito de recepción del pulso de discontinuidad de impedancia reflejada (sección de discriminación) que recibe y detecta los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia y mide el tiempo entre ellos. El ritmo de generación de pulsos incidentes se ajusta de modo que los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados desde un pulso incidente generado pueda medirse antes de que se genere el siguiente pulso incidente para su transmisión a lo largo del cable coaxial 118 (línea de transmisión) a la sonda 106.

Dado que la velocidad de transmisión del pulso incidente es muy rápida (aproximadamente 0,7 veces a 1,0 veces la velocidad de la luz dependiendo del material dieléctrico del cable coaxial 118 y el aire en la sonda 106), la tasa de repetición de pulsos incidentes (PRR) se selecciona para proporcionar una medición de nivel de agua virtualmente continua (aproximadamente 10-100 microsegundos) sin interferir con el tiempo que lleva a cada pulso incidente generado en el equipo electrónico propagarse a través del cable coaxial 118 hasta la sonda 106 y a los pulsos reflejados en la discontinuidad de impedancia desde la sonda 106 propagarse de vuelta en el cable coaxial 118 desde la sonda 106 al equipo electrónico. Hay varias clases de pulsos incidentes que pueden usarse para la medición TDR, incluyendo una forma de onda escalonada que está comúnmente disponible en la mayor parte de equipos TDR comerciales, y una forma de onda de impulsos descrita en el presente documento que requiere circuitos de generación de pulsos especiales pero proporciona una resolución y relación señal a ruido mejorados para mediciones de nivel de agua a través de largas distancias (por ejemplo, sobre 305 m) y simplifica la discriminación de los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia de amplitud positiva y negativa para mediciones de intervalo de tiempo y nivel de agua más precisas.

La presente divulgación describe un diseño único que utiliza un generador programable de función de impulso para la generación del pulso incidente. El generador de la función de impulso proporciona pulsos incidentes de amplitud relativamente alta (~5 voltios) con rápidos tiempos de ascenso y caída (~1 nanosegundo). El concepto es generar un único pulso incidente mediante la combinación de forma lógica de dos formas de onda escalonada que difieren en el retardo de propagación en aproximadamente 1 a 10 nanosegundos. El ancho del pulso incidente puede ajustarse usando lógica programable pero se mantiene suficientemente corto para proporcionar Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia que puedan resolverse para medir con precisión el intervalo de tiempo entre ellos a lo largo de todo el intervalo de medición del nivel de agua. Este pulso incidente se almacena temporalmente y

se acopla al largo cable coaxial 118 con un circuito de adaptación de impedancias. El cable coaxial 118, que actúa como una línea de transmisión, tiene una impedancia característica relativamente baja (50 a 75 ohmios) y está especialmente diseñado para tener características de bajas pérdidas para minimizar la atenuación del pulso incidente para la propagación del pulso a través de 305 m de longitud del cable coaxial 118.

5 La divulgación describe un diseño único que utiliza varios discriminadores programables para la detección de los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia. Los pulsos reflejados se introducen en varios discriminadores programables que inician y detienen generadores de rampas basándose en la polaridad y amplitud del pulso reflejado para medir la diferencia de tiempo entre los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia. Un circuito denominado el circuito de pulsos de borrado, se utiliza para borrar el pulso incidente generado y cualquier pulso de ruido reflejado de pequeña amplitud en el largo cable coaxial 118 (línea de transmisión) a la sonda 106, de modo que solo se reconozcan por parte del circuito discriminador los grandes Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados positivo y negativo. El ancho del pulso de borrado es ajustable de modo que tenga en cuenta apropiadamente la transmisión del pulso incidente en varias longitudes de línea de transmisión de cable coaxial usadas para cualquier aplicación de la planta específica.

15 El instrumento se calibra inicialmente usando niveles de agua conocidos y correlacionando estos para medir el tiempo entre los pulsos reflejados en las discontinuidades de impedancia. Para una geometría de sonda fija, el tiempo entre los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia es solo una función del nivel de agua y no depende de la temperatura o impureza del agua. Los cambios en la temperatura o impureza del agua afectarán a la magnitud del pulso negativo reflejado pero no afectarán a la medición del nivel de agua dado que para un nivel de agua dado el pulso reflejado en la discontinuidad de impedancia tiene lugar al mismo tiempo. El nivel de agua medido se visualiza y puede digitalizarse y fecharse y enviarse a través de un cable de fibra óptica (u otro cable de comunicación digital) a otras estaciones de supervisión de la SFP en la planta. El equipo electrónico de medición absorbe muy poca potencia y puede alimentarse mediante baterías durante condiciones de apagón de la estación (SBO, del inglés "Station Blackout"). Se proporcionan diversos medios de conservación de la energía durante el SBO, incluyendo salva-pantallas y medición y visualización bajo demanda, con la finalidad de prolongar la vida de la batería.

El sistema puede medir también la temperatura de la SFP usando un termopar (o RTD) estándar montado en un tubo fijado sobre el exterior de la sonda de nivel de agua. El sistema puede medir también y visualizar la tendencia y la velocidad de cambio del nivel del agua de la SFP y la temperatura de la SFP, y puede proporcionar alarmas tanto sobre el nivel como sobre la velocidad de cambio cuando el nivel disminuye por encima o la velocidad de cambio se incrementa por encima de valores predeterminados. Todos los datos medidos y calculados de la SFP pueden transmitirse también digitalmente a través de cable (o de modo inalámbrico) a estaciones remotas de supervisión de la SFP.

30 La sonda 106 pasiva (o sensor) consiste básicamente en una barra conductora 112 (conductor eléctrico central) dentro de un tubo conductor 110 (tubo exterior hueco), de aproximadamente 10,7 m de largo. El conductor central tiene un núcleo interior hecho de material resistente (acero inoxidable) que tiene suficiente conductividad para una transmisión eficiente de pulsos. El acero inoxidable proporciona la resistencia requerida y es químicamente no reactivo de modo que está bien adaptado para una residencia a largo término en la SFP, a aunque pueden usarse también otros materiales siempre que no degraden la propagación de los cortos pulsos electromagnéticos. Si para algunas aplicaciones se requiere una mayor inercia química y mayor resistencia a la corrosión, el material de la sonda puede recubrirse con una delgada capa de oro, que tiene también excelentes propiedades de conducción eléctrica. El uso de oro es barato pero una capa de oro que tenga solo 200 micrómetros de grueso es todo lo que se necesita dado que el pulso de TDR se propaga principalmente sobre la superficie exterior del conductor central. El diseño de la sonda también necesita ser resistente y robusto y capaz de resistir en la SFP durante 40 años sin degradación significativa, y capaz de soportar los efectos corrosivos del agua de la SFP bajo condiciones de operación normales y post-accidente.

El diseño del tubo conductor 110 (tubo exterior tubular) incluye perforaciones 124 (por ejemplo, orificios (~6,35 mm de diámetro)) a todo lo largo de su longitud y en el fondo para permitir que el agua de la SFP entre y se mueva alrededor libremente en la sonda 106 de modo que el nivel de agua en la sonda 106 sea el mismo que el nivel de agua en la SFP. Un elemento clave del diseño de la sonda es el uso de separadores 126 de aislamiento para asegurar que la barra conductora 112 (conductor central) mantiene una separación precisa respecto al tubo conductor 110 (conductor exterior) de modo que la impedancia característica de la sonda se mantenga en el valor de diseño a todo lo largo de la longitud de la sonda 106, y también permita que el agua fluya libremente en el interior de la sonda 106 para asegurar que el nivel de agua en el interior de la sonda 106 es el mismo que en la SFP. Un concepto de diseño para los separadores 126 de aislamiento es una oblea delgada (hecha de cerámica, cuarzo, etc.) que se ancla a la barra conductora 112 (conductor central) y tiene un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del tubo conductor 110 (tubo exterior).

La sonda 106 tiene un conector 108 de cabeza de sonda coaxial con un aislador cerámico que conecta el conductor central y el conductor exterior de la sonda al cable de calibración y a continuación al cable coaxial largo 118 (línea de transmisión) hasta el equipo electrónico TDR localizado remotamente. Las conexiones del electrodo conductor central y exterior al conector coaxial en la parte superior de la sonda 106 (denominado como el conector 108 de

cabeza de sonda) se diseñan especialmente para una propagación eficiente del pulso TDR y para no degradar el Pulso n.º 1 reflejado en la discontinuidad de impedancia en la interfaz conector/aire de la cabeza de sonda. Dado que el conector 108 de cabeza es fijo, el Pulso n.º 1 reflejado en la discontinuidad de impedancia en la parte superior de la sonda 106 proporciona un punto de referencia constante para la medición del nivel de agua. El Pulso n.º 2 reflejado en la discontinuidad de impedancia en la interfaz de nivel aire/agua en la sonda 106 se localiza en el nivel de agua variable a ser medido. La sonda 106 puede cerrarse mecánicamente en el fondo mediante soldadura de una placa metálica al fondo del tubo exterior y barra central, debido a que aunque esto cortocircuita eléctricamente los conductores exterior e interior, no afecta a los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia que se usan para medición de nivel de agua dado que estos pulsos se reflejan por encima del fondo de la sonda 106 y tienen lugar posteriormente en el tiempo. La parte inferior necesitaría tener orificios para no atrapar el agua en la sonda sino para permitir que el agua salga de la sonda y se comunique libremente con el agua de la SFP.

La sonda 106 se posiciona verticalmente en la piscina de combustible gastado (SFP) y podría anclarse conceptualmente a la pared del tanque 102 para cumplir con los requisitos sísmicos. Sin embargo dicha instalación en la SFP es complicada para las SFP que contienen combustible usado debido a la radiación del combustible usado.

La FIG. 3A es una vista en perspectiva de una disposición de montaje para un sistema para la medición de un nivel de líquido de acuerdo con un ejemplo no de acuerdo con la invención tal como se reivindica.

La FIG. 3B es una vista en perspectiva de otra disposición de montaje para un sistema para la medición de un nivel de líquido de acuerdo con un ejemplo no de acuerdo con la invención tal como se reivindica.

En referencia a la FIG. 3A, un procedimiento único de instalación de esta sonda 106 es usar un tipo oscilante de conexión tal como una disposición 300 de montaje de rótula en la que la bola 302 se suelda a la sonda 106 y el asiento 304 se ancla al lateral o suelo 310 de la SFP a través de un brazo 306 de soporte. El lateral o suelo 310 puede cubrirse con un recubrimiento 308. El anclaje puede realizarse mediante el uso de pernos de anclaje en el suelo 310 de la SFP, o mediante soldadura de la placa de montaje directamente en la parte superior del bordillo. Puede proporcionarse también una cubierta 312. La sonda 106 colgaría como un péndulo afianzándose la bola 302 en el asiento 304. En un evento sísmico la sonda 106 oscilaría como un péndulo amortiguado por el agua de la SFP y su movimiento se limitaría por la pared de la SFP próxima a la que se monta la sonda 106, y no impactaría o dañaría el combustible usado. Esta disposición reduce las fuerzas sísmicas en la sonda 106 y simplifica su cualificación para las cargas sísmicas especificadas.

En referencia a la FIG. 3B, otro procedimiento de instalación de la sonda 106 es el uso de una disposición 300' de montaje de barra final. Ambas configuraciones de montaje permiten que la sonda 106 se localice tan próxima como sea posible a la esquina de la SFP. Puede sujetarse una placa 318 de montaje al bordillo 314 mientras está adyacente a una cuenca 316. El conector 108' de cabeza se conecta al extremo de la barra 320 con un pasador 324 y tuerca 322. El conjunto de sonda montada puede equiparse con una cubierta protectora tras la instalación.

Se realizaron dos ensayos, primero un ensayo de prueba de concepto inicial y a continuación un ensayo de prototipo de desarrollo conceptual, para verificar el diseño conceptual del GEH SFPLMS. La FIG. 4A es una vista esquemática del sistema para la medición del nivel de líquido en un ensayo de prueba de concepto de acuerdo con un ejemplo no de acuerdo con la invención tal como se reivindica.

La FIG. 4B es un gráfico de los resultados del ensayo de prueba de concepto realizados con el sistema de la FIG. 4A.

Se realizó un ensayo de prueba de concepto inicial para demostrar la viabilidad de este procedimiento para la supervisión del nivel de agua en la piscina de combustible gastado. Este fue un ensayo realizado con un osciloscopio 406 y se basó en la medición visual del intervalo de tiempo sobre el osciloscopio 406 entre los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia, y no incluyeron la detección automática de los pulsos y medición automática del tiempo entre los pulsos reflejados en las discontinuidades de impedancia.

Para el ensayo se fabricaron los siguientes artículos de ensayo. La sonda 106 configurada coaxialmente tenía 3,05 m de largo. El tubo conductor 110 (electrodo exterior) fue un tubo de cobre (20,88 mm de diámetro interior) con muchas perforaciones 124 (6,35 mm de taladros) taladrados en toda la longitud. La barra conductora 112 (electrodo central) fue un cable de cobre (diámetro exterior 1,6256 mm). Esto creó una sonda 106 en la que la impedancia con el dieléctrico aire fue de ~ 150 ohmios y con el dieléctrico agua de ~ 17 ohmios. El conector 108 de cabeza coaxial en la parte superior de la sonda 106 se diseñó especialmente para que no tuviera discontinuidades eléctricas, y tenía un aislante de polietileno entre las conexiones del electrodo. El conector del electrodo exterior se soldó al tubo de modo que la pared interior del tubo estaba eléctricamente conectada al borde inferior del conector, y el terminal central del conector coaxial se soldó al conductor central de cobre de la sonda. Se montaron discos separadores de aislamiento (~3,175 mm de grosor de polietileno con un diámetro de 0,762 mm más pequeños que el diámetro interior del tubo) se montaron sobre la barra conductora 112 (conductor central) aproximadamente cada 15,24 cm para mantener una separación constante entre los electrodos de la sonda y para mantener la seguridad de que el conductor central no tocaba los lados del tubo y cortocircuitaba la sonda 106. Se montó un dispositivo de tensado

114 en el fondo de la sonda 106 para mantener el conductor central recto. Se usó un cable 118 coaxial de 137,2 metros con una impedancia de 75 ohmios (fabricado por Rockbestos) para conectar la sonda 106 al equipo electrónico a través de una pieza en T 402. Se usó también un cable coaxial 118 de 50 ohmios en el diseño final. Se usó el generador 404 de pulsos incidentes en una caja electrónica de TDR hecha en laboratorio para crear un pulso incidente con rápido tiempo de elevación, y se supervisaron los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia mediante un osciloscopio Tektronix (velocidad de muestreo de 1,25 GHz) conectado al circuito de recepción de la caja electrónica del TDR.

Los ensayos iniciales se realizaron mediante la inserción de la sonda 106 en la piscina de las instalaciones del GEH San José. Se tomaron datos para varios niveles de agua mediante la elevación y descenso de la sonda 106 en la piscina. Los datos consistieron en la medición del tiempo entre los pulsos reflejados desde la discontinuidad de impedancia (75 a 150 ohmios) en la interfaz conector de cabeza de sonda/aire y la discontinuidad de impedancia (150 a 17 ohmios) en la interfaz aire/nivel de agua. Los tiempos de los pulsos se determinaron mediante la observación visual del tiempo correspondiente a cuando el pulso positivo (Pulso n.º 1) se elevó por encima del eje de la línea base y el pulso negativo (Pulso n.º 2) cayó por debajo del eje de la línea base de la firma del trazado del TDR. Los resultados de este ensayo inicial se muestran en la Tabla 1 y gráficamente en la FIG. 4B.

Tabla 1

Nanosegundos	Nivel (m)
5,68	2,44
7,52	2,13
9,36	1,83
11,3	1,52
13,3	1,22
15,1	0,914
16,9	0,610
19,0	0,305

Estos resultados demuestran que los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia pueden usarse con instrumentación TDR de impulsos localizada remotamente para la medición precisa del nivel de agua. Según se esperaba, el intervalo de tiempo entre el inicio de los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia es linealmente proporcional al nivel de agua. La precisión de la medición del nivel de agua fue mejor de 15,24 cm, y esta precisión se mejoró hasta 25,4 a 50,8 mm mediante un ajuste fino del equipo electrónico del instrumento TDR y la incorporación de un ancho de pulso incidente más corto y un cable coaxial 118 de pérdidas más bajas.

Se realizó también un ensayo para determinar el efecto del agua en ebullición sobre la medición del nivel de agua. Para este ensayo, la sonda de 3,05 m se puso en una cuba de ~0,914 m de alta con un calentador que llevó el agua a ebullición. La presencia de vapor en la sonda se aseguró mediante la observación del vapor vertiéndose fuera de los orificios en la sonda 106. El nivel de agua se midió visualmente con un osciloscopio 406 como antes con y sin vapor. Los resultados de los ensayos demostraron que el entorno de vapor debido a la ebullición del agua no afectó a la precisión de la medición del nivel de agua. Este resultado de ensayo fue tal como se esperaba debido a que la presencia de vapor en el espacio de aire por encima del agua a presión atmosférica tiene un efecto insignificante sobre la constante dieléctrica y velocidad de propagación del pulso.

La FIG. 5A es una vista esquemática del sistema para la medición del nivel de líquido en un ensayo de prototipo de desarrollo conceptual de acuerdo con una realización no limitativa. La FIG. 5B es un gráfico de los resultados del ensayo de prototipo de desarrollo conceptual realizados con el sistema de la FIG. 5A. El ensayo de prototipo de desarrollo conceptual se realizó para demostrar la viabilidad de este procedimiento de instrumentación de TDR de pulsos para la supervisión automática del nivel de agua en la piscina de combustible gastado, remotamente desde 305 m. Este ensayo también incluyó la detección automática de los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia, y la medición automática del tiempo entre estos pulsos reflejados.

Para el ensayo se fabricaron los siguientes artículos de ensayo. Dos sondas idénticamente diseñadas, excepto en el tubo exterior y barra interior que fue realizada de acero inoxidable para la primera sonda y de aluminio para la segunda sonda. Las sondas 106 fueron de 3,66 m de largo y el electrodo exterior fue un tubo conductor 110 (diámetro exterior de 60,20 mm, diámetro interior de 56,90 mm) con muchas perforaciones 124 (6,35 mm de taladro) taladrados en él sobre toda la longitud de la sonda 106. El electrodo interior fue una barra conductora 112 (6,35 mm de diámetro) que estableció la impedancia característica de la sonda con dieléctrico aire en ~137 ohmios y con dieléctrico agua en ~15 ohmios. El conector 108 de cabeza de la sonda coaxial se diseñó para encajar en esta geometría y tuvo un material de aislamiento especial (PEAK) entre los electrodos. Dado que la barra central era suficientemente rígida no se requirió una fuerza de tensado para sus 3,66 m de longitud, y no se usaron discos

separadores de aislamiento. Sin embargo, se observó que para longitudes más largas (~10,7 m podían requerirse discos separadores de aislamiento. Se conectó una pequeña longitud fija (~1,83 m) de cable (cable de calibración 502) con la misma impedancia característica (~130 ohmios) que la interfaz conector/aire a la parte superior de la sonda 106 para extender el tiempo entre los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia de modo que el intervalo de tiempo entre estos pulsos pudiera medirse más precisamente.

Se usó una longitud de 305 m de cable coaxial 118 de bajas pérdidas con impedancia característica de 50 ohmios (fabricado por Times Microwave) para conectar la sonda 106 (con 1,83 m de cable 502 de calibración) al equipo electrónico de instrumentación TDR. Se diseñó un circuito electrónico 504 que incluía una tarjeta electrónica TDR especial que era compatible con la electrónica GEH NUMAC estándar con un generador de impulsos y circuito discriminador para detectar y medir el intervalo de tiempo entre los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia para la medición automática del nivel de agua. El intervalo de tiempo se midió a través de la medición de la tensión de una rampa de tensión (usando un circuito de carga de un condensador) que se inició cuando el discriminador detectó el gran pulso positivo (Pulso n.º 1) reflejado en la discontinuidad de impedancia en la parte superior de la sonda, y se detuvo cuando el discriminador detectó el gran pulso negativo (Pulso n.º 2) reflejado en la discontinuidad de impedancia en la interfaz aire/agua en la sonda 106. La tensión medida se digitalizó a continuación y se convirtió a cuentas que se convirtieron de nuevo a nivel de agua y se visualizaron sobre la pantalla NUMAC.

Se realizó un tubo de plástico ópticamente claro especial (~15,24 cm de diámetro, 3,66 m de alto) para alojar la sonda 106 y en el que pudiera variarse el nivel de agua para simular el nivel de agua en la SFP. Para el ensayo, la sonda 106 se insertó verticalmente dentro de este tubo y las mediciones de TDR de pulsos se realizaron mediante la elevación o descenso del nivel de agua para abarcar todos los 3,66 m de longitud de la sonda. El ensayo se realizó en el laboratorio GEH. Los ensayos de medición del TDR de pulsos se realizaron tanto con las sondas de acero inoxidable como de aluminio. Ambas sondas proporcionaron aproximadamente los mismos resultados. Los resultados para el acero inoxidable se muestran en la Tabla 2 y gráficamente en la FIG. 5B.

Tabla 2

Nivel de agua		Tiempo entre pulsos
Metros desde el fondo	Metros desde la parte superior	Rampa de tensión (recuentos)
3,353	0,305	1093
3,200	0,457	1182
3,048	0,610	1281
2,896	0,762	1361
2,743	0,914	1423
2,591	1,067	1485
2,438	1,219	1550
2,286	1,372	1614
2,134	1,524	1687
1,981	1,676	1756
1,829	1,829	1822
1,676	1,981	1887
1,524	2,134	1960
1,372	2,286	2020
1,219	2,438	2077
1,067	2,591	2137
0,914	2,743	2205
0,762	2,896	2268
0,610	3,048	2329
0,457	3,200	2381
0,305	3,353	2433

Estos resultados demuestran que con este diseño de tarjeta electrónica de TDR en el chasis NUMAC, los Pulsos n.º 1 y n.º 2 reflejados en las discontinuidades de impedancia pueden detectarse con precisión mediante los discriminadores y el tiempo entre ellos puede medirse precisamente de modo que tras la calibración el instrumento puede proporcionar automáticamente medias precisas del nivel de agua. Tal como se esperaba, el intervalo de

tiempo entre los pulsos es linealmente proporcional al nivel de agua. Hay una ligera no linealidad específicamente cuando el nivel de agua está próximo a la parte superior de la sonda debido a una ligera pérdida de resolución del ancho del pulso debido al ancho del pulso. La no linealidad observada puede reducirse mediante el uso de un pulso incidente más corto. Ha de tomarse nota sin embargo, que la presencia de esta no linealidad no es un problema crítico debido a que puede tenerse en cuenta durante la calibración. Los resultados indican que para este instrumento NUMAC, una vez los circuitos electrónicos están estabilizados en temperatura, la precisión de la medición del nivel de agua sería mejor de ~25,4 mm.

Lo que sigue es un sumario de las diversas características y ventajas del sistema desvelado de medición de nivel de agua de TDR por pulsos remotos, aunque debería entenderse que lo que sigue no es una lista exhaustiva. El equipo electrónico puede localizarse remotamente a una distancia alejada (hasta 305 m o más) de la sonda de nivel de agua. La sonda de nivel de agua es completamente pasiva sin partes móviles o circuitos eléctricos o electrónicos activos en o alrededor de la sonda. El diseño de sonda de nivel de agua robusto y relativamente simple no es susceptible al hostil ambiente de radiación y post-accidente o a condiciones de calidad de agua. Una vez instalada, la calibración de la sonda de nivel de agua es fija, y no se requiere una calibración periódica en toda la longitud de la sonda. La verificación de la calibración de la sonda puede realizarse en cualquier momento mediante el movimiento manualmente de la sonda arriba y abajo unos pocos pies. Electrónicamente puede calibrarse periódicamente respecto a deriva mediante el uso de una fuente de calibración electrónica externa. El sistema proporciona precisas mediciones de nivel (~25,4 mm) en las condiciones de agua previas a la ebullición y en ebullición. El sistema usa discriminadores rápidos y proporciona medición de nivel de agua automática con la salida del nivel de agua indicada en pies (u otras unidades). El sistema proporciona una supervisión del nivel de agua continua cuando cambia el nivel de agua en toda la longitud de la sonda. La longitud de la sonda es arbitraria y puede extenderse hasta el fondo de la SFP. La sonda puede montarse usando una disposición de rótula de modo que no se requiere la fijación a las paredes de la SFP, y la instalación puede realizarse sin peligro de radiación. El sistema tiene un bajo consumo de potencia —aproximadamente 30 vatios para operación normal, ~20 vatios en el modo de salva-pantallas, y ~30 vatios durante unos pocos minutos durante el modo bajo demanda—. El instrumento puede operarse con un paquete de baterías portátiles bajo condiciones de SBO. Con muy baja potencia (< milivatios) a la sonda debido a los cortos pulsos (< 10 nanosegundos) hasta una amplitud de unos pocos voltios cada 10-100 microsegundos. El sistema no es sensible a la calidad del agua y puede usarse para medición de nivel de agua en la SFP con agua salada, agua borada, y otros tanques abiertos con otras clases de aguas o líquidos. El sistema puede integrarse fácilmente con termopares (o RTD) disponibles comercialmente si se requieren mediciones de la temperatura de la SFP. El sistema puede proporcionar una velocidad de cambio del nivel de agua y la temperatura e información integrada de temperatura/nivel de agua de la SFP según se requiera en el caso de un accidente. Todos los datos medidos y calculados pueden transmitirse a otras estaciones de supervisión de la SFP según se requiera.

La presente divulgación describe un sistema de instrumentación de TDR de pulsos remotos únicos que puede usarse para determinar el nivel de agua en la piscina de combustible gastado (SFP) de un reactor nuclear desde una distancia remota (hasta 305 m o más). El procedimiento es adecuado para una supervisión de nivel de agua de la SFP post-accidente continua desde una localización remota cuando el personal puede no tener capacidad para acceder al área de la piscina de combustible gastado debido a la alta radiación o a daños de la planta desde el accidente. La sonda y el cable son robustos y resistentes a la radiación post-accidente y condiciones medioambientales, y el diseño del sistema permite que el equipo electrónico se localice en un área protegida lejos del reactor. La medición de TDR de pulsos remota descrita usa relativamente poca potencia y puede alimentarse mediante una batería portátil, de modo que está bien adaptado para las condiciones de supervisión post-accidente bajo un apagón de la estación (SBO).

Aunque la presente divulgación se enfoca sobre la supervisión del nivel de agua en el combustible usado en un reactor nuclear, debería entenderse que los sistemas y procedimientos del presente documento pueden adaptarse con relativa facilidad para medir el nivel de agua remotamente en la vasija de presión del reactor (RPV) durante la operación normal del reactor y tras un accidente. Dicho sistema proporcionaría una medición del nivel de agua del RPV diversa, y que podría incrementar la fiabilidad global para la supervisión normal y post-accidente. Adicionalmente, los sistemas y procedimientos del presente documento son aplicables también a escenarios no nucleares que impliquen varios tipos de líquidos.

Aunque se han desvelado en el presente documento cierto número de realizaciones de ejemplo, debería entenderse que son posibles otras variaciones. Dichas variaciones no han de considerarse como una separación del alcance de la presente divulgación, y todas las dichas modificaciones, como sería obvio para un experto en la materia, se pretende que se incluyan dentro del alcance de las reivindicaciones a continuación.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (100) para la medición del nivel de agua, que comprende:

una sonda (106) que incluye una barra (112) conductora y separadores (126) de aislamiento dentro de un tubo (110) conductor, dispuesta la barra (112) conductora coaxialmente dentro del tubo (110) conductor, extendiéndose la barra (112) conductora a través de los separadores (126) de aislamiento, incluyendo el tubo (110) conductor perforaciones que exponen la barra (112) conductora y los separadores (126) de aislamiento en su interior;

un conector (108) de cabeza conectado a la sonda (106);

un cable (118) coaxial conectado al conector (108) de cabeza, incluyendo el cable (118) coaxial un hilo conductor interior dentro de una pantalla conductora exterior y separado por un aislante interior, estando el hilo conductor interior y la pantalla conductora exterior del cable (118) coaxial en comunicación eléctrica con la barra (112) conductora y el tubo (110) conductor de la sonda (106), respectivamente, a través del conector (108) de cabeza;

y un cable (502) de calibración que conecta el conector (108) de cabeza al cable (118) coaxial, teniendo el cable (502) de calibración una impedancia que es mayor que la del cable (118) coaxial pero igual a la del conector (108) de cabeza, alargando así eficazmente una distancia desde la primera discontinuidad de impedancia hasta el nivel de agua, teniendo el cable (502) de calibración una longitud menor que la del cable (118) coaxial;

una unidad (120) de pulsos conectada al cable (118) coaxial, estando configurada la unidad (120) de pulsos para transmitir un pulso corto a la sonda y para recibir un primer pulso reflejado positivo y un segundo pulso reflejado negativo desde la misma a través del cable (118) coaxial, incluyendo el pulso transmitido un pulso corto con tiempos de elevación y caída que totalizan 10 nanosegundos o menos, reflejándose el primer pulso positivo desde una discontinuidad de impedancia en una interfaz entre el cable de calibración y el cable coaxial, y reflejándose el segundo pulso negativo desde una discontinuidad de impedancia en una interfaz aire/agua del nivel de agua, estando configurada la unidad (120) de pulsos para calcular un tiempo entre el primer pulso positivo reflejado y el segundo pulso negativo reflejado y para convertir el tiempo en una distancia que es indicativa del nivel de agua.

2. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que la sonda (106) tiene una longitud que excede una profundidad correspondiente al nivel de agua.

3. El sistema (100) de la reivindicación 1 o 2, en el que la barra (112) conductora incluye un núcleo hecho de un primer material y una carcasa que rodea al núcleo, hecha la carcasa de un segundo material, siendo una conductividad del segundo material mayor que la del primer material.

4. El sistema (100) de la reivindicación 3, en el que el segundo material es oro.

5. El sistema (100) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la barra (112) conductora se extiende a través de un centro de cada uno de los separadores (126) de aislamiento.

6. El sistema (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que los separadores (126) de aislamiento están en forma de discos y están hechos de al menos uno de entre cerámica, cuarzo, vidrio y porcelana.

7. El sistema (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que los separadores (126) de aislamiento están situados a intervalos regulares a lo largo de la barra (112) conductora.

8. El sistema (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que una relación de un diámetro interior del tubo conductor (100) a un diámetro exterior de la barra (112) conductora varía de 10 a 20.

9. El sistema (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que una superficie exterior de la barra (112) conductora está equidistantemente separada de una superficie interior del tubo (110) conductor.

10. El sistema (100) de cualquier reivindicación anterior, en el que el conector (108) de cabeza incluye una conexión de conductor central y una conexión de conductor exterior, estando la conexión de conductor central del conector (108) de cabeza en comunicación eléctrica con la barra conductora de la sonda (106) y el hilo conductor interior del cable (502) de calibración coaxial, estando la conexión de conductor exterior del conector (108) de cabeza en comunicación eléctrica con el tubo (110) conductor de la sonda (106) y con la pantalla conductora exterior del cable (502) de calibración coaxial.

11. Un procedimiento de medición de un nivel de agua, que comprende:

conectar un conector (108) de cabeza a una sonda (106),

conectar un cable (118) coaxial al conector (108) de cabeza mediante el uso de un cable (502) de calibración, en el que el cable (502) de calibración tiene una impedancia mayor que la del cable (118) coaxial pero igual a la del conector (108) de cabeza, teniendo el cable de calibración una longitud menor que la del cable coaxial;

conectar una unidad (120) de pulsos al cable coaxial;

insertar la sonda (106) dentro de una masa (104) de agua, teniendo la sonda (106) una interfaz sonda/aire,

- incluyendo la masa (104) de agua una interfaz aire/agua;  
transmitir a la sonda (106), usando la unidad (120) de pulsos, un pulso corto con tiempos de elevación y caída que totalizan 10 nanosegundos o menos;
- 5 recibir, en la unidad (120) de pulsos, una primera discontinuidad de impedancia desde la interfaz cable de calibración/cable coaxial en una forma de un pulso reflejado positivo;  
recibir, en la unidad (120) de pulsos, una segunda discontinuidad de impedancia desde la interfaz aire/agua en una forma de un pulso reflejado negativo;
- usando la unidad (120) de pulsos para:
- 10 calcular un tiempo entre el pulso reflejado positivo y el pulso reflejado negativo; y  
convertir el tiempo en una distancia, siendo la distancia indicativa del nivel de agua;
- en el que la conexión del cable (118) coaxial al conector (108) de cabeza mediante el uso del cable (502) de calibración alarga de modo efectivo una distancia desde la primera discontinuidad de impedancia al nivel de agua, teniendo lugar la primera discontinuidad de impedancia en una interfaz entre el cable de calibración y el cable coaxial.
- 15 12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que la inserción incluye el posicionamiento de la sonda (106) verticalmente en la masa (104) de agua.
13. El procedimiento de las reivindicaciones 11 o 12, en el que la recepción de un pulso reflejado negativo incluye una segunda discontinuidad de impedancia alta a baja de al menos 100 ohmios.
14. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, que comprende adicionalmente:
- 20 la realización de una calibración mediante la determinación independientemente del nivel de agua y correlacionando el tiempo y distancia resultantes con el nivel de agua determinado independientemente.



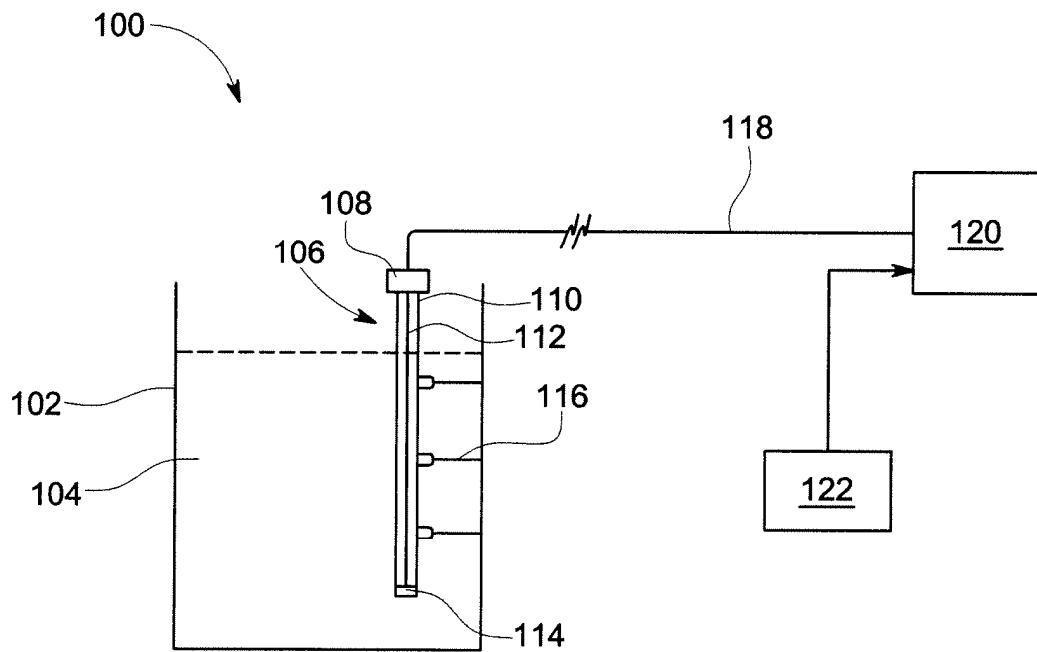


FIG. 1A

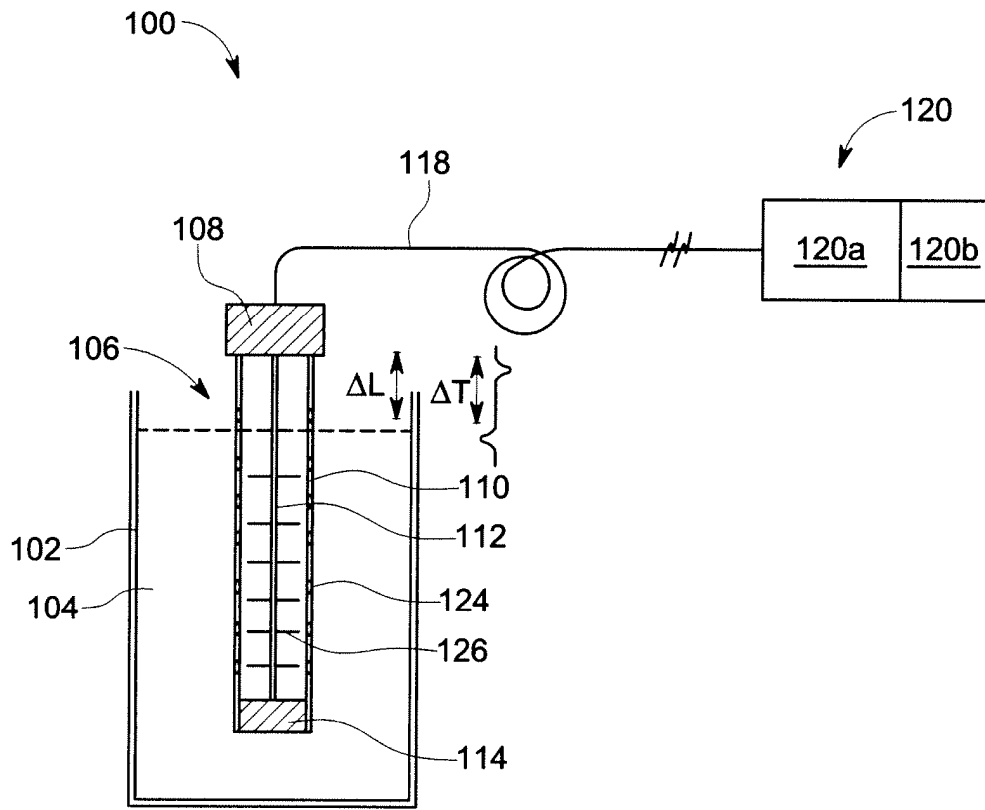


FIG. 1B

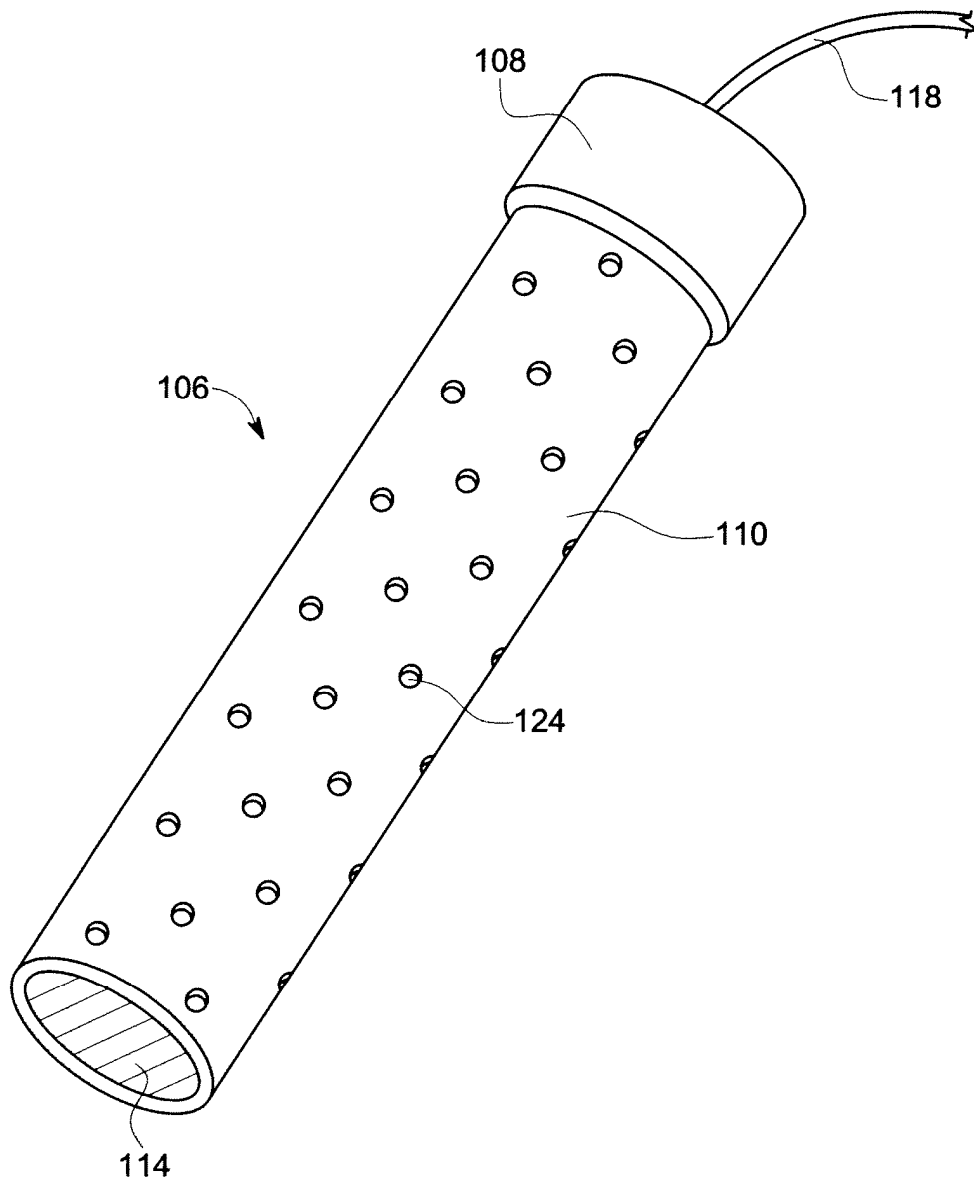


FIG. 1C

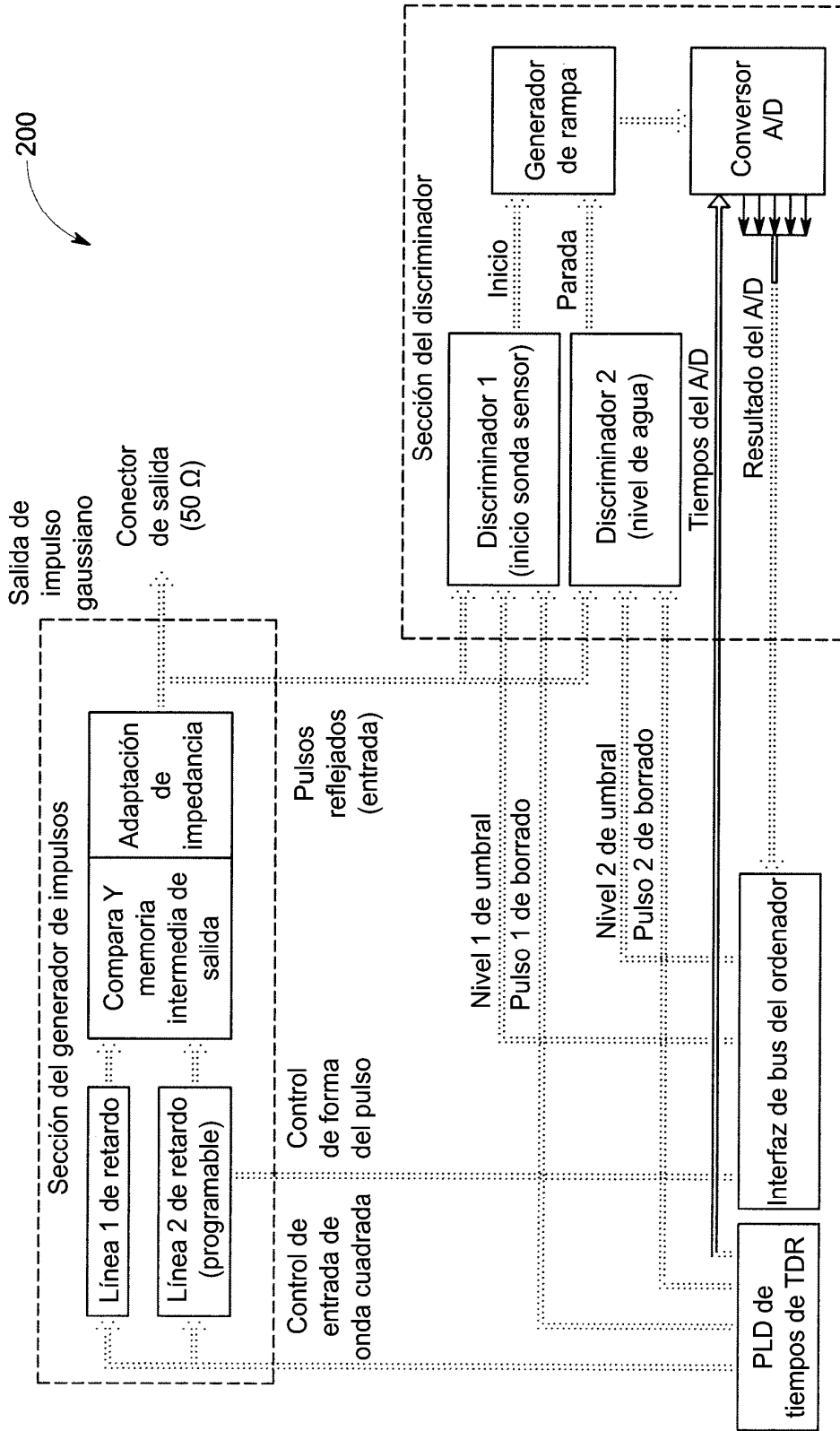


FIG. 2

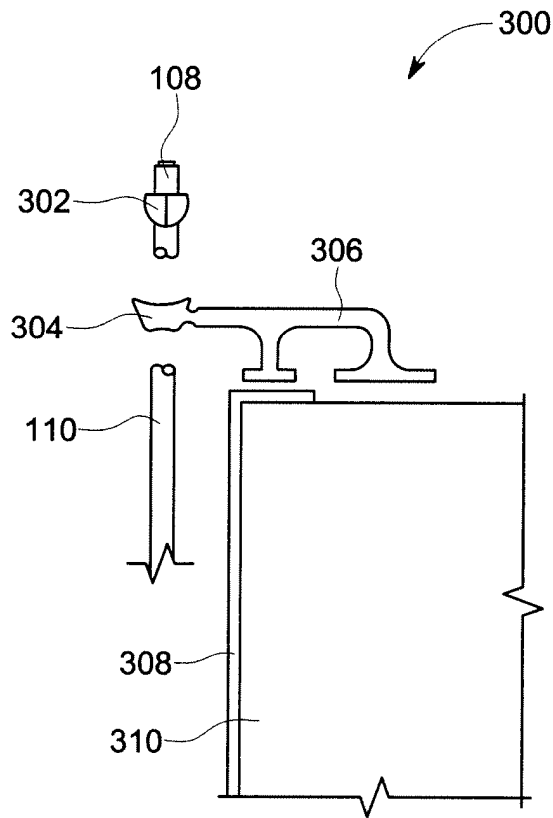


FIG. 3A

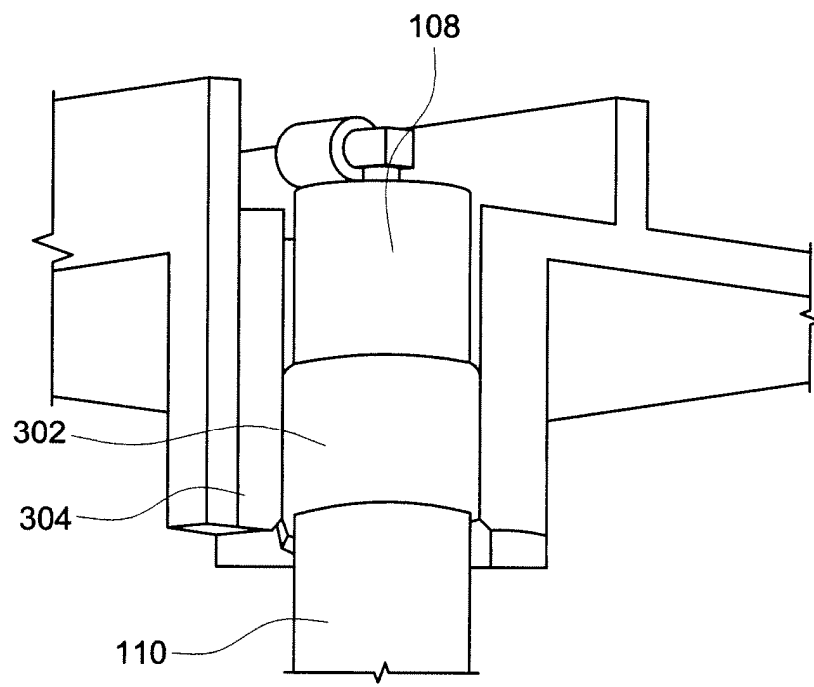


FIG. 3A(2)

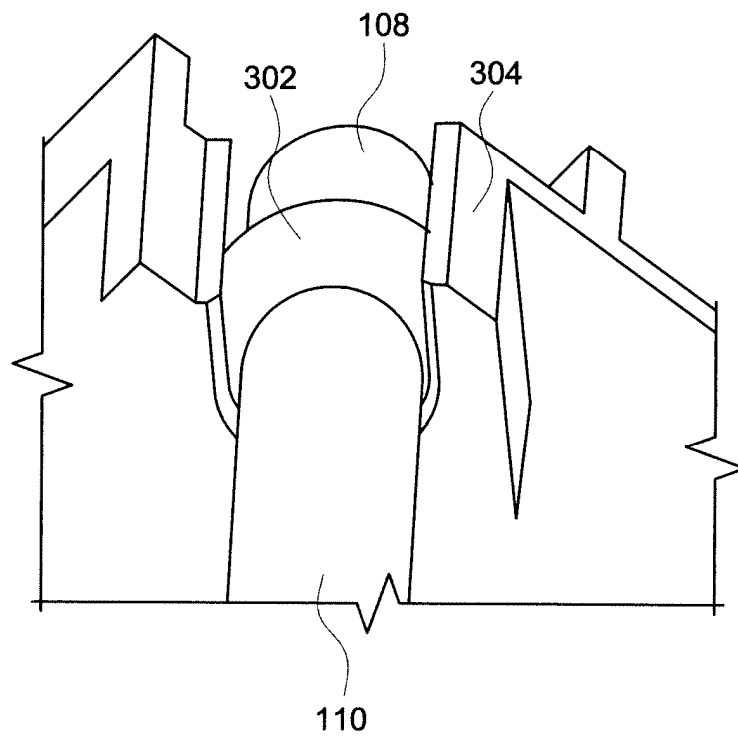


FIG. 3A(3)

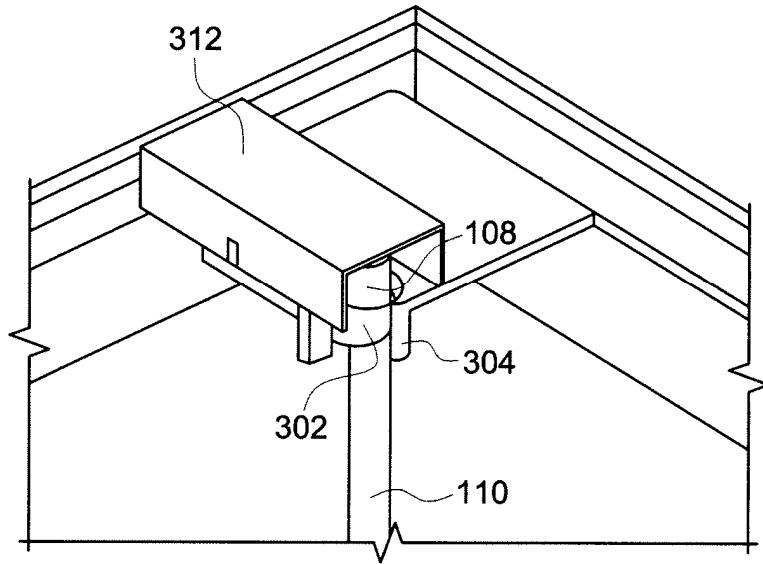


FIG. 3A(4)



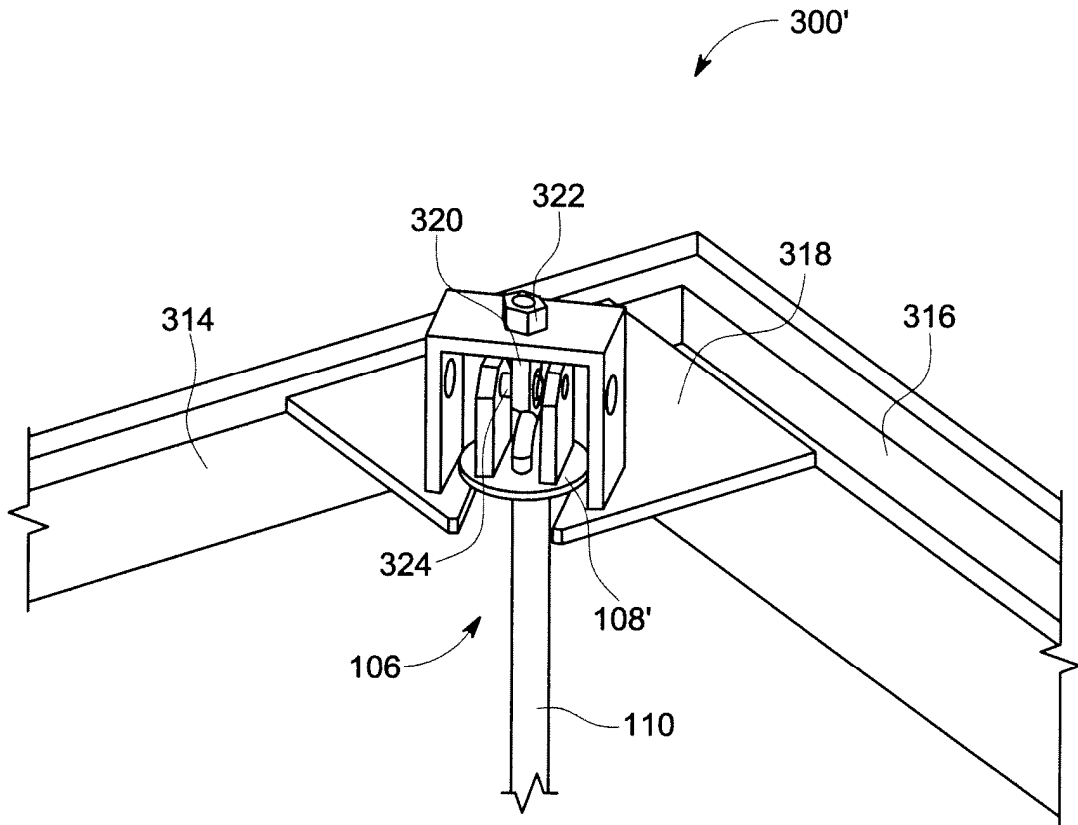


FIG. 3B

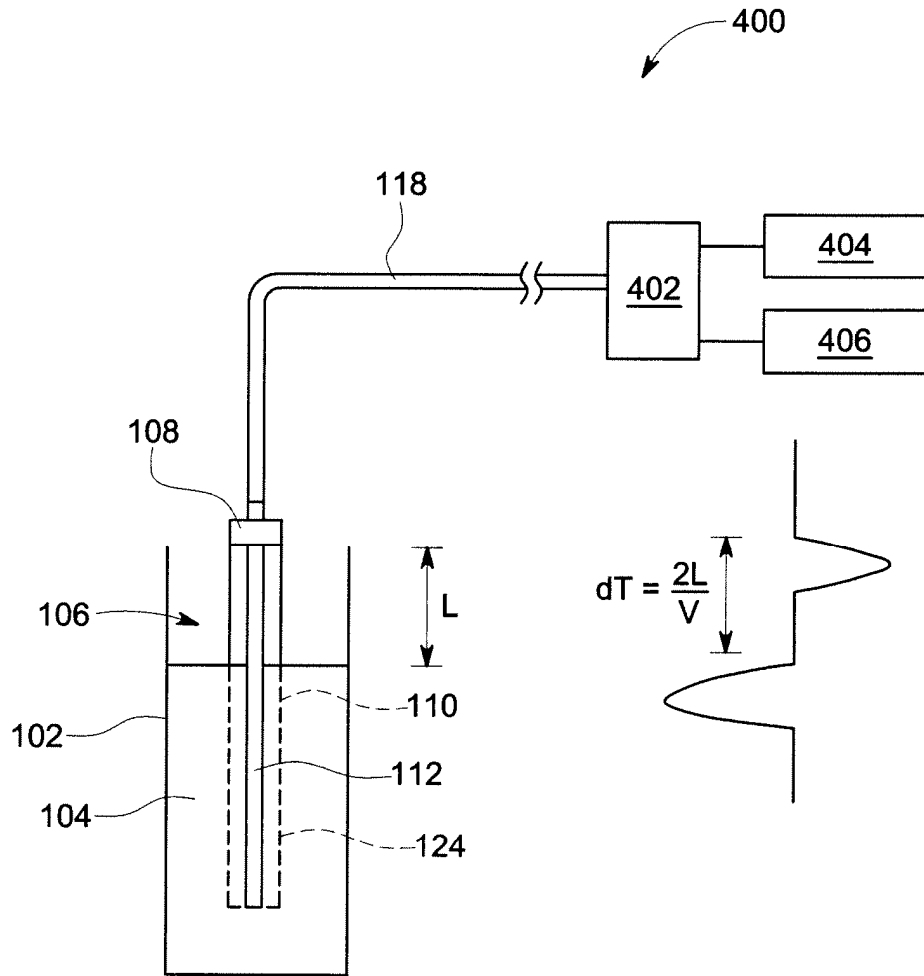


FIG. 4A

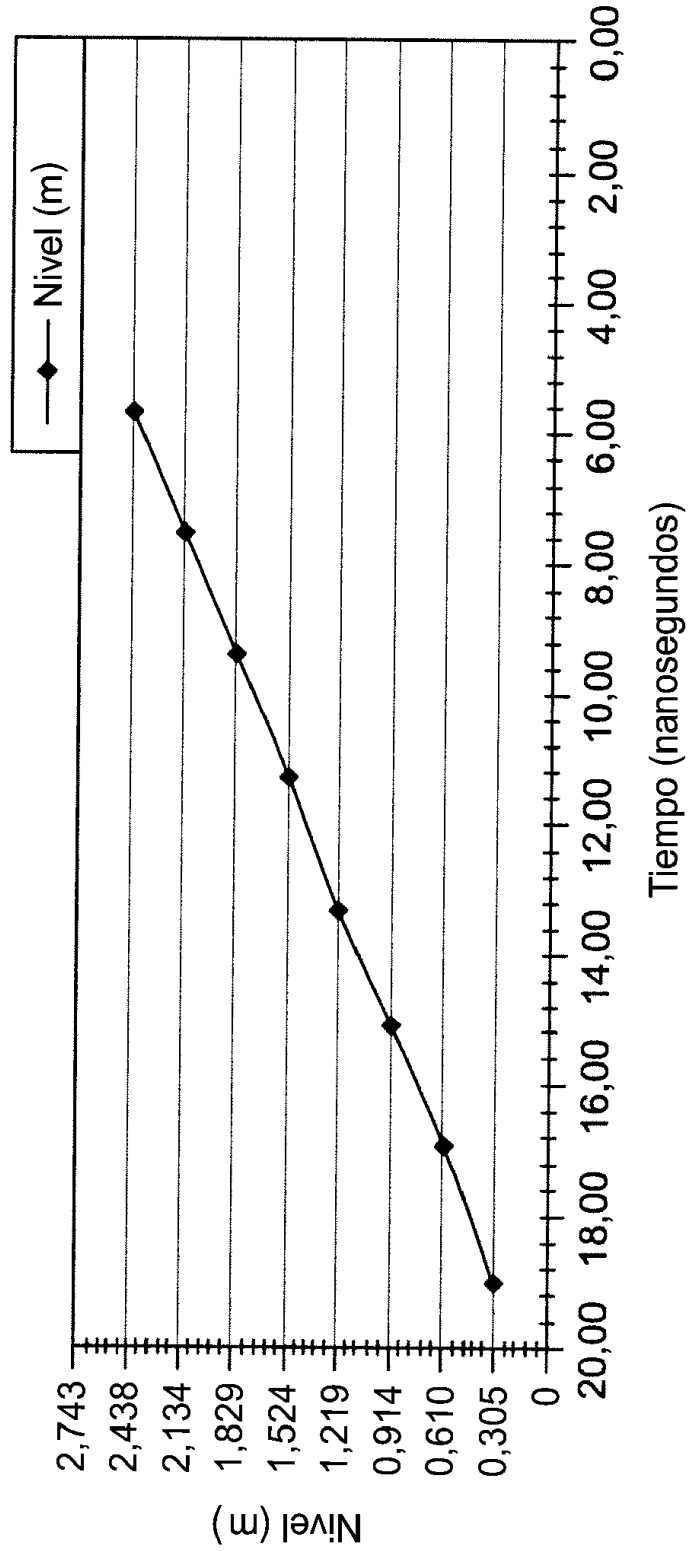


FIG. 4B

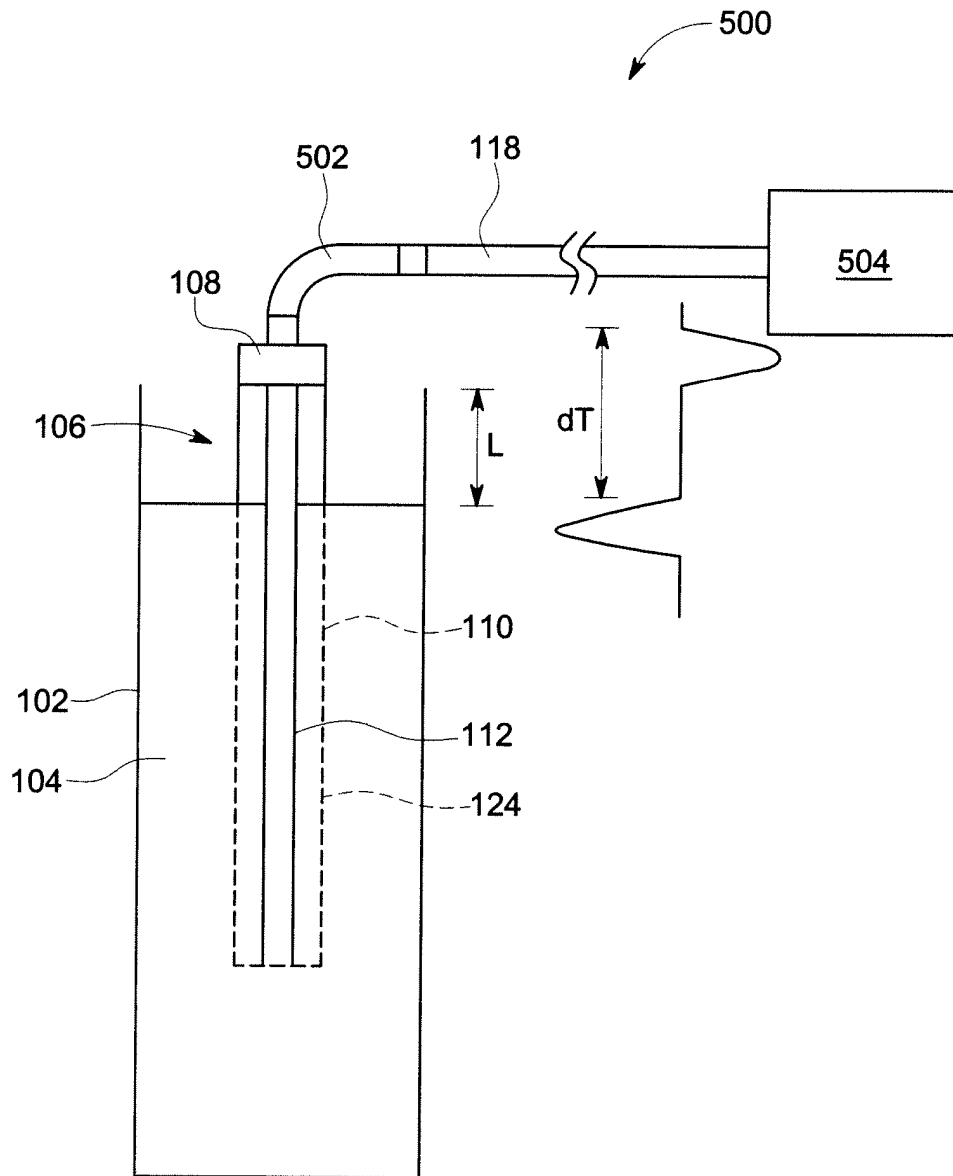


FIG. 5A

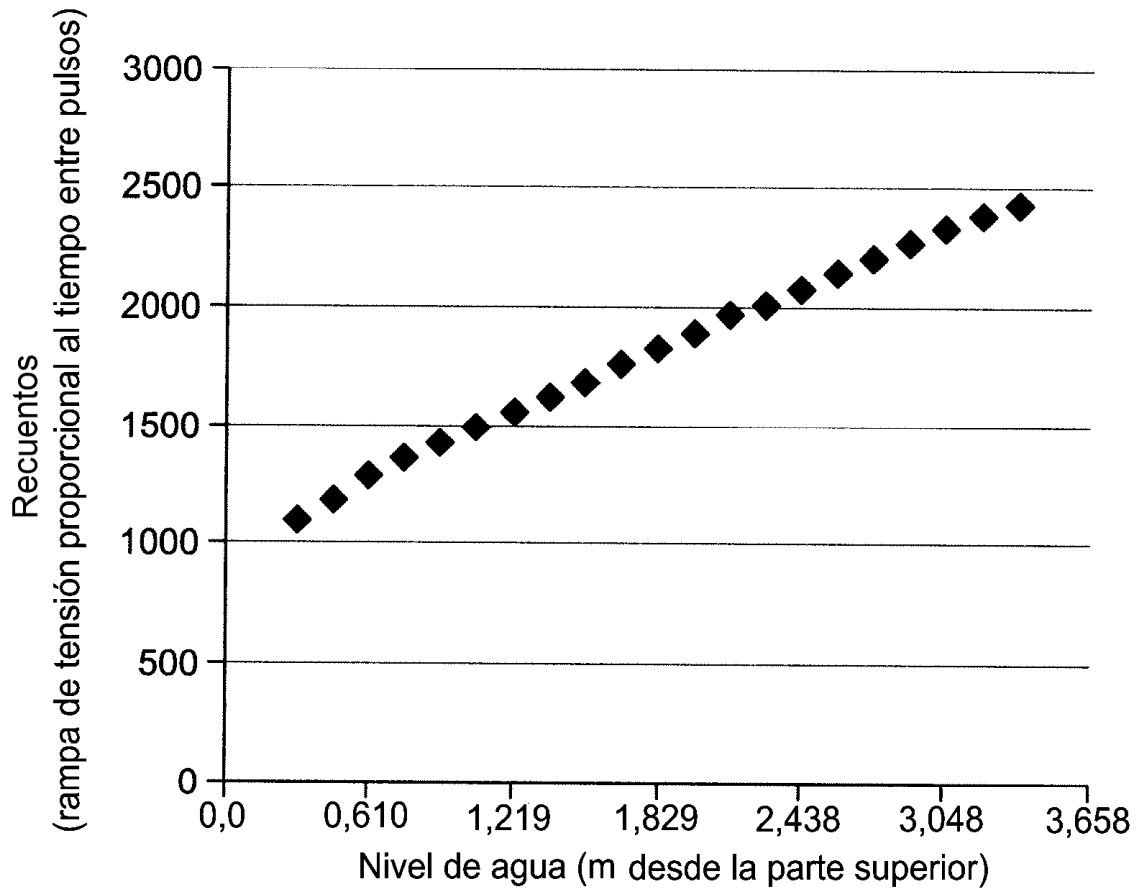


FIG. 5B