

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 653 553**

51 Int. Cl.:

G21C 17/108 (2006.01)

G01T 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2010 E 10152051 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.11.2017 EP 2237285**

54 Título: **Aparato y procedimiento de determinación del nivel de potencia de un reactor nuclear**

30 Prioridad:

01.04.2009 US 385200

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

07.02.2018

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

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 653 553 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

Aparato y procedimiento de determinación del nivel de potencia de un reactor nuclear

Antecedentes

Campo

5 Las realizaciones de ejemplo se refieren a procedimientos y aparatos de operación de reactores nucleares y de determinación de niveles de potencia en los reactores nucleares. Además, ejemplos de realización se refieren a procedimientos y aparatos de operación de reactores nucleares y de determinación de niveles de potencia en los reactores nucleares que pueden incluir dos o más conductores eléctricos, uno o más dispositivos de señal, y/o un analizador.

10 Descripción de la técnica relacionada

La figura 1 es una vista en sección, con partes recortadas, del recipiente a presión del reactor ("RPV") 100 en un reactor de agua en ebullición ("BWR") relacionado. Durante el funcionamiento del BWR, el agua de refrigeración que circula dentro del RPV 100 se calienta mediante una fisión nuclear producida en el núcleo 102. El agua de alimentación es admitida en el RPV 100 a través de la entrada de agua de alimentación 104 y el burbujeador 106 de agua de alimentación (una tubería en forma de anillo que incluye aberturas para distribuir circunferencialmente el agua de alimentación dentro del RPV 100). El agua de alimentación procedente del burbujeador 106 de agua de alimentación fluye hacia abajo a través del anillo 108 de sumidero (una región anular entre el RPV 100 y la cubierta 110 de núcleo).

La cubierta 110 del núcleo es un cilindro de acero inoxidable que rodea núcleo 102. El núcleo 102 incluye una multiplicidad de conjuntos de haces de combustible 112 (dos matrices de 2x2, por ejemplo, se muestran en la figura 1). Cada disposición de conjuntos 112 de haces de combustible está soportado en o cerca de su parte superior por la guía 114 superior y en o cerca de su parte inferior por la placa 116 central. La guía 114 superior proporciona un soporte lateral para la parte superior de los conjuntos 112 de haz de combustible y mantiene el espaciamiento correcto del canal de combustible para permitir la inserción de la barra de control.

Los flujos de agua de refrigeración hacia abajo a través del anillo 108 de sumidero y en la cámara 118 inferior del núcleo. El agua refrigerante en la cámara 118 inferior del núcleo a su vez fluye hacia arriba a través del núcleo 102. El agua de refrigeración entra en los conjuntos 112 de combustible, en donde se establece una capa límite de ebullición. Una mezcla de agua y vapor sale del núcleo 102 y entra en la cámara 120 superior del núcleo debajo del cabezal 122 de la cubierta. La cámara 120 superior del núcleo proporciona separación entre la mezcla de vapor y agua que sale del núcleo 102 y que entra a las tuberías 124 de subida. Las tuberías 124 de subida están dispuestas encima del cabezal 122 de la cubierta y en comunicación de fluido con la cámara 120 superior del núcleo.

La mezcla de vapor-agua fluye a través de tuberías 124 de subida y entra en los separadores 126 de vapor (que pueden ser, por ejemplo, de las de flujo axial, de tipo centrífugo). Los separadores 126 de vapor separan sustancialmente la mezcla vapor-agua en agua líquida y vapor. El agua líquida separada se mezcla con agua de alimentación en la cámara 128 de mezcla. Esta mezcla luego regresa al núcleo 102 a través del anillo 108 del tubo descendente. El vapor separado pasa a través de los secadores 130 de vapor y entra a la cúpula 132 de vapor. El vapor seco se extrae de RPV 100 a través de la salida 134 de vapor para usar en turbinas y otros equipos (no mostrados).

El BWR también incluye un sistema de recirculación de refrigerante que proporciona el flujo de convección forzada a través del núcleo 102 necesario para alcanzar la densidad de potencia requerida. Una porción del agua es aspirada desde el extremo inferior del anillo 108 de sumidero a través de la salida 136 de agua de recirculación y forzada por una bomba de recirculación centrífuga (no mostrada) en una pluralidad de conjuntos 138 de bomba de chorro (solo se muestra uno) a través de las entradas 140 de agua de recirculación. Los conjuntos 138 de bomba de chorro están distribuidos circunferencialmente alrededor de la cubierta 110 de núcleo y proporcionan el flujo de núcleo de reactor requerido.

Como se muestra en la figura 1, un conjunto 138 de bomba de chorro de la técnica relacionada incluye un par de mezcladores 142 de entrada. Un BWR de la técnica relacionada incluye de 16 a 24 mezcladores 142 de entrada. Cada mezclador 142 de entrada tiene un codo 144 soldado que recibe agua de una bomba de recirculación (no mostrada) a través del elevador 146 de entrada. Un ejemplo de mezclador 142 de entrada incluye un conjunto de cinco boquillas distribuidas circunferencialmente en ángulos iguales alrededor del eje del mezclador 142 de entrada. Cada boquilla está ahusada radialmente hacia dentro en su salida. El conjunto 138 de bomba de chorro está energizado por estas boquillas convergentes. Cinco aberturas secundarias de entrada están radialmente fuera de las salidas de la boquilla. Por lo tanto, a medida que los chorros de agua salen de las boquillas, el agua del anillo 108 del tubo descendente se introduce en el mezclador 142 de entrada a través de las aberturas de entrada secundarias, donde se mezcla con agua refrigerante de la bomba de recirculación. El agua de refrigeración fluye luego al conjunto 138 de bomba de chorro.

La figura 2 es una vista en planta superior del núcleo 200 de la técnica relacionada. El núcleo 200 puede incluir haces 202 de combustible, haces 204 de combustible periféricos y/o barras 206 de control. Dos o más de los haces 202 de combustible pueden estar incluidos en los conjuntos 208 de haces de combustible. El núcleo 200 puede incluir, por ejemplo, cientos o miles de haces 202 de combustible y/o decenas o cientos de haces 204 de combustible periféricos. Como se muestra en la figura 2, por ejemplo, el núcleo 200 puede incluir aproximadamente mil veintiocho (1.028) haces 202 de combustible, aproximadamente ciento cuatro (104) haces 204 de combustible periféricos, y/o aproximadamente doscientos sesenta y nueve (269) barras 206 de control.

La distribución de los haces 202 de combustible, los haces 204 de combustible periféricos, y/o barras 206 de control en el núcleo 200 puede o no ser simétrica. Además, si existe simetría, puede incluir una o más de simetría de imagen especular, simetría diagonal, simetría rotacional, simetría traslacional, simetría de cuadrante y simetría de octavo. Como se muestra en la figura 2, por ejemplo, una o más barras 206 de control pueden estar dispuestas en o cerca de un centro geométrico del núcleo 200.

El núcleo 200 también puede incluir uno o más tipos de monitores de neutrones. Estos monitores pueden incluir, por ejemplo, uno o más monitores de rango de fuente, uno o más monitores de rango intermedio y/o uno o más monitores de rango de potencia. En un BWR de la técnica relacionada, el uno o más monitores de rango fuente pueden ser fijos o móviles. De manera similar, en un BWR de la técnica relacionada, el uno o más monitores de rango intermedio pueden ser fijos o móviles.

Al menos algunos del rango general de un monitor de rango de origen de la técnica relacionada y/o un monitor de rango intermedio de la técnica relacionada puede estar cubierto por un monitor del rango de inicio de neutrones ("SRNM") o monitor de neutrones de rango amplio ("WRNM"). De forma similar, al menos parte del alcance global de un monitor de rango intermedio de la técnica relacionada y/o un monitor de rango de potencia de la técnica relacionada puede estar cubierto por un monitor de rango de potencia local ("LPRM"). En un BWR de la técnica relacionada, los SRNM y/o los LPRM pueden ser fijos.

El núcleo 200 puede incluir, por ejemplo, decenas de detectores SRNM y/o decenas o cientos de detectores LPRM. Aunque no se muestra en la figura 2, el núcleo 200 puede incluir, por ejemplo, aproximadamente doce (12) detectores SRNM. Como se muestra en la figura 2, por ejemplo, el núcleo 200 puede incluir aproximadamente doscientos cincuenta y seis (256) detectores LPRM en aproximadamente sesenta y cuatro (64) conjuntos LPRM 210. Por ejemplo, uno o más conjuntos LPRM 210 pueden incluir cuatro detectores LPRM (es decir, cada conjunto LPRM 210 puede incluir cuatro detectores LPRM).

La figura 3 es una vista en alzado lateral de un conjunto 300 de LPRM de la técnica relacionada. Como se muestra en la figura 3, el tubo 302 de guía del conjunto 300 de LPRM puede penetrar en la placa 304 de núcleo, permitiendo que el conjunto 300 de LPRM acceda al núcleo 306. Uno o más anillos 308 de guía del tubo 310 de cubierta LPRM pueden guiar la inserción del conjunto 300 de LPRM en el tubo 302 de guía. El tubo 302 de guía puede sellarse mediante un sello 312 de prensaestopas y/o una brida 314.

El conjunto 300 de LPRM puede incluir, por ejemplo, cuatro detectores LPRM (no mostrado) y/o seis conectores. El primer conector 316 puede conectarse a un primer detector LPRM, el segundo conector 318 puede conectarse a un segundo detector LPRM, el tercer conector 320 puede conectarse a un tercer detector LPRM y/o el cuarto conector 322 puede conectarse a un cuarto detector LPRM. Uno o más del primer conector 316, el segundo conector 318, el tercer conector 320 y el cuarto conector 322 pueden ser un conector fabricado por la compañía LEMO, con sede en Suiza, y conocido como un enchufe LEMO o receptáculo LEMO. Por ejemplo, uno o más del primer conector 316, el segundo conector 318, el tercer conector 320, y el cuarto conector 322 pueden ser un receptáculo LEMO de tamaño 1.

El quinto conector 324 se puede conectar a un termómetro gamma (no mostrado) del conjunto 300 de LPRM. El quinto conector 324 puede ser, por ejemplo, un conector LEMO de tamaño 3. El sexto conector 326 puede ser, por ejemplo, un tubo de calibración asociado con una sonda de núcleo interno transversal ("TIP") (no mostrada).

Una TIP es un dispositivo gamma- o neutrón-sensible que puede estar completamente insertado en un núcleo del reactor nuclear, a continuación, retirado de una manera medida para determinación del flujo gamma o de neutrones en elevaciones axiales en el núcleo. Las lecturas de la TIP son continuas, pero normalmente se digitalizan a intervalos establecidos (por ejemplo, 1") y luego se combinan en un valor representativo de la potencia en un nodo (por ejemplo, un segmento de 6"). Dado que las estructuras internas, como los espaciadores, pueden afectar el flujo local de gamma o neutrones, los descensos en la potencia pueden correlacionarse con ubicaciones de espaciador conocidas para mejorar la alineación adecuada de los datos. Al comienzo de un conjunto de TIP, todas las TIP (normalmente de 3 a 5) pueden ejecutarse a través de una ubicación radial central común para permitir que las diferentes TIP se normalicen entre sí. Los datos recopilados de cada ubicación radial alrededor del núcleo pueden normalizarse. Esto se conoce comúnmente como "adaptación de núcleo" y generalmente ya no se usa. En cambio, los programas informáticos de física central pueden calcular la distribución de potencia radial del núcleo, y las lecturas de la TIP pueden usarse para asignar la potencia axialmente en cada ubicación. Este proceso se denomina comúnmente "adaptación de forma". Para este proceso, puede ser necesario que cada TIP se lea constantemente de arriba a abajo en cada ubicación, pero no necesariamente de forma consistente de una ubicación radial a otra. En

otras palabras, la intercalibración de los instrumentos puede no ser necesaria para la adaptación de la forma.

En el montaje de la técnica relacionada el conjunto 300 de LPRM, el primero, segundo, tercero, y cuarto detectores LPRM se puede disponer en una disposición sustancialmente vertical. La disposición sustancialmente vertical puede incluir una separación entre el primero, segundo, tercero y cuarto detectores LPRM. El espaciado puede ser del mismo tamaño, o dos o más tamaños diferentes. La disposición sustancialmente vertical puede ser, por ejemplo, aproximadamente la misma en cada conjunto 300 de LPRM. La disposición sustancialmente vertical puede permitir que el primero, segundo, tercero y cuarto detectores LPRM controlen el flujo de neutrones (típicamente flujo de neutrones térmicos) a cuatro alturas (o ubicaciones) diferentes en el núcleo 306. Las cuatro alturas (o ubicaciones) diferentes pueden ser, por ejemplo, aproximadamente las mismas en cada conjunto 300 de LPRM.

Como es sabido por una persona con experiencia ordinaria en la técnica ("PHOSITA"), los detectores LPRM típicamente incluyen un cátodo que tiene material fisionable recubierto en el cátodo. El material fisionable puede ser una mezcla de U^{234} y U^{235} . El U^{235} se usa para proporcionar una señal proporcional al flujo de neutrones térmicos. Pero debido al extremadamente alto flujo de neutrones térmicos en el núcleo del reactor nuclear, el U^{235} está sujeto a agotamiento, lo que puede causar que la lectura del detector LPRM correspondiente a un flujo de neutrones térmicos constante disminuya gradualmente con el tiempo. El U^{234} puede absorber neutrones térmicos para convertirse en U^{235} , alargando la vida útil del detector LPRM. Eventualmente, sin embargo, la lectura del detector LPRM correspondiente a un flujo de neutrones térmicos constante disminuirá gradualmente con el tiempo.

Un termómetro gamma puede proporcionar una capacidad para calibrar un detector LPRM asociado. Durante el funcionamiento en estado estable, el flujo gamma es típicamente proporcional al flujo de neutrones térmicos. Por lo tanto, un termómetro gamma ubicado cerca del detector LPRM asociado puede medir el flujo gamma local durante un balance de calor en estado estable, como lo conoce un PHOSITA. El flujo gamma local puede estar relacionado con el flujo de neutrones térmicos proporcional y el detector LPRM asociado se puede calibrar en función del flujo de neutrones térmicos proporcional relacionado. Actualmente, sin embargo, la tecnología del termómetro gamma es costosa y/o puede proporcionar un número relativamente limitado de mediciones de compensación de temperatura sobre la altura del núcleo 306.

Aunque la tecnología más antigua que el termómetro de rayos gamma, una TIP puede proporcionar una alternativa y/o vehículo suplementario para calibrar los detectores LPRM. Como lo conoce un PHOSITA, una TIP esencialmente es un sistema que incluye un detector de neutrones térmicos móvil que puede colocarse temporalmente cerca de un detector LPRM para ser calibrado. Durante un balance de calor en estado estable, por ejemplo, el detector LPRM puede calibrarse según la lectura del detector de neutrones térmicos móvil. Debido a que la TIP es móvil, se puede sacar del flujo de neutrones térmicos extremadamente alto en el núcleo del reactor nuclear. Por lo tanto, una TIP normalmente no está sujeto a los problemas de desgaste de los detectores LPRM. Sin embargo, las TIP son sistemas complejos que están sujetos a fallas mecánicas y eléctricas, requieren mantenimiento y reparación frecuente, y plantean numerosos problemas de contaminación y exposición a la radiación.

Se han propuesto varias soluciones al problema de la determinación de los niveles de potencia en los reactores nucleares, como se discute, por ejemplo, en las Patentes de los Estados Unidos n.º 4.614.635 ("la patente '635"), 4.725.399 ("la patente '399"), 4.915.508 ("la patente '508"), y 5.015.434 ("la patente '434"). Sin embargo, estas diversas soluciones no incluyen procedimientos y aparatos de operación de reactores nucleares y para determinación de los niveles de potencia en los reactores nucleares, donde la compensación de los detectores LPRM puede realizarse simplemente, con un coste reducido, y/o con un número relativamente grande de compensación medidas sobre la altura del núcleo.

El documento US 4 963 315 A describe un aparato para controlar el flujo de neutrones en reactores nucleares. El documento RO73067 utiliza la reflexión de microondas para medir la potencia del reactor. El documento US3418207 utiliza la reflexión de señales eléctricas para la supervisión funcional de capas de aislamiento térmico en reactores nucleares.

Sumario

La presente invención consiste en un aparato de acuerdo con la materia objeto de la reivindicación 1 y en un procedimiento de determinación de un nivel de potencia en un reactor nuclear de acuerdo con la materia objeto de la reivindicación 9.

Los ejemplos pueden referirse a procedimientos y aparatos de operación de reactores nucleares y de determinación de niveles de potencia en los reactores nucleares. Además, los ejemplos se refieren a procedimientos y aparatos de operación de reactores nucleares y de determinación de niveles de potencia en los reactores nucleares que pueden incluir dos o más conductores eléctricos, uno o más dispositivos de señal, y/o un analizador. Además, los niveles de potencia en los reactores nucleares pueden determinarse usando los dos o más conductores eléctricos, uno o más dispositivos de señal y/o analizador.

En un ejemplo, un aparato puede incluir dos o más conductores eléctricos, uno o más dispositivos de señal, y/o un analizador. Los dos o más conductores eléctricos pueden estar dispuestos en un reactor nuclear. El uno o más dispositivos de señal se pueden adaptar para aplicar una o más señales incidentes a los dos o más conductores

eléctricos. El uno o más dispositivos de señal pueden estar adaptados para recibir una o más señales reflejadas de los dos o más conductores eléctricos. El analizador puede adaptarse para determinación del nivel de potencia en el reactor nuclear usando al menos una de la una o más señales incidentes aplicadas y/o al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas.

- 5 En otro ejemplo, los procedimientos de determinación de nivel de potencia en un reactor nuclear pueden incluir la medición de valores de impedancia de dos o más conductores eléctricos dispuestos en el reactor nuclear y/o el uso de los valores de impedancia medidos para determinación del nivel de potencia.

En otro ejemplo, los procedimientos de funcionamiento de un reactor nuclear pueden incluir medir valores de impedancia de dos o más conductores eléctricos dispuestos en el reactor nuclear y/o el uso de los valores de impedancia medidos para determinación de los parámetros del reactor nuclear.

10

Breve descripción de los dibujos

Realizaciones de la presente invención se describirán ahora, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

- 15 La figura 1 es una vista en sección, con partes recortadas, de un RPV en una técnica relacionada BWR;
 La figura 2 es una vista en planta superior del núcleo del reactor nuclear de la técnica relacionada.
 La figura 3 es una vista en alzado lateral de un conjunto de LPRM de la técnica relacionada;
 La figura 4 es una vista en perspectiva de un cable coaxial correspondiente;
 La figura 5 es una vista en alzado lateral de un conjunto de LPRM de la técnica relacionada;
 La figura 6 es un gráfico que representa una señal de forma de onda de paso;
 20 La figura 7 es un gráfico que representa una señal de forma de onda de impulso;
 La figura 8 es un diagrama de bloques de un sistema de análisis;
 Las figuras 9A y 9B son gráficos de la amplitud de voltaje de una señal reflejada en función del tiempo para un reactor nuclear que funciona a aproximadamente el 92 % de potencia;
 Las figuras 9C y 9D son gráficos de la amplitud de voltaje de la señal reflejada en función del tiempo para el
 25 reactor nuclear de las figuras 9A y 9B en una condición de apagado, menos de 100 °C;
 La figura 10 es una tabla que enumera los resultados de la potencia relativa del reactor frente a los cálculos de altura vertical usando un ordenador de proceso asociada con un paquete de monitoreo central;
 La figura 11 es un diagrama que muestra los datos de la figura 10;
 La figura 12 es una tabla que enumera los resultados de la potencia relativa del reactor frente a los cálculos de
 30 altura vertical para el reactor nuclear; y
 La figura 13 es un gráfico que muestra los datos de las figuras 10 y 12 trazados juntos, comparando perfiles verticales de potencia.

Descripción detallada de las realizaciones

Lo ejemplos y realizaciones se describirán ahora más completamente con referencia a los dibujos adjuntos. De hecho, diversas realizaciones de la invención pueden realizarse en muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones expuestas en el presente documento. Por el contrario, estos modos de realización son proporcionados de modo que la presente divulgación sea exhaustiva y completa y para transmitir completamente el alcance a los expertos en la técnica.

35

Se entenderá que cuando un componente se denomina como "sobre", "conectado a", "acoplado a", o "fijado en" otro componente, puede ser directamente sobre, conectado a, acoplado a, o fijado al otro componente o componentes intermedios pueden estar presentes. Por el contrario, cuando se hace referencia a un elemento como "directamente sobre", "directamente conectado con", "directamente enganchado a" o "directamente fijado a" otro componente, no hay componentes intervinientes presentes. Como se usa en el presente documento, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los artículos enumerados asociados.

40

Debe entenderse que, aunque los términos primero, segundo, tercero, etc., pueden ser utilizados en el presente documento para describir varios elementos, componentes, regiones, capas y/o secciones, estos elementos, componentes, regiones, capas y/o secciones no deben estar limitados por estos términos. Estos términos solo se pueden usar para distinguir un elemento, componente, región, capa o sección de otro elemento, componente, región, capa o sección. Por lo tanto, un primer elemento, componente, región, capa o sección discutidos a continuación podría denominarse segundo elemento, componente, región, capa o sección sin apartarse de las enseñanzas de la presente divulgación.

45

50

Los términos espacialmente relativos, tales como "por debajo", "debajo", "inferior", "encima", "superior" y similares, se pueden usar aquí para facilitar la descripción para describir una relación de elemento o característica con otro elemento(s) o característica(s) como se ilustra en las figuras. Debe entenderse que los términos espacialmente relativos pueden pretender abarcar diferentes orientaciones del dispositivo en uso u operación además de la orientación representada en las figuras.

55

La terminología usada en este documento es para el propósito de describir solamente realizaciones y ejemplos particulares y no se pretende que sea limitativa. Como se usa en el presente documento, la forma singular "un", "una" y "el/la" incluyen referencias plurales, a menos que el contexto dicte claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende", «comprendiendo», "incluye" y/o "incluyendo" cuando se usan en la presente memoria, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes, pero sí no impiden la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes.

A menos que se defina lo contrario, todos los términos (incluyendo términos técnicos y científicos) usados aquí tienen el mismo significado que se entiende comúnmente por un PHOSITA. Se entenderá además que los términos, tales como aquellos definidos en los diccionarios comúnmente usados, deben interpretarse como que tienen un significado que es consistente con su significado en el contexto de la técnica relevante y no deben interpretarse en un sentido idealizado o excesivamente formal a no ser que se defina expresamente en la presente memoria.

Ahora se hará la referencia a realizaciones de ejemplo, que se ilustran en los dibujos adjuntos, en los que números de referencia iguales se refieren a los componentes similares completamente.

Como se discutió anteriormente, aunque se describen las realizaciones de ejemplo en términos de los BWR, un PHOSITA debería reconocer que realizaciones de ejemplo también se aplican a otros tipos de reactores nucleares, tales como, por ejemplo, otros o reactores refrigerados por agua y/moderados por agua [por ejemplo, reactores de agua presurizada ("PWR"), reactores tipo piscina y reactores de agua pesada], reactores refrigerados por gas ("GCR") [por ejemplo, reactores avanzados refrigerados por gas ("AGR")], metal líquido reactores refrigerados y reactores de sal fundida ("MSR").

En los ejemplos, los aparatos para la determinación de los niveles de potencia en un reactor nuclear pueden incluir dos o más conductores eléctricos, uno o más dispositivos de señal, y/o un analizador. Los dos o más conductores eléctricos pueden ser, por ejemplo, conductores eléctricos de una línea de transmisión. Los aparatos pueden tener, por ejemplo, partes no móviles. Los aparatos pueden usar, por ejemplo, instrumentación completamente electrónica.

Los dos o más conductores eléctricos pueden estar dispuestos parcialmente o completamente dentro del reactor nuclear. Por ejemplo, los dos o más conductores eléctricos pueden estar dispuestos parcial o completamente dentro o cerca del núcleo del reactor nuclear.

Los dos o más conductores eléctricos pueden ser conductores de un cable coaxial (tal cable coaxial puede ser denominado, por ejemplo, como una línea de transmisión). El cable coaxial puede incluir un conductor interno (tal conductor interno se puede referir, por ejemplo, como conductor central, el conductor interno puede tener, por ejemplo, una forma sustancialmente cilíndrica), un conductor externo (tal conductor externo puede se hace referencia, por ejemplo, como un conductor de blindaje, el conductor externo puede tener, por ejemplo, una forma sustancialmente cilíndrica), material dieléctrico aislante entre los conductores interno y externo, y/o gas de llenado. Los conductores interno y externo pueden compartir un mismo eje. El cable coaxial puede ser flexible (por ejemplo, tener una funda trenzada) o sustancialmente inflexible (por ejemplo, tener una funda sólida). Dichos cables sustancialmente inflexibles pueden denominarse cables "rígidos" y/o "de línea dura" por un PHOSITA.

El cable coaxial puede incluir uno o más de otros componentes tales como, por ejemplo, una o más capas en el interior del conductor exterior y/o una o más capas exteriores del conductor exterior (una capa más externa - a menudo una capa aislante y/o resistente a daños - puede ser referida como una "chaqueta").

La figura 4 es una vista en perspectiva de un cable 400 coaxial. El cable 400 coaxial puede incluir el conductor 402 interno, el conductor 404 externo, el espacio 406 entre el conductor 402 interno y el conductor 404 externo, el material 408 dieléctrico aislante dispuesto en el espacio 406, y/o el gas 410 de llenado.

El conductor 402 interno puede ser, por ejemplo, un conductor eléctrico de longitud adecuada (por ejemplo, un alambre con una sección transversal sustancialmente redonda o de alguna otra sección transversal). Además, o en la alternativa, el conductor 402 interno puede tener una sección transversal sustancialmente redonda. El conductor 402 interno puede ser, por ejemplo, un conductor eléctrico hueco (por ejemplo, un tubo) o un conductor eléctrico sustancialmente sólido. El conductor 402 interno puede incluir, por ejemplo, uno o más metales, una o más aleaciones, y/o una o más composiciones de metal. Como se define aquí, el término "metal" significa un elemento seleccionado del grupo que consiste en litio, sodio, potasio, rubidio, cesio, berilio, magnesio, calcio, escandio, itrio, titanio, zirconio, hafnio, vanadio, niobio, tantalio, cromo, molibdeno, tungsteno, manganeso, renio, hierro, rutenio, osmio, cobalto, rodio, iridio, níquel, paladio, platino, cobre, plata, oro, zinc, cadmio, mercurio, aluminio, galio, indio, talio, carbono, silicio, estaño, plomo, arsénico, antimonio, bismuto, selenio, telurio, lantano, cerio, praseodimio, neodimio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio, lutecio, torio y uranio. Como se define aquí, el término "aleación" significa una combinación de metales múltiples que no están en una relación estequiométrica fija. Los ejemplos incluyen titanio 662 (titanio con aproximadamente 6 % en peso de aluminio, aproximadamente 6 % en peso de vanadio y aproximadamente 2 % en peso de estaño) y titanio 64 (titanio con aproximadamente 6 % en peso de aluminio y alrededor del 4 % por peso de vanadio). Como se define aquí, el término "composición de metal" significa un compuesto de metal o un compuesto intermetálico. Como se define aquí,

- el término "compuesto de metal" significa una combinación de más de un metal en una relación estequiométrica fija. Los ejemplos incluyen lantano 3-níquel (La_3Ni), lantano-níquel 5 (LaNi_5), torio-cobalto (Th_7Co_3), torio-hierro (Th_7Fe_3), torio-manganeso ($\text{Th}_6\text{Mn}_{23}$), torio-níquel ($\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$) y titanio-hierro (TiFe). Como se define aquí, el término "compuesto intermetálico" significa una combinación de uno o más metales con uno o más no metales en una relación estequiométrica fija. Los ejemplos incluyen titanato de bario (BaTiO_3) y deuteruro de litio-aluminio (LiAlD_4).
- 5 El conductor 402 interno puede ser un cobre sólido o conductor de acero inoxidable que tiene una sección transversal sustancialmente redonda, con un diámetro de aproximadamente 0,6 mm. Por ejemplo, el conductor 402 interno puede tener un diámetro de $0,022 + 0,002$ pulgadas (1 pulgada = 2,54 cm) ($0,056 + 0,005$ cm).
- 10 Del mismo modo, conductor 404 externo puede ser, por ejemplo, un conductor eléctrico hueco (por ejemplo, tubo) de longitud adecuada. Además, o en la alternativa, el conductor 404 externo puede tener una sección transversal sustancialmente redonda. El conductor 404 externo puede ser, por ejemplo, una funda hueca de un diseño sustancialmente sólido o trenzado. El conductor 404 externo puede incluir, por ejemplo, uno o más metales, una o más aleaciones y/o una o más composiciones de metal.
- 15 El conductor 404 externo puede ser una funda hueca de aluminio sólido o trenzado, cobre, plata o acero inoxidable que tiene una sección transversal redonda sección sustancialmente, con un diámetro interior dimensionado para lograr adecuada separación relativa al conductor 402 interno y/o como necesario para cumplir con los requisitos de impedancia (por ejemplo, un diámetro interno de aproximadamente 3 mm y/o un diámetro exterior de aproximadamente 4 mm). El conductor 404 externo puede ser una funda hueca con un diámetro interno de aproximadamente 2,7 mm y un diámetro exterior de aproximadamente 4,3 mm. Por ejemplo, el conductor 404 externo puede tener un diámetro interno nominal de 0,106 pulgadas (0,269 cm) y/o el conductor 404 externo puede tener un diámetro exterior nominal de $0,170 + 0,001$ pulgadas ($0,432 + 0,0025$ cm).
- 20 El conductor 404 externo puede incluir una funda interior y una funda exterior. Por ejemplo, la funda interior puede tener un diámetro interior dimensionado para lograr una separación adecuada con respecto al conductor 402 interno y/o según sea necesario para cumplir los requisitos de impedancia (por ejemplo, un diámetro interno nominal de 0,106 pulgadas) (0,269 cm). Por ejemplo, la funda exterior puede tener un diámetro exterior dimensionado según sea necesario para los requisitos de diseño (por ejemplo, un diámetro exterior nominal de $0,170 + 0,001$ pulgadas) ($0,432 + 0,0025$ cm).
- 25 El conductor 402 interior puede ser concéntrico con la funda interior de conductor 404 exterior. Por ejemplo, el conductor 402 interior puede ser concéntrico con la funda interna dentro de 0,015 pulgadas (0,038 cm). La concentricidad se puede verificar, por ejemplo, mediante radiografía de muestras de lotes de fabricación.
- 30 Las fundas interior y exterior pueden formarse en contacto íntimo entre sí. Por ejemplo, la funda interior puede estar metalúrgicamente unida a la funda exterior. En otro ejemplo, la funda interior puede contactar la funda exterior sobre la totalidad o sustancialmente toda la superficie exterior de la funda interior. En otro ejemplo más, la funda exterior puede contactar la funda interior sobre la totalidad o sustancialmente toda la superficie interior de la funda exterior.
- 35 El espacio 406 representa la separación física entre el conductor 402 interior y el conductor 404 exterior. El ancho del espacio 406 puede ser sustancialmente constante. Por ejemplo, si el conductor 402 interno tiene un diámetro de aproximadamente 0,6 mm y el conductor 404 externo tiene un diámetro interno de aproximadamente 2,7 mm, entonces el espacio 406 intermedio puede tener un ancho de aproximadamente 1,05 mm. En otro ejemplo, el conductor 402 interno puede tener un diámetro de 0,022 pulgadas (0,0558 cm), mientras que el conductor 404 externo puede tener un diámetro interno nominal de 0,106 pulgadas (0,269 cm), de modo que el espacio 406 puede tener un ancho de aproximadamente 0,042 pulgadas (0,106 cm).
- 40 El material 408 dieléctrico aislante dispuesto en el espacio 406 puede mantener la separación física entre el conductor 402 interno y el conductor 404 externo. La naturaleza y cantidad de material 408 dieléctrico aislante dispuesto en el espacio 406 puede afectar a la estanqueidad del empaquetamiento del espacio 406. Al menos en parte como resultado, el material 408 dieléctrico aislante puede impactar sobre diversas propiedades físicas del cable 400 coaxial, tal como la rigidez. El material 408 dieléctrico aislante puede comprender, por ejemplo, un único material dieléctrico aislante, múltiples materiales dieléctricos aislantes, o uno o más materiales dieléctricos aislantes compuestos.
- 45 El material 408 dieléctrico aislante puede incluir material capaz de soportar altas temperaturas, tales como las temperaturas encontradas en el núcleo de un reactor nuclear. Aislante material dieléctrico 408 puede tener una alta resistencia eléctrica (por ejemplo, una resistividad de volumen de aproximadamente 10^{14} ohm-cm a 25 °C). El material 408 dieléctrico aislante puede impactar diversas propiedades eléctricas del cable 400 coaxial, tal como la impedancia característica y la atenuación. Por ejemplo, el material 408 dieléctrico aislante puede comprender material inorgánico. Por ejemplo, el material 408 dieléctrico aislante puede incluir una o más formas diversas de cerámica, una o más formas diversas de vidrio, una o más formas diversas de esteatita, una o más formas de porcelana, uno o más óxidos metálicos y/o uno o más gases, por ejemplo, material 408 dieléctrico aislante puede incluir una o más de óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de magnesio (MgO), y dióxido de silicio (SiO_2). Por ejemplo, el material 408 dieléctrico aislante puede incluir polvo de dióxido de silicio.
- 50
- 55

Los cables coaxiales, tales como el cable 400 coaxial, son conocidos para un PHOSITA.

El material 408 dieléctrico aislante puede ser sólido, posiblemente en una forma que promueva la flexibilidad del cable 400 coaxial. Por ejemplo, el material 408 dieléctrico aislante puede estar en forma de perlas o polvo. El material 408 dieléctrico aislante puede incluir perlas de cerámica, óxido de aluminio (posiblemente en forma de polvo), óxido de magnesio (posiblemente en forma de polvo) y/o dióxido de silicio (posiblemente en forma de polvo).

El material 408 dieléctrico aislante se puede empaquetar de forma suelta con el fin de promover la flexibilidad del cable 400 coaxial y/o promover la distribución del gas 410 de llenado.

El gas 410 de llenado puede incluir un gas noble. Por ejemplo, el gas 410 de llenado puede incluir uno o más de helio (He), neón (Ne), argón (Ar), criptón (Kr), xenón (Xe) y radón (Rn). La presión (a temperatura ambiente) del gas 410 de llenado en el cable 400 coaxial puede ser mayor que o igual a aproximadamente 5 atmósferas ("atm"), mayor que o igual a aproximadamente 10 atm, y/o mayor que o igual a aproximadamente 12,5 atm. Además, o en la alternativa, la presión (a temperatura ambiente) del gas 410 de llenado en el cable 400 coaxial puede ser menor o igual a aproximadamente 25 atm, menor o igual a aproximadamente 20 atm, y/o menor o igual que aproximadamente 17,5 atm. Además, o en la alternativa, la presión (a temperatura ambiente) del gas 410 de llenado en el cable 400 coaxial puede ser, por ejemplo, mayor que o igual a aproximadamente 5 atm y menor que o igual a aproximadamente 25 atm, mayor que o igual a aproximadamente 10 atm y menor o igual a aproximadamente 20 atm, y/o mayor o igual a aproximadamente 12,5 atm y menor o igual a aproximadamente 17,5 atm. La presión (a temperatura ambiente) del gas 410 de llenado en el cable 400 coaxial puede ser de aproximadamente 15 atm.

La impedancia característica del cable 400 coaxial puede verse afectada por la geometría del cable 400 coaxial, las dimensiones físicas del conductor 402 interno y/o el conductor 404 externo, el tamaño del espacio 406, diversas propiedades del material 408 dieléctrico aislante, la cantidad de material 408 dieléctrico aislante, el tipo de gas 410 de llenado, y la presión del gas 410 de llenado, entre otros factores.

La impedancia característica del cable 400 coaxial puede ser mayor que o igual a aproximadamente 25 ohmios, mayor que o igual a aproximadamente 30 ohmios, mayor que o igual a aproximadamente 35 ohmios, mayor que o igual a aproximadamente 40 ohmios, mayor que o igual a aproximadamente 45 ohmios, mayor o igual que aproximadamente 50 ohmios, mayor o igual que aproximadamente 55 ohmios, mayor o igual que aproximadamente 60 ohmios, mayor o igual que aproximadamente 65 ohmios, y/o mayor que o igual a unos 70 ohmios. Además o en la alternativa, la impedancia característica del cable 400 coaxial puede ser menor o igual a aproximadamente 100 ohmios, menor o igual a aproximadamente 95 ohmios, menor o igual a aproximadamente 90 ohmios, menor o igual a aproximadamente 85 ohmios, menores o iguales a aproximadamente 80 ohmios, menores o iguales a aproximadamente 75 ohmios, menores o iguales a aproximadamente 70 ohmios, menores o iguales a aproximadamente 65 ohmios, menores o iguales a aproximadamente 60 ohmios, y/o menor o igual a aproximadamente 55 ohmios. Además, o en la alternativa, la impedancia característica del cable 400 coaxial puede ser, por ejemplo, mayor que o igual a aproximadamente 25 ohmios y menor que o igual a aproximadamente 75 ohmios, mayor que o igual a aproximadamente 40 ohmios y menor que o igual a aproximadamente 60 ohmios, y/o mayor o igual a aproximadamente 45 ohmios y menor o igual a aproximadamente 55 ohmios. Además, o en la alternativa, la impedancia característica del cable 400 coaxial puede ser, por ejemplo, mayor que o igual a aproximadamente 50 ohmios y menor que o igual a aproximadamente 100 ohmios, mayor que o igual a aproximadamente 65 ohmios y menor que o igual a aproximadamente 85 ohmios, y/o mayor o igual a aproximadamente 70 ohmios y menor o igual a aproximadamente 80 ohmios. La impedancia característica del cable 400 coaxial puede ser de aproximadamente 30 ohmios, 50 ohmios, 52 ohmios, 60 ohmios, 73 ohmios, 75 ohmios, 77 ohmios, o 93 ohmios. Por ejemplo, la impedancia característica del cable 400 coaxial puede ser mayor o igual a 70 ohmios y menor o igual a 78 ohmios.

La propagación de una o más señales (tales señales también pueden referirse, por ejemplo, a formas de onda, señales de forma de onda, conformación de onda y/o señales de conformación de onda) en, por ejemplo, el cable 400 coaxial puede estar asociado con la energía almacenada en el campo magnético de una o más señales dentro de la inductancia distribuida por unidad de longitud y la energía almacenada en el campo eléctrico de una o más señales dentro de la capacitancia distribuida por unidad de longitud. La impedancia Z_0 característica del cable 400 coaxial puede establecerse, por ejemplo, por los valores de inductancia distribuida por unidad de longitud L y la capacitancia por unidad de longitud C , distribuida uniformemente sobre la longitud del cable 400 coaxial.

La inductancia distribuida por unidad de longitud y/o capacitancia distribuida por unidad de longitud de un cable coaxial pueden ser funciones de la geometría, las dimensiones físicas de los conductores eléctricos, la distancia entre los conductores eléctricos, el tipo de material aislante dieléctrico entre los conductores eléctricos, la cantidad de material dieléctrico aislante entre los conductores eléctricos y/u otros factores. La impedancia Z_0 característica del cable 400 coaxial se puede expresar en términos de la inductancia distribuida por unidad de longitud L y la capacitancia por unidad de longitud C distribuye de acuerdo con la ecuación 1 más abajo (Z_0 es en ohmios, L es en henrios por metro, y C es en faradios por metro).

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \quad (1)$$

La impedancia Z_0 característica del cable 400 coaxial no puede cambiar si no se cambian las dimensiones físicas del conductor 402 interno, las dimensiones físicas del conductor 404 externo, y/o el tamaño del espacio 406 del cable 400 coaxial. Sin embargo, un cambio en la constante dieléctrica del material 408 dieléctrico aislante entre el conductor 402 interno y el conductor 404 externo puede cambiar la capacitancia distribuida por unidad de longitud C , mientras que la inductancia distribuida por unidad de longitud L puede permanecer igual. Cualquier cambio en la constante dieléctrica del material 408 dieléctrico aislante puede cambiar la capacitancia distribuida por unidad de longitud C , y por lo tanto puede cambiar impedancia Z_0 característica según la ecuación 1 anterior.

Una señal eléctrica requiere una cantidad finita de tiempo para propagarse desde un extremo de entrada hasta el extremo opuesto de un cable o línea de transmisión que tiene material dieléctrico aislante entre dos conductores eléctricos (lo mismo es cierto de propagación de la señal desde el extremo opuesto de vuelta a la entrada final). La velocidad de propagación por unidad de longitud puede depender de una constante dieléctrica del material dieléctrico aislante entre los dos conductores eléctricos, que puede determinar la capacitancia resultante por unidad de longitud de la línea de transmisión.

El material 408 dieléctrico aislante puede determinar la velocidad o velocidades a las que una o más señales (por ejemplo, una o más señales de forma de onda de paso y/o una o más señales de forma de onda de impulso) se propagan a través del cable 400 coaxial (por ejemplo, desde un extremo de entrada del cable 400 coaxial al extremo opuesto del cable 400 coaxial). La velocidad de propagación por unidad de longitud v puede expresarse en términos de inductancia distribuida por unidad de longitud L y capacitancia distribuida por unidad de longitud C de acuerdo con la ecuación 2 a continuación (v es en metros por segundo, L está en henrios por metro y C en faradios por metro).

$$v = 1/\sqrt{L * C} \quad (2)$$

La velocidad de propagación por unidad de longitud v también puede ser expresada en términos de característica de impedancia Z_0 y capacitancia distribuida por unidad de longitud C de una línea de transmisión. Combinando las ecuaciones 1 y 2 los rendimientos de la ecuación 3 a continuación (v es en metros por segundo, Z_0 es en ohmios, y C es en faradios por metro).

$$v = 1/(Z_0 * C) \quad (3)$$

Un condensador se puede definir, por ejemplo, por dos electrodos separados por un material dieléctrico aislante (por ejemplo, sólido y/o gas). Un material dieléctrico aislante puede experimentar polarización bajo la influencia de un campo eléctrico desarrollado entre los dos electrodos cuando se aplica un potencial eléctrico entre ellos (por ejemplo, dando como resultado electrodos positivos y negativos). La polarización del material dieléctrico aislante puede provocar una redistribución de cargas eléctricas positivas y negativas dentro del material dieléctrico aislante entre sí, por lo que las cargas eléctricas negativas dentro del material dieléctrico aislante se desplazan hacia el electrodo positivo y las cargas positivas dentro del material aislante el material dieléctrico se desplaza hacia el electrodo negativo. La polarización del material dieléctrico aislante entre los dos electrodos puede acoplar más líneas de flujo eléctrico y puede aumentar la densidad de flujo eléctrico por unidad de área entre los dos electrodos, aumentando así la carga eléctrica almacenada en el condensador, lo que da como resultado una capacitancia incrementada. Cuanto mayor es el grado en que un material dieléctrico aislante está polarizado, mayor es el valor de la constante dieléctrica del material dieléctrico aislante, lo que da como resultado un aumento de la densidad de flujo eléctrico por unidad de área entre los dos electrodos y una mayor capacitancia.

El flujo gamma procedente del núcleo del reactor nuclear puede interactuar directa y/o indirectamente con el gas 410 de llenado. Esta interacción puede ocurrir usando un mecanismo(s) similar a los siguientes. El flujo gamma puede interactuar, por ejemplo, con el conductor 404 externo. Tales interacciones de rayos gamma pueden emitir electrones secundarios energéticos a través de absorción fotoeléctrica, dispersión de Compton, interacciones de producción de pares y/u otros procesos.

Las interacciones de rayos gamma que se producen suficientemente cerca de una superficie de pared interior del conductor 404 externo, que crean y emiten electrones secundarios energéticos, puede permitir que algunos de los electrones secundarios energéticos emitidos para entrar en el espacio 406. Muchos de estos electrones secundarios energéticos emitidos pueden interactuar con uno o más átomos de gas 410 de llenado eliminando y liberando completamente electrones de los átomos del gas 410 de llenado. La eliminación y liberación de un electrón de un átomo de gas 410 de llenado da como resultado la ionización del átomo de gas 410 de llenado creando un par de iones que incluye el electrón libre (ion negativo) y el átomo de gas 410 de llenado con un electrón totalmente eliminado (ion positivo).

La energía perdida por un electrón secundario energético emitido que crea un par de iones a partir de una única interacción con un átomo de gas 410 de llenado puede ser una fracción muy pequeña de la energía total del electrón secundario energético emitido. Como consecuencia, el electrón secundario energético emitido puede perder más energía a través de interacciones posteriores con átomos de gas 410 de llenado que resultan en la creación de muchos pares de iones de numerosas interacciones con muchos átomos de gas 410 de llenado y la formación de una carga espacial ionizada entre el conductor 402 interno y el conductor 404 externo. La presencia de un potencial

eléctrico aplicado entre el conductor 402 interno y el conductor 404 externo puede desarrollar un campo eléctrico entre el conductor 402 interno y el conductor 404 externo que provoca la polarización de la carga espacial ionizada en el gas 410 de llenado.

5 La polarización de la carga espacial ionizada en el gas 410 de llenado puede lograrse mediante el desplazamiento y la separación de los iones positivos y negativos móviles dentro de la carga espacial ionizada que son atraídos y migran hacia el electrodo con carga opuesta. Los iones negativos más pequeños (electrones libres) pueden migrar a una velocidad mucho más rápida hacia el electrodo positivo y dejar atrás los iones positivos mucho más masivos y de migración más lenta (átomos de gas 410 de llenado con un electrón totalmente eliminado). La velocidad de migración mucho más rápida de los iones negativos puede hacer que la región del gas 410 de llenado en la
10 vecindad cercana del electrodo negativo esté mucho más agotada de iones negativos en comparación con los iones positivos migratorios mucho más lentos que quedan en las inmediaciones del electrodo negativo. Asimismo, la migración mucho más rápida de los iones negativos permite una acumulación y abundancia mucho mayores de iones negativos en la vecindad cercana del electrodo positivo. Como consecuencia, el desplazamiento y la separación de los iones positivos y negativos que se acumulan en la vecindad cercana de electrodos cargados opuestamente pueden polarizar eficazmente la carga espacial ionizada en el gas 410 de llenado debido a la
15 distribución polarizada de los iones de carga espacial.

La distribución polarizada de la carga espacial ionizado en gas 410 de llenado entre los electrodos positivos y negativos puede tener el efecto acumulativo de acoplamiento más líneas eléctricas y el aumento de la densidad de flujo eléctrico por unidad de área entre el conductor 402 interno y el conductor 404 externo. El aumento de la
20 densidad de flujo eléctrico entre el conductor 402 interno y el conductor 404 externo puede aumentar eficazmente la constante dieléctrica del gas 410 de llenado entre el conductor 402 interno y el conductor 404 externo y, como consecuencia, puede aumentar la constante dieléctrica del gas 410 de llenado, lo que puede aumentar la capacitancia distribuida resultante por unidad de longitud C del cable 400 coaxial. Un aumento en la capacitancia distribuida por unidad de longitud C debido al aumento de la constante dieléctrica del gas 410 de llenado puede
25 tener el efecto neto de la disminución de impedancia Z_0 característica del cable 400 coaxial. Cuanto mayor es el nivel de flujo gamma, mayor es la disminución de la impedancia Z_0 característica del cable 400 coaxial. El nivel de flujo gamma puede ser proporcional al nivel de potencia en un reactor nuclear, particularmente en o cerca de las condiciones de estado estacionario. Por lo tanto, el aumento de nivel de flujo gamma puede resultar en un mayor grado de disminución de impedancia Z_0 característica a lo largo de la longitud del cable 400 coaxial, y disminuye en
30 nivel de flujo gamma puede resultar en un menor grado de disminución de impedancia Z_0 característica a lo largo de la longitud del cable 400 coaxial.

El solicitante observa que el material 408 dieléctrico aislante puede contribuir a la separación y/o polarización. Tal contribución tendería a complementar el efecto neto del gas 410 de llenado en el cable 400 coaxial.

35 Como se discutió anteriormente, durante el funcionamiento de potencia de un reactor nuclear, los niveles de potencia normalmente se determinan midiendo el flujo de neutrones térmicos. Como se discutió anteriormente, durante el funcionamiento en estado estable, el flujo gamma típicamente es proporcional al flujo de neutrones térmicos. Y durante el funcionamiento no estable en el que el nivel de potencia del reactor cambia lentamente con el tiempo, el flujo gamma típicamente es sustancialmente proporcional al flujo de neutrones térmicos (por ejemplo, generalmente es proporcional al flujo de neutrones térmicos con algún retraso de tiempo).

40 El aparato puede proporcionar la capacidad de medir, por ejemplo, el flujo gamma local, del flujo de neutrones local de equivalente, el nivel de potencia del reactor local, y/o el flujo gamma, el flujo de neutrones equivalente, y/o el nivel de potencia del reactor de manera más general.

El aparato puede proporcionar capacidades adicionales. Por ejemplo, el aparato puede predecir la altura crítica de la
45 barra para una configuración de barra de control similar después de cambios repentinos en el nivel de potencia del reactor nuclear, tal como un bloqueo del reactor. En otro ejemplo, el aparato puede predecir niveles de potencia para una configuración de barra de control similar después de cambios repentinos en el nivel de potencia del reactor nuclear, como posición(es) de válvula de aislamiento de vapor principal anormal, cierre rápido de la(s) válvula(s) de cierre de turbina y/o cierre rápido de la(s) válvula(s) de control de la turbina. La precisión de tales predicciones puede depender de la forma de potencia dentro del núcleo del reactor nuclear.

50 De la discusión anterior, se puede observar que la impedancia del cable 400 coaxial, dispuesto en el núcleo del reactor nuclear en una orientación sustancialmente vertical, generalmente sigue las siguientes tendencias durante el funcionamiento de potencia del reactor nuclear: (a) debajo de la impedancia específica del núcleo del reactor nuclear igual a la impedancia característica; (b) en la parte inferior de la impedancia específica del núcleo del reactor nuclear algo menor que la impedancia característica; (c) desde la parte inferior del núcleo del reactor nuclear hacia cerca de
55 la impedancia específica del núcleo medio menor que la impedancia característica y generalmente disminuyendo de una manera sustancialmente continua; (d) cerca de la impedancia media del núcleo inferior a la impedancia característica y que generalmente alcanza un valor mínimo; (e) desde cerca del núcleo central hacia la parte superior de la impedancia específica del núcleo del reactor nuclear menor que la impedancia característica y generalmente aumentando de manera sustancialmente continua; (f) en la parte superior de la impedancia específica del núcleo del reactor nuclear algo menor que la impedancia característica; y (g) encima de la impedancia específica
60 del núcleo del reactor nuclear algo menor que la impedancia característica; y (g) encima de la impedancia específica

del núcleo del reactor nuclear igual a la impedancia característica.

El conductor 402 interno puede incluir acero inoxidable. El conductor 404 externo puede incluir dos capas, una funda interior y una funda exterior. La funda interior puede incluir cobre. La funda exterior puede incluir acero inoxidable.

El material 408 dieléctrico aislante puede incluir dióxido de silicio en forma de polvo.

- 5 En realizaciones de ejemplo, el gas 410 de llenado puede ser gas argón. El gas 410 de llenado puede tener una pureza superior al 99 %. El cable 400 coaxial puede estar presurizado a aproximadamente 1000 cm de Hg (1333 Pa, a temperatura ambiente) con gas 410 de llenado.

10 La capacitancia distribuida por unidad de longitud puede ser de aproximadamente 30 pF/m para una impedancia característica de 50 ohmios. La capacitancia distribuida por unidad de longitud puede ser de aproximadamente 20 pF/m para una impedancia característica de 75 ohmios. Por ejemplo, la capacitancia distribuida por unidad de longitud puede ser menor o igual a 27 pF/ft a 1 kHz.

La inductancia distribuida por unidad de longitud puede ser menor que o igual a 150 nH/ft.

15 Al menos uno de los dos o más conductores eléctricos puede ser conductores de un cable que no sea un cable coaxial. Por ejemplo, los dos o más conductores eléctricos pueden ser conductores de un par de hilos trenzados, par de alambres sin trenzar, cables gemelos, líneas Lecher, línea balanceada, línea desbalanceada, línea multiconductora, línea ranurada, línea resonante, línea no resonante, línea excéntrica, línea de escalera, línea de tira, línea de circuito abierto, línea de cortocircuito, línea artificial, línea cónica, línea de retardo, línea de derivación, línea paralela y/o cables adicionales que no sean un cable coaxial, siempre que los cambios en la impedancia específica se puedan medir con respecto al flujo gamma. Los dos o más conductores eléctricos pueden ser, por ejemplo, conductores eléctricos de una línea de transmisión. Los ejemplos pueden comprender dos o más conductores eléctricos de una línea de transmisión que incluye un gas de llenado, como se discutió anteriormente, de modo que el flujo gamma puede interactuar con el gas de llenado para cambiar la impedancia característica específica de la línea de transmisión.

20 Los dos o más conductores eléctricos pueden permitir niveles de potencia para determinación esencialmente sobre una base continua. Además, o en la alternativa, los dos o más conductores eléctricos pueden tener una resolución del orden de aproximadamente 1 a 2 pulgadas (2,54 a 5,08 cm) (es decir, se pueden obtener mediciones separadas de la impedancia específica de los dos o más conductores eléctricos de manera efectiva cada 1 - 2 pulgadas (2,54 a 5,08 cm) de longitud a lo largo de los dos o más conductores eléctricos).

30 Al menos uno de los dos o más conductores eléctricos puede complementar y/o reemplazar uno o más termómetros gamma y/o TIP. Por lo tanto, se pueden realizar una serie de mejoras en el reactor nuclear, tales como: mejorar la fiabilidad de la calibración de LPRM; reduciendo la complejidad del reactor nuclear; mejorar la confiabilidad del reactor nuclear; reduciendo el número de penetraciones en el recipiente del reactor; reduciendo el número de penetraciones en el edificio de contención; simplificando el diseño y/o la construcción del reactor nuclear; simplificar la supervisión, operación y/o mantenimiento del reactor nuclear; y/o reducir los costes de diseño, construcción, operación y/o mantenimiento del reactor nuclear.

35 La figura 5 es una vista en alzado lateral de un conjunto 500 de LPRM. Como se muestra, por ejemplo, en la figura 5, un tubo de calibración asociado con un TIP puede ser eliminado y/o un termómetro gamma puede ser reemplazado con el aparato. Como se muestra en la figura 5, el tubo 502 de guía del conjunto 500 de LPRM puede penetrar en la placa 504 de núcleo, permitiendo que el conjunto 500 de LPRM acceda al núcleo 506. Uno o más anillos 508 de guía del tubo 510 de cubierta LPRM pueden guiar la inserción del conjunto 500 de LPRM en el tubo 502 de guía. El tubo 502 de guía puede sellarse mediante un sello 512 de prensaestopas y/o una brida 514.

40 El conjunto 500 LPRM puede incluir, por ejemplo, cuatro detectores LPRM (no mostrado) y/o cinco conectores. El primer conector 516 puede conectarse a un primer detector LPRM, el segundo conector 518 puede conectarse a un segundo detector LPRM, el tercer conector 520 puede conectarse a un tercer detector LPRM y/o el cuarto conector 522 puede conectarse a un cuarto detector LPRM. Uno o más del primer conector 516, el segundo conector 518, el tercer conector 520 y el cuarto conector 522 pueden ser un conector fabricado por la compañía LEMO, con sede en Suiza, y conocido como un enchufe LEMO o receptáculo LEMO. Por ejemplo, uno o más del primer conector 516, el segundo conector 518, el tercer conector 520, y el cuarto conector 522 pueden ser un receptáculo LEMO de tamaño 1.

45 El quinto conector 524 puede conectarse al aparato del conjunto 500 LPRM. Por ejemplo, el quinto conector 524 puede conectarse a un cable eléctricamente conductor (no mostrado), tal como un cable coaxial. El quinto conector 524 puede ser, por ejemplo, un receptáculo LEMO de tamaño 1 o 3.

50 En conjunto 500 LPRM, el primero, segundo, tercero, y cuarto detectores LPRM se puede disponer en una disposición sustancialmente vertical. La disposición sustancialmente vertical puede incluir una separación entre el primero, segundo, tercero y cuarto detectores LPRM. El espaciado puede ser del mismo tamaño, o dos o más tamaños diferentes. La disposición sustancialmente vertical puede ser, por ejemplo, aproximadamente la misma en

cada conjunto 500 de LPRM. La disposición sustancialmente vertical puede permitir que el primero, segundo, tercero y cuarto detectores LPRM controlen el flujo de neutrones (típicamente flujo de neutrones térmicos) a cuatro alturas (o ubicaciones) diferentes en el núcleo 506. Las cuatro alturas (o ubicaciones) diferentes pueden ser, por ejemplo, aproximadamente las mismas en cada conjunto 500 de LPRM.

- 5 Uno o más tubos de calibración asociados con una TIP pueden ser eliminados y/o uno o más termómetros de rayos gamma pueden ser sustituidos con uno o más de los aparatos discutidos anteriormente. La eliminación de todos los tubos de calibración puede permitir la eliminación de todo el dispositivo TIP, permitiendo menos penetraciones de la contención primaria y/o del recipiente del reactor, simplificando las operaciones del reactor, reduciendo los costes de mantenimiento y/o reparación y reduciendo la exposición a la radiación y los problemas de contaminación. Del mismo modo, la eliminación de todos los termómetros gamma puede simplificar las operaciones del reactor, reducir los costes de mantenimiento y/o reparación, y reducir la exposición a la radiación y los problemas de contaminación.

Además, o en la alternativa, uno o más de los aparatos discutidos anteriormente pueden complementar uno o más tubos de calibración asociados con una TIP. Además, o en la alternativa, uno o más de los aparatos discutidos anteriormente pueden complementar uno o más termómetros gamma.

- 15 El uno o más dispositivos de señalización pueden estar dispuestos fuera de una contención primaria del reactor nuclear. Por ejemplo, el uno o más dispositivos de señal pueden estar dispuestos al menos parcialmente dentro o fuera de la contención primaria en el edificio del reactor.

- Al menos uno de los uno o más dispositivos de señal puede adaptarse para generar y/o aplicar una o más señales (por ejemplo, señales incidentes) a los dos o más conductores eléctricos, pueden adaptarse para recibir una o más señales (por ejemplo, señales reflejadas) desde los dos o más conductores eléctricos, o puede adaptarse para aplicar una o más señales (por ejemplo, señales incidentes) a los dos o más conductores eléctricos y recibir una o más señales (por ejemplo, señales reflejadas) de los dos o más conductores eléctricos (por ejemplo, un dispositivo de señal puede adaptarse para generar y aplicar una señal incidente a la entrada de dos conductores eléctricos y puede adaptarse para recibir dos o más señales reflejadas desde los dos conductores eléctricos). Por lo tanto, uno o más dispositivos de señal pueden funcionar, por ejemplo, como uno o más generadores de señal. Además, o en la alternativa, el uno o más dispositivos de señal pueden funcionar, por ejemplo, como uno o más receptores de señal.

- Al menos uno de los uno o más dispositivos de señal puede incluir un reflectómetro en el dominio del tiempo ("TDR"). El TDR puede emplear un generador de señal (por ejemplo, un generador de señal de forma de onda o de conformación de onda) que genera y/o aplica una señal incidente con un borde delantero rápido (es decir, un tiempo de subida rápido) al extremo de entrada de, por ejemplo, una línea de transmisión bajo examen. El TDR puede monitorear la(s) señal(es) incidente(s) y la(s) señal(es) reflejada(s) (por ejemplo, eco o ecos) con respecto al tiempo entre la(s) señal(es) incidente(s) y la(s) señal(es) reflejada(s) usando un osciloscopio de banda ancha en una disposición similar a sistema de radar de circuito cerrado. Por ejemplo, un TDR puede generar y/o aplicar una señal incidente y/o puede recibir dos o más señales reflejadas relacionadas con esa señal incidente individual (por ejemplo, un TDR puede generar y aplicar una señal incidente a la entrada de dos conductores eléctricos y puede recibir dos o más señales reflejadas relacionadas con esa señal incidente de los dos conductores eléctricos). Los exámenes de TDR pueden requerir una señal incidente con un borde delantero rápido - un borde delantero compuesto por componentes de muy alta frecuencia - y un osciloscopio de banda ancha para mejorar y lograr la resolución necesaria de las amplitudes de voltaje de la señal y el tiempo entre las señales de borde delantero rápidos incidentes y las señales reflejadas (por ejemplo, ecos). Una señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada de la línea de transmisión puede viajar a lo largo de la longitud de la línea de transmisión a la velocidad de propagación de la línea de transmisión. La impedancia característica de la línea de transmisión puede ser la impedancia presentada en el extremo de entrada de una línea de transmisión de longitud infinita y puede ser constante en toda la longitud de la línea de transmisión.

- 45 Cualquier cambio de la línea de transmisión de impedancia característica que existe a lo largo de la longitud de la línea de transmisión puede ser una condición de falta de coincidencia de impedancia. La condición de falta de coincidencia de impedancia puede causar que parte de la energía de la señal incidente se refleje hacia atrás desde la ubicación de la condición de falta de coincidencia de impedancia como una señal reflejada (por ejemplo, una señal reflejada de falta de coincidencia de impedancia) que retrocede hacia el extremo de entrada de la línea de transmisión a la velocidad de propagación de la línea de transmisión. La amplitud de voltaje de la señal reflejada total que viaja al extremo de entrada de la línea de transmisión es la suma algebraica de la amplitud de la señal incidente y la amplitud de la señal reflejada desde la ubicación de la condición de falta de coincidencia de impedancia que existe a lo largo de la longitud de la línea de transmisión. Un aumento de la impedancia por encima de la impedancia característica inicial de la línea de transmisión como resultado de una condición de falta de coincidencia de impedancia puede causar que parte de la energía de la señal de borde delantero rápido incidente cree una señal reflejada de amplitud de polaridad positiva, con respecto a la amplitud de la señal incidente, que se reflejará de nuevo en el extremo de entrada de la línea de transmisión. Asimismo, una disminución de la impedancia por debajo de la impedancia característica inicial de la línea de transmisión como resultado de una condición de falta de coincidencia de impedancia puede provocar que una parte de la energía de la señal de borde de ataque rápido incidente genere una señal reflejada de polaridad negativa, con respecto a la amplitud de la señal incidente, que se reflejará de nuevo en el extremo de entrada de la línea de transmisión. La amplitud y la polaridad de la señal

reflejada se pueden usar para determinación del valor de la(s) condición(es) de falta de coincidencia de impedancia que existe en la ubicación a lo largo de la longitud de la línea de transmisión. La forma y la polaridad de la señal reflejada se pueden usar para diagnosticar el tipo de condición(es) de falta de coincidencia de impedancia que existe a lo largo de la longitud de la línea de transmisión. El tiempo entre la aplicación de la señal incidente al extremo de entrada de la línea de transmisión y la recepción de la señal reflejada de nuevo al extremo de entrada de la línea de transmisión se puede usar para establecer la ubicación física de la condición de falta de coincidencia de impedancia que existe a lo largo de longitud de la línea de transmisión.

El TDR puede tener una impedancia mayor que o igual a aproximadamente 40 ohmios y menos de o igual a aproximadamente 120 ohmios. Por ejemplo, el TDR puede tener una impedancia de aproximadamente 50 ohmios.

Un TDR puede aplicar una señal de borde de incidente rápida al extremo de entrada de, por ejemplo, una línea de transmisión con el fin de propagar hacia el extremo opuesto de la línea de transmisión. Si la línea de transmisión tiene una impedancia característica uniforme en toda la longitud de la línea de transmisión, la señal de borde de ataque rápida incidente puede propagarse a lo largo de toda la línea de transmisión y nada de la energía de la señal de borde de ataque rápida incidente puede reflejarse de vuelta al extremo de entrada de la línea de transmisión. El extremo opuesto de la línea de transmisión no puede terminarse, lo que puede crear una condición de falta de coincidencia de circuito abierto en el extremo opuesto de la línea de transmisión y, por lo tanto, puede volver a reflejar de vuelta prácticamente toda la energía de la señal de borde de ataque rápida incidente al extremo de entrada de la línea de transmisión. Sin embargo, durante la operación de potencia de un reactor nuclear, una línea de transmisión en el núcleo del reactor nuclear que experimenta niveles variables de flujo gamma proporcionales al nivel de potencia del reactor puede no tener la impedancia característica uniforme original. Los niveles variables de flujo gamma pueden causar condiciones de falta de coincidencia de impedancia proporcional a lo largo de la línea de transmisión que pueden dar como resultado una disminución de la impedancia característica en proporción a los niveles variables de flujo gamma. Los cambios de impedancia característicos decrecientes variables que se producen a lo largo de la línea de transmisión pueden reflejar porciones proporcionales variables de la señal de borde de ataque rápida incidente en las ubicaciones correspondientes de los niveles variables de flujo gamma.

El cable 400 coaxial que experimenta niveles de flujo gamma variables en el núcleo del reactor nuclear puede desarrollar condiciones de falta de coincidencia de impedancia proporcionalmente variables. Las condiciones de falta de coincidencia de impedancia variables que pueden dar como resultado unas impedancias características específicas que varían proporcionalmente del cable 400 coaxial que pueden tender a ser menores que la impedancia característica original del cable 400 coaxial. Como resultado, las porciones variables de energía de la señal de borde delantero rápido incidente que creó la señal de energía reflejada de vuelta al extremo de entrada del cable 400 coaxial pueden ser proporcionales a los niveles de flujo gamma y/o pueden tener una polaridad negativa con respecto a la amplitud de la señal incidente.

Se realizaron las siguientes mediciones para establecer la impedancia característica específica del cable 400 coaxial: (1) la amplitud del voltaje de la señal de borde delantero rápido incidente (V_I) aplicada al extremo de entrada de cable 400 coaxial; (2) amplitud de voltaje de la señal reflejada total (V_{TR} , es decir, amplitud de voltaje de la señal reflejada total, que es la suma algebraica de la amplitud de voltaje de la señal de borde delantero rápido incidente y la amplitud de voltaje de la señal reflejada); y (3) la diferencia de tiempo entre el momento en que se aplicó la señal de borde delantero rápido incidente al extremo de entrada del cable 400 coaxial y el momento en que la señal reflejada total regresó al extremo de entrada del cable 400 coaxial.

$$V_I = \text{amplitud de tensión de la señal incidente} \quad (4)$$

$$V_{TR} = \text{amplitud de tensión de la señal reflejada total} \quad (5)$$

La amplitud del voltaje de la señal de borde delantero rápido incidente, V_I , se puede restar de la amplitud del voltaje de la señal reflejada total, V_{TR} , con el fin de establecer la amplitud del voltaje de la señal reflejada, V_R .

$$V_R = (\text{amplitud de tensión de señal reflejada total}) - (\text{amplitud de tensión de la señal incidente}) \quad (6)$$

$$V_R = V_{TR} - V_I \quad (7)$$

$$V_R = \text{amplitud de tensión de la señal reflejada} \quad (8)$$

Además, la impedancia característica específica, Z_S (en ohmios), en el lugar de la condición de falta de coincidencia a lo largo de la línea de transmisión puede ser calculada como una función de la impedancia característica original de la línea de transmisión, Z_O (en ohmios), la amplitud de voltaje de la señal de borde delantero rápido incidente, V_I , y la amplitud de voltaje de la señal reflejada, V_R , de acuerdo con la ecuación 10 a continuación.

$$Z_O = \text{impedancia característica original en ohmios} \quad (9)$$

$$Z_S = (Z_O) * [(V_I + V_R)/(V_I - V_R)] \quad (10)$$

$$Z_S = \text{impedancia característica específica en ohmios} \quad (11)$$

La diferencia de tiempo en nanosegundos (ns) entre el tiempo, t_o , cuando se aplicó la señal de borde delantero rápido incidente al extremo de entrada de cable 400 coaxial y el tiempo, t_R , cuando la señal reflejada total vuelve de nuevo al extremo de entrada del cable 400 coaxial puede establecer el intervalo de tiempo para la propagación de la señal desde la ubicación de la condición de falta de coincidencia de impedancia a lo largo de la longitud del cable 400 coaxial.

Además, la ubicación de una condición de impedancia de falta de coincidencia a lo largo de la longitud del cable 400 coaxial con respecto al extremo de entrada de cable 400 coaxial puede establecerse por la multiplicación de la diferencia de tiempo (en nanosegundos) por la velocidad de propagación de cable 400 coaxial (en metros por segundo) y dividiendo por dos (2). La división por dos es necesaria porque la porción de energía de la señal de borde delantero rápido incidente reflejada por la condición de falta de coincidencia de impedancia ubicada a lo largo del cable 400 coaxial hace un viaje de ida y vuelta desde el cable 400 coaxial a la ubicación de la condición de falta de coincidencia de impedancia y luego de vuelta al extremo de entrada del cable 400 coaxial.

La señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada del cable 400 coaxial requiere un tiempo finito para propagar una longitud de distancia de unidad hacia el extremo opuesto del cable 400 coaxial. Sin embargo, la capacitancia adicional creada entre los dos conductores del cable 400 coaxial por exposición a niveles de flujo gamma puede aumentar la capacitancia distribuida por unidad de longitud del cable 400 coaxial. El aumento de la capacitancia distribuida de cable 400 coaxial por unidad de longitud no solo puede disminuir la impedancia característica Z_o original, sino que también puede disminuir la velocidad de propagación por unidad de longitud v (ecuación 2) tanto de la señal de borde delantero rápido incidente y la señal reflejada creada por condiciones de falta de coincidencia de impedancia. Una disminución de la velocidad de propagación por unidad de longitud v puede hacer que el cable 400 coaxial aparezca electrónicamente más largo en longitud en comparación con la longitud física real del cable 400 coaxial. Por lo tanto, la ubicación electrónica de una condición de falta de coincidencia de impedancia debe corregirse para la cantidad total de retardo de propagación de señal acumulada incrementalmente en ambas direcciones para todas las condiciones de falta de coincidencia de impedancia existentes que existen a lo largo del cable 400 coaxial para establecer la ubicación física real de la condición de falta de coincidencia de impedancia.

La señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada de cable 400 coaxial puede tener un tiempo de subida de aproximadamente un (1) nanosegundo o menos con el fin de lograr la resolución suficiente de los lugares de falta de coincidencia de impedancia a lo largo de la longitud del cable 400 coaxial. La señal de borde delantero rápido incidente puede comprender, por ejemplo, una señal de conformación de onda escalonada. Dicha señal de conformación de onda escalonada puede mantener, por ejemplo, una amplitud de voltaje sustancialmente constante durante un período de tiempo. La señal de conformación de onda escalonada puede ser, por ejemplo, una onda cuadrada. La figura 6 es un gráfico que representa la señal 600 de conformación de onda escalonada. Como se muestra, por ejemplo, en la figura 6, la señal 600 de conformación de onda escalonada puede tener una amplitud de voltaje de pico a pico y/o un tiempo de subida b-a (es decir, la diferencia de tiempo entre el tiempo b y el tiempo a, o el tiempo b menos el tiempo a). La amplitud c de voltaje de pico a pico puede darse, por ejemplo, en unidades de voltios. El tiempo de subida b-a puede darse, por ejemplo, en unidades de nanosegundos. La figura 6 puede mostrar una aproximación idealizada de la señal 600 de conformación de onda escalonada.

La amplitud c de pico a pico de la señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada del cable 400 coaxial puede ser mayor o igual que aproximadamente 0,25 voltios, mayor o igual que aproximadamente 0,5 voltios, mayor que o igual a aproximadamente 1 voltio, mayor o igual que aproximadamente 2 voltios, mayor o igual a aproximadamente 3 voltios, mayor o igual que aproximadamente 4 voltios, mayor o igual que aproximadamente 5 voltios, mayor o igual que aproximadamente 7,5 voltios, y/o mayor o igual a aproximadamente 10 voltios. La señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada del cable 400 coaxial puede tener una amplitud c de pico a pico de aproximadamente 0,25 voltios.

El tiempo de subida ba de la señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada del cable 400 coaxial puede ser mayor o igual a aproximadamente 0,1 nanosegundos, mayor que o igual a aproximadamente 0,2 nanosegundos, mayor que o igual a aproximadamente 0,3 nanosegundos, mayor que o igual a aproximadamente 0,4 nanosegundos, mayor que o igual a aproximadamente 0,5 nanosegundos, mayor o igual a aproximadamente 0,75 nanosegundos, y/o mayor o igual a aproximadamente 1 nanosegundo. La señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada del cable 400 coaxial puede tener un tiempo de subida b-a de aproximadamente un (1) nanosegundo.

La señal de borde delantero rápido incidente puede comprender, por ejemplo, una señal de conformación de onda de impulso. La figura 7 es un gráfico que representa la señal 700 de conformación de onda de impulso. Como se muestra, por ejemplo, en la figura 7, una señal 700 de forma de onda de impulso puede tener una amplitud de corriente de pico a pico y/o una anchura de impulso e-d (es decir, la diferencia de tiempo entre el tiempo e y el tiempo d, o el tiempo e menos el tiempo d). La amplitud f de pico a pico puede darse, por ejemplo, en unidades de voltios. El ancho de impulso e-d se puede dar, por ejemplo, en unidades de nanosegundos. La figura 7 puede mostrar una aproximación idealizada de la señal 700 de conformación de onda de impulso.

- 5 La amplitud f de pico a pico de la señal incidente de borde delantero aplicada al extremo de entrada del cable 400 coaxial puede ser mayor o igual que aproximadamente 0,25 voltios, mayor que o igual a aproximadamente 0,5 voltios, mayor que o igual a aproximadamente 1 voltio, mayor o igual que aproximadamente 2 voltios, mayor o igual a aproximadamente 3 voltios, mayor o igual que aproximadamente 4 voltios, mayor o igual que aproximadamente 5 voltios, mayor o igual que aproximadamente 7,5 voltios , y/o mayor o igual a aproximadamente 10 voltios. La señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada del cable 400 coaxial puede tener una amplitud de pico a pico de aproximadamente 0,25 voltios.
- 10 El ancho de pulso e-d de la señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada del cable 400 coaxial puede ser mayor o igual a aproximadamente 0,1 nanosegundos, mayor que o igual a aproximadamente 0,2 nanosegundos , mayor que o igual a aproximadamente 0,3 nanosegundos , mayor que o igual a aproximadamente 0,4 nanosegundos, mayor que o igual a aproximadamente 0,5 nanosegundos, mayor o igual a aproximadamente 0,75 nanosegundos, y/o mayor o igual a aproximadamente 1 nanosegundo. La señal de borde delantero rápido incidente aplicada al extremo de entrada del cable 400 coaxial puede tener un ancho de pulso e-d de aproximadamente un (1) nanosegundo.
- 15 Los datos de la señal 600 de conformación de onda escalonada pueden usarse para calcular la distribución de potencia relativa del reactor. Adicionalmente, puede ser posible calcular la distribución de potencia relativa del reactor usando datos de la señal 700 de conformación de onda de impulso.
- 20 El analizador puede estar dispuesto fuera de una contención primaria del reactor nuclear. Por ejemplo, el analizador puede estar dispuesto al menos parcialmente fuera de la contención primaria, pero dentro del edificio del reactor. En otro ejemplo, al menos parte del analizador puede estar dispuesta dentro de la contención primaria.
- El analizador puede estar adaptado para determinación del nivel de potencia en el reactor nuclear usando al menos uno de las una o más señales de borde delantero rápido incidente aplicados al extremo de entrada de cable 400 coaxial y al menos una de la una o más señales recibidas.
- 25 La figura 8 es un diagrama de bloques del sistema 800 de análisis. El sistema 800 de análisis puede incluir, por ejemplo, dispositivo 802 de control de temporización, primer dispositivo 804 de extracción y/o de cálculo , segundo dispositivo 806 de cálculo, tercer dispositivo 808 de cálculo, cuarto dispositivo 810 de cálculo, quinto dispositivo 812 de cálculo, sexto dispositivo 814 de cálculo, séptimo dispositivo 816 de cálculo, dispositivo 818 de selección y/o control, conmutador 820, generador 822 de señal (por ejemplo, un generador de señal de forma de onda o de onda), amplificador 824 de señal, red 826 de adaptación de impedancia, línea(s) 828 de transmisión y/u ordenador 830.
- 30 Otros componentes representados en la figura 8 incluyen, por ejemplo, la primera penetración 832 de contención primaria, dos o más conductores 834 eléctricos, núcleo 836 y segunda penetración 838 de contención primaria. En la figura 8, la primera penetración 832 de contención primaria y la segunda penetración 838 de contención primaria se muestran como una pared 842 de contención primaria penetrante.
- 35 La figura 8 también muestra las flechas A-E. La primera flecha A puede indicar, por ejemplo, una dirección de la señal de borde delantero rápido incidente. La segunda flecha B puede indicar, por ejemplo, una dirección de la señal de borde delantero rápido incidente. La tercera flecha C puede indicar, por ejemplo, las direcciones de la señal de borde delantero rápido incidente y la señal reflejada. La cuarta flecha D puede indicar, por ejemplo, una dirección de la señal de borde delantero rápido incidente y la señal reflejada. La quinta flecha E puede indicar, por ejemplo, una dirección de la señal de borde delantero rápido incidente y la señal reflejada.
- 40 El analizador 840 puede incluir, por ejemplo, uno o más dispositivos 802 de control de temporización, primer dispositivo 804 de extracción y/o de cálculo, segundo dispositivo 806 de cálculo, tercer dispositivo 808 de cálculo, cuarto dispositivo 810 de cálculo, quinto dispositivo 812 de cálculo, sexto dispositivo 814 de cálculo, séptimo dispositivo 816 de cálculo, dispositivo 818 de selección y/o control, y/u ordenador 830.
- 45 El dispositivo 802 de control de temporización puede enviar una señal SIG1 a diversos componentes del sistema 800 de análisis, como el primer dispositivo 804 de extracción y/o de cálculo, segundo dispositivo 806 de cálculo, tercer dispositivo 808 de cálculo, cuarto dispositivo 810 de cálculo, quinto dispositivo 812 de cálculo, sexto dispositivo 814 de cálculo, séptimo dispositivo 816 de cálculo, y/o dispositivo 818 de selección y/o control. La señal SIG1 puede incluir una o más subseñales, como la señal SIG2, la señal SIG3, la señal SIG4, la señal SIG5, la señal SIG6, la señal SIG7, la señal SIG8 y/o la señal SIG9. Una o más de las señales secundarias de la señal SIG1 pueden ser las mismas que la señal SIG1. Además, o en la alternativa, una o más de las señales secundarias de la señal SIG1 pueden ser iguales entre sí. La señal 1 se puede referir como "señal SIG1 de control de temporización de tiempo de inicio y/o incremental".
- 50 El dispositivo 818 de selección y/o control puede recibir la señal SIG2 desde el dispositivo 802 de control de temporización. La señal SIG2 puede hacer que el dispositivo 818 de selección y/o control envíe la señal SIG10 a diversos componentes del sistema 800 de análisis, tal como el conmutador 820, el generador 822 de señal y/o el amplificador 824 de señal. La señal SIG10 puede incluir una o más subseñales, como la señal SIG11, la señal SIG12 y/o la señal SIG13. Una o más de las señales secundarias de la señal SIG10 pueden ser las mismas que la señal SIG10. Además, o en la alternativa, una o más de las señales secundarias de la señal SIG10 pueden ser

iguales entre sí. La señal de señal SIG10 puede denominarse "señal SIG10 de selección de detector y/o señal de inicio".

5 El conmutador 820 puede recibir la señal SIG11 desde el dispositivo 818 de selección y/o control a través de la primera penetración 832 de contención primaria. La señal SIG11 puede hacer que el conmutador 820 seleccione dos o más conductores 834 eléctricos dispuestos al menos parcialmente dentro del núcleo 836.

El generador 822 de señales puede recibir la señal SIG12 desde el dispositivo 818 de selección y/o control a través de la primera penetración 832 de contención primaria. La señal SIG12 puede provocar que el generador 822 de señal genere una o más señales de borde delantero rápido incidentes (no mostradas), tales como una o más señales de conformación de onda escalonada y/o una o más señales de conformación de onda de impulso.

10 El amplificador 824 de señal puede recibir la señal SIG13 desde el dispositivo 818 de selección y/o control, como se describe a continuación.

15 El generador 822 de señal puede enviar la una o más señales de borde delantero iniciales incidentes a los dos o más conductores 834 eléctricos a través de la red 826 de adaptación de impedancia, conmutador 820 y/o línea(s) 828 de transmisión (por ejemplo, generador 822 de señal) puede enviar una señal de borde delantero rápido incidente a la entrada de dos conductores 834 eléctricos a través de la red 826 de adaptación de impedancia, el conmutador 820 y/o la(s) línea(s) 828 de transmisión). La una o más señales reflejadas pueden regresar a la red 826 de adaptación de impedancia a través de la(s) línea(s) 828 de transmisión y/o el conmutador 820 (por ejemplo, dos o más señales reflejadas relacionadas con la señal de borde delantero incidente pueden regresar a la red de adaptación de impedancia 826 a través de la(s) línea(s) 828 de transmisión y/o el conmutador 820). La una o más
20 señales de borde delantero y/o señales reflejadas pueden viajar desde la red 826 de adaptación de impedancia a través de la segunda penetración 838 de contención primaria al amplificador 824 de señal (por ejemplo, la señal de borde delantero rápido incidente y las dos o más señales reflejadas relacionadas a la señal de borde delantero rápido incidente puede viajar desde la red 826 de adaptación de impedancia a través de la segunda penetración 838 de contención primaria al amplificador 824 de señal). El amplificador 824 de señal puede amplificar y/o almacenar
25 una o más señales de borde delantero y/o señales reflejadas (por ejemplo, el amplificador 824 de señal puede amplificar y almacenar la señal de borde delantero rápido incidente y las dos o más señales reflejadas).

30 En una posible coordinación con la señal SIG13 desde el dispositivo 818 de selección y/o de control, el amplificador 824 de señal puede enviar la señal SIG14 a varios componentes del sistema 800 de análisis, como el primer dispositivo 804 de extracción y/o de cálculo y/o el dispositivo 802 de control de temporización. La señal SIG14 puede incluir una o más subseñales, como la señal SIG15 y/o la señal SIG16. Una o ambas de las subseñales de la señal SIG14 pueden ser las mismas que la señal SIG14. Además, o en la alternativa, las subseñales de la señal SIG14 pueden ser las mismas que las demás. La señal SIG16 puede denominarse "señal TDR SIG16".

35 El dispositivo 802 de control de temporización puede recibir la señal SIG15 del amplificador 824 de señal. La señal SIG15 puede proporcionar retroalimentación sobre el funcionamiento de partes del sistema 800 de análisis al dispositivo 802 de control de temporización.

El primer dispositivo 804 de extracción y/o de cálculo 804 puede recibir SIG16 señal del amplificador de la señal 824 de extracción y/o primer dispositivo 804 de cálculo puede extraer la amplitud del voltaje de la señal de borde delantero rápido incidente V_O de la señal SIG16 y/o puede calcular la amplitud del voltaje de la señal reflejada V_R basada en la señal SIG16. Las extracciones y/o cálculos se pueden realizar como se discutió anteriormente.

40 En una posible coordinación con la señal SIG7 del dispositivo 802 de control de temporización, el primer dispositivo 804 de extracción y/o de cálculo puede enviar la señal SIG17 (que representa la amplitud del voltaje de la señal de borde delantero rápido incidente V_O) y/o la señal SIG18 (amplitud de voltaje que representa de la señal reflejada V_R) al segundo dispositivo 806 de cálculo. Sobre la base de la impedancia característica Z_O original, la amplitud del voltaje de la señal de borde delantero rápido incidente V_O , y/o la amplitud del voltaje de la señal reflejada V_R , el
45 segundo dispositivo 806 de cálculo puede calcular impedancia característica específica Z_S para diversos lugares a lo largo de la longitud de los dos o más conductores 834 eléctricos del cable 400 coaxial dispuestos al menos parcialmente dentro del núcleo 836. Además, o en la alternativa, el segundo dispositivo 806 de cálculo puede utilizar, por ejemplo, una tabla de consulta para determinación de la impedancia característica específica Z_S . Los cálculos se pueden realizar como se discutió anteriormente.

50 En una posible coordinación con la señal SIG8 del dispositivo 802 de control de temporización, el segundo dispositivo 806 de cálculo puede enviar la señal SIG19 (representando la impedancia característica específica Z_S) a varios componentes del sistema 800 de análisis, como tercer dispositivo 808 de cálculo, cuarto dispositivo 810 de cálculo, y/o el quinto dispositivo 812 de cálculo. La señal SIG19 puede incluir una o más subseñales, como la señal SIG20, la señal SIG21 y/o la señal SIG22. Una o más de las señales secundarias de la señal SIG19 pueden ser las
55 mismas que la señal SIG19. Además, o en la alternativa, una o más de las señales secundarias de la señal SIG19 pueden ser iguales entre sí.

En tercer dispositivo 808 de cálculo puede recibir la señal SIG20 (que representa impedancia característica específica Z_S) desde el segundo dispositivo 806 de cálculo. En una posible coordinación con la señal SIG9 del

5 dispositivo 802 de control de temporización, el tercer dispositivo 808 de cálculo puede usar la señal SIG20 para calcular el nivel específico de potencia del reactor para varias ubicaciones a lo largo de los dos o más conductores eléctricos 834 del cable 400 coaxial dispuestos al menos parcialmente dentro del núcleo 836. Además, o en la alternativa, el tercer dispositivo 808 de cálculo puede usar, por ejemplo, una tabla de consulta para determinación del nivel de potencia del reactor específico (por ejemplo, el nivel de flujo gamma local).

En una posible coordinación con la señal SIG9 del dispositivo 802 de control de temporización, el tercer dispositivo 808 de cálculo puede enviar la señal SIG23 (que representa el nivel de potencia del reactor específico para varios lugares a lo largo de la longitud de los dos o más conductores 834 eléctricos del cable 400 coaxial al menos en parte dispuesto dentro del núcleo 836) al ordenador 830.

10 El cuarto dispositivo 810 de cálculo puede recibir la señal SIG21 (que representa la impedancia característica específica Z_s) del segundo dispositivo 806 de cálculo. En la posible coordinación con la señal SIG6 del dispositivo 802 de control de temporización, el cuarto dispositivo 810 de cálculo puede utilizar la señal SIG21 para calcular capacitancia distribuida específica por unidad de longitud C_s del cable 400 coaxial. Además, o en la alternativa, el cuarto dispositivo 810 de cálculo puede usar, por ejemplo, una tabla de consulta para determinación de la capacitancia distribuida específica por unidad de longitud C_s del cable 400 coaxial. Los cálculos se pueden realizar como se discutió anteriormente.

15 En una posible coordinación con la señal SIG6 del dispositivo 802 de control de temporización, el cuarto dispositivo 810 de cálculo puede enviar la señal SIG24 (que representa capacitancia distribuida específica por unidad de longitud C_s) a varios componentes del sistema 800 de análisis, como quinto dispositivo 812 de cálculo y/o sexto dispositivo 814 de cálculo. La señal SIG24 puede incluir una o más subseñales, como la señal SIG25 y/o la señal SIG26. Una o ambas de las subseñales de la señal SIG24 pueden ser las mismas que la señal SIG24. Además, o en la alternativa, las subseñales de la señal SIG24 pueden ser las mismas que las demás.

20 El quinto dispositivo 812 de cálculo puede recibir la señal SIG22 (que representa la impedancia de característica específica Z_s) del segundo dispositivo 806 de cálculo y/o la señal SIG25 (que representa la capacitancia distribuida específica por unidad de longitud C_s) desde el cuarto dispositivo 810 de cálculo. En la posible coordinación con la señal SIG5 del dispositivo 802 de control de temporización, el quinto dispositivo 812 de cálculo puede utilizar las señales SIG22 y/o SIG25 para calcular el factor de velocidad de propagación específico por unidad de longitud v_s . Además, o en la alternativa, quinto dispositivo 812 de cálculo puede utilizar, por ejemplo, una tabla de consulta para determinación del factor de velocidad de propagación específico por unidad de longitud v_s . Los cálculos se pueden realizar como se discutió anteriormente.

25 En una posible coordinación con la señal SIG5 del dispositivo 802 de control de temporización, el quinto dispositivo 812 de cálculo puede enviar la señal SIG27 (que representa el factor de velocidad de propagación específico por unidad de longitud v_s) al sexto dispositivo 814 de cálculo.

30 El sexto dispositivo 814 de cálculo puede recibir la señal SIG26 (que representa capacitancia distribuida específica por unidad de longitud C_s) desde el cuarto dispositivo 810 de cálculo y/o la señal SIG27 (que representa el factor de velocidad de propagación específico por unidad de longitud v_s) desde el quinto dispositivo 812 de cálculo.

35 En una posible coordinación con la señal SIG4 del dispositivo 802 de control de temporización, el sexto dispositivo 814 de cálculo puede usar las señales SIG26 y/o SIG27 para calcular el tiempo con una corrección de tiempo incremental específica Δt . Además, o en la alternativa, el sexto dispositivo 814 de cálculo puede usar, por ejemplo, una tabla de búsqueda para determinación del tiempo con corrección de tiempo incremental específica Δt . Los cálculos se pueden realizar como se discutió anteriormente.

40 En una posible coordinación con la señal SIG4 del dispositivo 802 de control de temporización, el sexto dispositivo 814 de cálculo puede enviar la señal SIG28 (que representa el tiempo con corrección de tiempo incremental específica Δt) al séptimo dispositivo 816 de cálculo.

45 El séptimo dispositivo 816 de cálculo puede recibir la señal SIG28 (que representa el tiempo con corrección de tiempo incremental específica Δt) desde el sexto dispositivo 814 de cálculo. En una posible coordinación con la señal SIG3 desde el dispositivo 802 de control de temporización, el séptimo dispositivo 816 de cálculo puede usar la señal SIG28 para calcular ubicaciones específicas a lo largo de los dos o más conductores 834 eléctricos del cable 400 coaxial dispuestos al menos parcialmente dentro del núcleo 836. Además, o en la alternativa, el séptimo dispositivo 816 de cálculo puede usar, por ejemplo, una tabla de consulta para determinación de ubicaciones específicas a lo largo de los dos o más conductores 834 eléctricos del cable 400 coaxial al menos parcialmente dispuestos dentro del núcleo 836. En formas de realización de ejemplo, los cálculos se pueden realizar como se discutió anteriormente.

50 En una posible coordinación con la señal SIG3 desde el dispositivo 802 de control de temporización, el séptimo dispositivo 816 de cálculo puede enviar la señal SIG29 (que representa la ubicación del núcleo específico) al ordenador 830.

55 El dispositivo 818 de selección y/o control puede enviar la señal SIG30 (que representa los dos o más conductores 834 eléctricos seleccionados del cable 400 coaxial) al ordenador 830.

- 5 En parte, el ordenador 830 puede coordinar diversos componentes del sistema 800 de análisis y/o realizar los cálculos descritos en esta solicitud de operación de reactores nucleares y para determinación de los niveles de potencia en los reactores nucleares. El ordenador 830 puede procesar datos para producir, por ejemplo, resultados de potencia distribuida. El ordenador 830 también puede registrar datos, datos posteriores al proceso y/o mostrar datos.
- La primera penetración 832 de contención primaria y la segunda penetración 838 de contención primaria pueden combinarse en una sola penetración.
- 10 En parte porque virtualmente todos los componentes y materiales dentro de la contención primaria pueden estar sujetos a al menos alguna degradación debida al envejecimiento resultante de la temperatura, flujo de neutrones y/o flujo gamma, uno o más de los conmutadores 820, generador 822 de señales, y la red 826 de adaptación de impedancias puede estar dispuesta fuera de la contención primaria. En esta situación, puede producirse una pérdida de sensibilidad y/o resolución (es decir, la resolución puede ser del orden de 1 a 3 pulgadas) (2,54 a 7,62 cm).
- 15 El conmutador 820 puede ser, por ejemplo, un conmutador electrónico y/o mecánico, como es conocido por un PHOSITA. Además, o en la alternativa, el conmutador 820 puede ser, por ejemplo, un conmutador coaxial, como lo conoce un PHOSITA.
- Uno o más del generador 822 de señal, el amplificador 824 de señal y la red 826 de adaptación de impedancia se pueden incluir en un TDR (no mostrado).
- 20 Se aplicó una señal de borde delantero rápido incidente al extremo de entrada del cable 400 coaxial para obtener las siguientes amplitudes de voltaje: (1) la amplitud de voltaje V_I de la señal de borde delantero rápido incidente; y (2) la amplitud de voltaje V_{TR} de la señal reflejada total a partir de las condiciones de falta de coincidencia de impedancia.
- 25 La amplitud de voltaje de las señales mencionadas anteriormente fue primero directamente aplicada a la ecuación 7 para encontrar la amplitud de voltaje de la señal reflejada V_R con relación a la amplitud de voltaje de la señal de borde delantero rápido incidente V_I . A continuación, las amplitudes de voltaje resultantes se aplican directamente a la ecuación 10 para encontrar la impedancia característica Z_O específica como una función del original característica de impedancia Z_s .
- 30 Un enfoque alternativo puede incluir la aplicación de una duración muy corta (0,2 ns a 2 ns de duración) del impulso de conformación de onda de señal al extremo de entrada de cable 400 coaxial con el fin de obtener mediciones de voltaje de la señal de borde delantero rápido incidente y la señal reflejada a partir de la condición de falta de coincidencia de impedancia. La amplitud y forma del voltaje de la señal reflejada compleja puede depender de la derivada en el tiempo (d/dt) del voltaje de la señal incidente que es la primera derivada relacionada con la tasa de cambio de la condición de falta de coincidencia de la impedancia. Tal enfoque alternativo para determinación del perfil de potencia de un reactor nuclear es posible, pero puede requerir más procesamiento de señal y cálculos. La obtención del perfil de potencia del reactor nuclear puede ser más fácil y/o menos compleja de lograr utilizando una señal de borde delantero rápido incidente.
- 35 El nivel de potencia determinado en un reactor nuclear puede incluir un nivel de potencia de estado estacionario y/o un nivel de potencia de estado no estacionario. El nivel de potencia de estado estacionario y/o el nivel de potencia de estado no estacionario pueden incluir uno o más niveles de potencia estimados. El nivel de potencia de estado no estacionario puede ser, por ejemplo, un nivel de potencia transitoria.
- 40 El nivel de potencia puede determinarse en una o más dimensiones parciales o completas del núcleo del reactor nuclear en cualquiera de varias orientaciones direccionales. El nivel de potencia puede determinarse en uno o más anchos parciales o completos del núcleo del reactor nuclear. El nivel de potencia puede determinarse en una o más secciones del núcleo del reactor nuclear.
- 45 Se pueden desarrollar uno o más perfiles unidimensionales del nivel de potencia en el reactor nuclear. El uno o más perfiles unidimensionales pueden incluir, por ejemplo, uno o más perfiles verticales del nivel de potencia, uno o más perfiles horizontales del nivel de potencia, uno o más perfiles radiales del nivel de potencia y/o uno o más perfiles diagonales.
- 50 Se pueden desarrollar uno o más perfiles bidimensionales del nivel de potencia en el reactor nuclear. Uno o más perfiles bidimensionales pueden incluir, por ejemplo, uno o más perfiles verticales versus horizontales del nivel de potencia, uno o más perfiles verticales contra radiales del nivel de potencia, uno o más perfiles de sección transversal vertical del nivel de potencia, uno o más perfiles de sección transversal horizontal del nivel de potencia, uno o más perfiles de sección transversal radial del nivel de potencia, y/o uno o más perfiles de sección transversal diagonal.
- 55 Se pueden desarrollar uno o más perfiles bidimensionales o tridimensionales del nivel de potencia en el reactor nuclear. El uno o más perfiles bidimensionales o tridimensionales pueden incluir, por ejemplo, un perfil vertical del nivel de potencia, un perfil horizontal del nivel de potencia, un perfil radial del nivel de potencia y/o un perfil diagonal del nivel de potencia. Por ejemplo, un perfil bidimensional puede incluir un perfil radial del nivel de potencia en el

reactor nuclear en forma de una sección transversal radial, posiblemente tomada a lo largo de una fila o diagonal de detectores LPRM y/o conjuntos LPRM 500. En otro ejemplo, un perfil bidimensional puede incluir un perfil vertical y un perfil horizontal del nivel de potencia en el reactor nuclear en forma de una sección transversal vertical, posiblemente tomada a lo largo de una fila o diagonal de detectores LPRM y/o conjuntos LPRM 500.

- 5 Los numerosos detectores LPRM (por ejemplo, 256) y la resolución del aparato (por ejemplo, del orden de aproximadamente 1-2 pulgadas) (2,54 - 5,08 cm) pueden permitir que el nivel de potencia en el reactor nuclear se determine de muchas maneras diferentes.

La figura 9A es un gráfico de la amplitud del voltaje de la señal reflejada V_R (en unidades de milivoltios) frente al tiempo (en unidades de nanosegundos) para un reactor nuclear que opera a aproximadamente 92 % de potencia (nivel de potencia del reactor medido se informó como 92,4 %). En la figura 9A, los valores de amplitud de voltaje frente a tiempo se midieron en una ubicación central específica en el Día 1. La señal de borde delantero rápido incidente fue una señal de forma de onda escalonada, con una amplitud de voltaje pico a pico igual o aproximadamente 0,25 voltios y un tiempo de subida igual o aproximadamente 1 nanosegundo. El carácter 902 de referencia puede indicar, por ejemplo, una conexión en la que un cable entra en el fondo del recipiente del reactor. El carácter 904 de referencia puede aproximarse, por ejemplo, a un empalme en el que el material de los conductores eléctricos cambia de cobre a acero inoxidable (como se puede observar en la figura 9A, el empalme de los conductores eléctricos puede tener un impacto relativamente largo en la(s) señal(es) reflejada(s), de modo que puede tener que calcularse el punto en el cual el cable ingresa al núcleo del reactor nuclear y/o el punto en el que el cable se conecta a un detector WRNM). El empalme se puede ubicar, por ejemplo, aproximadamente a 2 pies (60,96 cm) por debajo de la parte inferior del núcleo del reactor nuclear. El empalme puede ser intrínsecamente capacitivo, puede causar una perturbación de impedancia temporal y/o puede crear una señal de reflexión de falta de coincidencia de impedancia de amplitud grande cuyo efecto eléctrico puede extenderse una corta distancia más allá y/o por encima de la ubicación física del empalme. Dicha perturbación de impedancia temporal causada por el empalme puede interferir con las señales de reflexión de falta de coincidencia de impedancia desarrolladas en el núcleo del reactor nuclear antes de que la señal de reflexión de falta de coincidencia de impedancia de empalme decaiga gradualmente a un valor insignificante a aproximadamente 0,2 m por encima del núcleo del reactor nuclear. El carácter 906 de referencia puede aproximarse, por ejemplo, cuando el cable entra en el núcleo del reactor nuclear. El carácter 908 de referencia puede aproximarse, por ejemplo, cuando el cable se conecta al detector WRNM.

La figura 9B es un gráfico de la amplitud del voltaje de la señal reflejada V_R (en unidades de milivoltios) frente al tiempo (en unidades de nanosegundos) para el reactor nuclear que opera a aproximadamente 92 % de potencia (nivel de potencia del reactor medido se informó como 92,4 %). En la figura 9B, los valores de la amplitud de voltaje frente al tiempo se midieron en la ubicación central específica, también en el Día 1. La señal de tiempo de subida rápida era una señal de forma de onda de impulso, con una amplitud de voltaje pico a pico igual o aproximadamente 0,25 voltios y un tiempo de subida igual o aproximadamente a 1 nanosegundo. El carácter 912 de referencia puede indicar, por ejemplo, una conexión en la que un cable entra en el fondo del recipiente del reactor. El carácter 914 de referencia puede indicar, por ejemplo, a un empalme en el que el material de los conductores eléctricos cambia de cobre a acero inoxidable (como se puede observar en la figura 9B, el empalme de los conductores eléctricos puede tener un impacto relativamente largo en la señal reflejada, de modo que puede tener que calcularse el punto en el cual el cable ingresa al núcleo del reactor nuclear y/o el punto en el que el cable se conecta a un detector WRNM). El empalme se puede ubicar, por ejemplo, aproximadamente a 2 pies (60,96 cm) por debajo de la parte inferior del núcleo del reactor nuclear. El empalme puede ser intrínsecamente capacitivo, puede causar una perturbación de impedancia temporal y/o puede crear una señal de reflexión de desajuste de impedancia de amplitud grande cuyo efecto eléctrico puede extenderse una corta distancia más allá y/o por encima de la ubicación física del empalme. Dicha perturbación de impedancia temporal causada por el empalme puede interferir con las señales de reflexión de falta de coincidencia de impedancia desarrolladas en el núcleo del reactor nuclear antes de que la señal de reflexión de falta de coincidencia de impedancia de empalme decaiga gradualmente a un valor insignificante a aproximadamente 0,2 m por encima del núcleo del reactor nuclear. El carácter 916 de referencia puede indicar, por ejemplo, dónde el cable entra en el núcleo del reactor nuclear. El carácter 918 de referencia puede indicar, por ejemplo, dónde el cable se conecta al detector WRNM.

La figura 9C es un gráfico de la amplitud del voltaje de la señal reflejada V_R (en unidades de milivoltios) frente al tiempo (en unidades de nanosegundos) para el reactor nuclear en una condición de parada, a menos de 100 °C. En la figura 9C, los valores de amplitud de voltaje frente a tiempo se midieron en la ubicación central específica en el Día 2. La señal de tiempo de subida rápida era una señal de conformación de onda escalonada, con una amplitud de voltaje pico a pico igual o aproximadamente 0,25 voltios y un tiempo de subida igual o aproximadamente a 1 nanosegundo. El carácter 922 de referencia puede indicar, por ejemplo, una conexión en la que un cable entra en el fondo del recipiente del reactor. El carácter 924 de referencia puede indicar, por ejemplo, a un empalme en el que el material de los conductores eléctricos cambia de cobre a acero inoxidable (como se puede observar en la figura 9C, el empalme de los conductores eléctricos puede tener un impacto relativamente largo en la señal reflejada, de modo que puede tener que calcularse el punto en el cual el cable ingresa al núcleo del reactor nuclear y/o el punto en el que el cable se conecta a un detector WRNM). El empalme se puede ubicar, por ejemplo, aproximadamente a 2 pies (60,96 cm) por debajo de la parte inferior del núcleo del reactor nuclear. El empalme puede ser intrínsecamente capacitivo, puede causar una perturbación de impedancia temporal y/o puede crear una señal de reflexión de falta

de coincidencia de impedancia de amplitud grande cuyo efecto eléctrico puede extenderse una corta distancia más allá y/o por encima de la ubicación física del empalme. Dicha perturbación de impedancia temporal causada por el empalme puede interferir con las señales de reflexión de falta de coincidencia de impedancia desarrolladas en el núcleo del reactor nuclear antes de que la señal de reflexión de falta de coincidencia de impedancia de empalme decaiga gradualmente a un valor insignificante a aproximadamente 0,2 m por encima del núcleo del reactor nuclear. El carácter 926 de referencia puede indicar, por ejemplo, dónde el cable entra en el núcleo del reactor nuclear. El carácter 928 de referencia puede indicar, por ejemplo, dónde el cable se conecta al detector WRNM.

La figura 9D es un gráfico de la amplitud del voltaje de la señal reflejada V_R (en unidades de milivoltios) frente al tiempo (en unidades de nanosegundos) para el reactor nuclear en una condición de parada, a menos de 100 °C. En la figura 9D, los valores de la amplitud de voltaje frente al tiempo se midieron en la ubicación central específica, también en el Día 2. La señal de tiempo de subida rápida era una señal de forma de onda de impulso, con una amplitud de voltaje pico a pico igual o aproximadamente 0,25 voltios y un tiempo de subida igual o aproximadamente a 1 nanosegundo. El carácter 932 de referencia puede indicar, por ejemplo, una conexión en la que un cable entra en el fondo del recipiente del reactor. El carácter 934 de referencia puede indicar, por ejemplo, a un empalme en el que el material de los conductores eléctricos cambia de cobre a acero inoxidable (como se puede observar en la figura 9D, el empalme de los conductores eléctricos puede tener un impacto relativamente largo en la señal reflejada, de modo que puede tener que calcularse el punto en el cual el cable ingresa al núcleo del reactor nuclear y/o el punto en el que el cable se conecta a un detector WRNM). El empalme se puede ubicar, por ejemplo, aproximadamente a 2 pies (60,96 cm) por debajo de la parte inferior del núcleo del reactor nuclear. El empalme puede ser intrínsecamente capacitivo, puede causar una perturbación de impedancia temporal y/o puede crear una señal de reflexión de falta de coincidencia de impedancia de amplitud grande cuyo efecto eléctrico puede extenderse una corta distancia más allá y/o por encima de la ubicación física del empalme. Dicha perturbación de impedancia temporal causada por el empalme puede interferir con las señales de reflexión de falta de coincidencia de impedancia desarrolladas en el núcleo del reactor nuclear antes de que la señal de reflexión de falta de coincidencia de impedancia de empalme decaiga gradualmente a un valor insignificante a aproximadamente 0,2 m por encima del núcleo del reactor nuclear. El carácter 936 de referencia puede indicar, por ejemplo, dónde el cable entra en el núcleo del reactor nuclear. El carácter 938 de referencia puede indicar, por ejemplo, dónde el cable se conecta al detector WRNM.

Los ejes horizontales de las figuras 9A-9D indican un desplazamiento de tiempo y/o una compensación de voltaje para mejorar la resolución de la firma de TDR en un osciloscopio. Se puede colocar una bobina helicoidal (con inductancia asociada), por ejemplo, en la conexión entre el cable y el detector WRNM para permitir la expansión térmica. El detector WRNM es una combinación de cámara de pulso/ionización, por lo que puede actuar como una condición de falta de coincidencia de impedancia capacitiva. Como se puede observar, el efecto capacitivo del detector WRNM en la firma TDR es más significativo a aproximadamente el 92 % de la potencia del reactor que cuando se apaga.

Aunque los datos de las figuras 9A y 9B se tomó a aproximadamente el 92 % de la potencia del reactor y los datos de las figuras 9C y 9D se tomaron en una condición de apagado, inferior a 100 °C, esta técnica (por ejemplo, técnica de falta de coincidencia de impedancia) se cree que produce resultados precisos que son escalables con el nivel de potencia del reactor. Y aunque los datos de las figuras 9A-9D se tomó con un cable WRNM, esta técnica también debería aplicarse a los cables LPRM y otros cables.

La figura 10 es un cuadro que enumera los resultados de los cálculos de potencia relativa para el reactor nuclear que funciona a aproximadamente el 92 % de potencia, con los valores de nodo de la potencia del reactor relativo (unidades arbitrarias) calculados en las inmediaciones de la ubicación del núcleo específico en el Día 1 (por ejemplo, en el reactor nuclear para el cual se hicieron los cálculos, las ubicaciones de TIP y las ubicaciones de los cables WRNM no eran idénticas). Los nodos se cuentan desde la parte inferior del núcleo del reactor nuclear. Cada nodo tiene una altura de aproximadamente 14,72 centímetros. El detector WRNM se encuentra aproximadamente en el nivel correspondiente al 21-ésimo nodo, con su línea central aproximadamente 3,0175 metros por encima de la parte inferior del núcleo del reactor nuclear. Se aplicó un factor de normalización de 566, correspondiente a una posición aproximadamente de 1,0304 m desde la parte inferior del núcleo del reactor nuclear a aproximadamente 92 % de la potencia del reactor, para obtener los valores de nodos calculados de la potencia del reactor relativo (unidades arbitrarias) utilizando un ordenador de proceso asociada con un paquete de monitoreo central. Las mediciones de impedancia (por ejemplo, mediciones de falta de coincidencia de impedancia) pueden proporcionar datos que se pueden comparar, por ejemplo, con una distribución vertical de potencia del reactor de este tipo.

La figura 11 es un diagrama que muestra los datos de la figura 10.

La figura 12 es una tabla que enumera los resultados de los cálculos relativos de potencia vertical para el mismo reactor nuclear. Al implementar la ecuación 10, Z_0 y V_i pueden ser valores conocidos. V_{TR} se puede obtener de las figuras 9A y 9C (para eliminar cualquier efecto no debido al flujo gamma, tal como las condiciones existentes de falta de coincidencia de impedancia, valores de voltaje en la figura El reactor 9C en una condición de parada en posiciones dadas desde la parte inferior del núcleo del reactor nuclear puede restarse de los valores de voltaje en la figura 9A-reactor funcionando a aproximadamente el 92 % de potencia, en las posiciones correspondientes desde la parte inferior del núcleo del reactor nuclear punto por punto). Entonces V_R puede calcularse usando la ecuación 7

(restando algebraicamente V_I de V_{TR}). Z_S puede calcularse usando los valores de Z_O , V_I y V_R , de acuerdo con la ecuación 10.

La columna 2 de la figura 12 muestra valores de Z_S calculados de esta manera. El procedimiento 3 de la figura 12 muestra los valores de ΔZ_S calculados en relación con Z_S en una posición a partir de la parte inferior del núcleo del reactor nuclear. La columna 4 de la figura 12 muestra un valor ajustado de la potencia del reactor relativo (unidades arbitrarias) normalizado a 566 en una posición aproximadamente a 1,0 m desde la parte inferior del núcleo del reactor nuclear. Los otros valores ajustados de potencia del reactor relativo (unidades arbitrarias) en la columna 4 de la figura 12 se calcularon multiplicando 566 por la relación de ΔZ_S en una posición determinada a ΔZ_S en la posición de 1,0 m, de acuerdo con la ecuación 12 a continuación.

$$\text{Valor Ajustado}_x = 566 \times [(\Delta Z_S)_x / (\Delta Z_S)_{1,0 \text{ m}}] \quad (12)$$

La figura 13 es un gráfico que muestra los datos de las figuras 10 y 12 trazados juntos, comparando perfiles verticales de potencia, y normalizados a aproximadamente 1 m de la parte inferior del núcleo del reactor nuclear para la comparación de picos y/o cambios de pendiente. Como puede observarse, la distribución de potencia del reactor relativa de la figura 12 sigue de cerca y está de acuerdo con las distribuciones verticales de potencia del reactor relativo de la figura 11.

Otros tipos de interpolación para determinación de los Valores Ajustados de la Potencia del Reactor Relativo (unidades arbitrarias) en las figuras 12 y 13 pueden ser utilizados. Por ejemplo, la integración se puede usar para encontrar el área total (por ejemplo, la potencia total relativa del reactor) bajo la curva de Valor Ajustado en la figura 13, la potencia total relativa del reactor puede normalizarse a un valor deseado, y/o los Valores Ajustados de la Potencia del Reactor Relativo (unidades arbitrarias) pueden determinarse basándose en la normalización. La precisión de los valores ajustados de potencia del reactor relativa (unidades arbitrarias) determinados en función de dicha técnica de integración puede depender del número y/o distribución de muestras de datos en las que se basa la integración (por ejemplo, el número y/o distribución de posiciones desde la parte inferior del núcleo del reactor nuclear para el que hay datos disponibles).

Un cable dedicado o línea de transmisión sin empalme en la proximidad cercana del fondo del núcleo del reactor nuclear y de longitud suficiente para extenderse continuamente a una ubicación por encima de la parte superior del núcleo del reactor nuclear puede permitir el desarrollo de señales de reflexión de falta de coincidencia de impedancia en toda la altura del núcleo del reactor nuclear sin interferencia de otras señales.

Los datos de potencia del núcleo del reactor se pueden medir con un TIP, comparando los datos con la distribución de potencia vertical del reactor calculada por un modelo de física del núcleo del reactor (por ejemplo, un programa de software o programas modelando el rendimiento del núcleo del reactor basado en numerosos factores) y ajustando la distribución de potencia medida para que coincida con la distribución de potencia vertical del modelo. Debido a que las mediciones directas pueden no estar disponibles en la ubicación del cable coaxial (por ejemplo, la ubicación radial precisa), las mediciones de TIP gamma local predicho y de TIP de neutrones para esta ubicación se pueden calcular utilizando el modelo de física del núcleo. La distribución de potencia vertical en la vecindad cercana del cable coaxial se puede calcular como se describió anteriormente. Las distribuciones verticales de potencia del modelo físico del núcleo y del cable coaxial se pueden normalizar con el mismo valor arbitrario a una elevación, por ejemplo, 1,0 metros por encima de la parte inferior del combustible activo.

Los procedimientos de determinación de nivel de potencia en un reactor nuclear pueden incluir la medición de valores de impedancia de dos o más conductores eléctricos dispuestos en el reactor nuclear y el uso de los valores de impedancia medidos para determinación del nivel de potencia. El nivel de potencia puede ser, por ejemplo, un nivel de potencia de estado estacionario. Por ejemplo, el nivel de potencia puede incluir uno o más niveles de potencia locales y/o distribuciones de potencia.

Los valores de impedancia pueden incluir uno o más de la impedancia característica, la impedancia de entrada y cambios en la impedancia entre un extremo de entrada de los dos o más conductores eléctricos de un cable o línea de transmisión y el extremo opuesto de los dos o más conductores eléctricos de un cable o línea de transmisión.

La medición de valores de impedancia puede incluir uno o más de aplicar una o más señales incidentes a los dos o más conductores eléctricos de un cable o línea de transmisión, que reciben una o más señales reflejadas de los dos o más conductores eléctricos de un cable o transmisión línea, y analizar al menos una de la una o más señales incidentes aplicadas y al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas para medir los valores de impedancia. Al menos una de la una o más señales incidentes aplicadas puede incluir, por ejemplo, una señal de conformación de onda escalonada. Al menos una de la una o más señales incidentes aplicadas puede incluir, por ejemplo, una señal de conformación de onda de impulso.

Analizar al menos una de la una o más señales incidente aplicadas y al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas puede incluir una o más de medir un tiempo de aplicación de al menos una de la una o más señales incidente aplicadas, medir un tiempo de recepción de al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas, y medir una diferencia entre el tiempo de aplicación de al menos una de la una o más señales incidente aplicadas y el momento de recibir al menos uno de la una o más señales reflejadas recibidas.

- 5 Analizar al menos una de la una o más señales incidente aplicadas y al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas puede incluir una o más de medir una amplitud de voltaje de al menos una de la una o más señales incidente aplicadas, medir una amplitud de voltaje de al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas, y medir una diferencia entre la amplitud de voltaje de al menos una de la una o más señales incidente aplicadas y la amplitud de voltaje de al menos uno de la o más señales reflejadas recibidas.
- 10 Analizando al menos una de la una o más señales incidente aplicadas y al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas puede incluir una o más de medir una tasa de cambio de una amplitud de voltaje de al menos uno de la una o más señales incidente aplicadas, medir una tasa de cambio de una amplitud de voltaje de al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas, y medir una diferencia entre la tasa de cambio de la amplitud de voltaje de al menos uno de uno o más señales incidente aplicadas y la velocidad de cambio de la amplitud de voltaje de al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas.
- 15 El análisis de los valores de impedancia medidos para determinación d el nivel de potencia puede incluir el desarrollo de un perfil unidimensional del nivel de potencia. El perfil unidimensional puede incluir, por ejemplo, un perfil vertical del nivel de potencia, un perfil horizontal del nivel de potencia o un perfil radial del nivel de potencia.
- 20 El análisis de los valores de impedancia medidos para determinación del nivel de potencia puede incluir el desarrollo de un perfil bidimensional del nivel de potencia. El perfil bidimensional puede incluir, por ejemplo, un perfil vertical del nivel de potencia, un perfil horizontal del nivel de potencia, y/o un perfil radial del nivel de potencia.
- El análisis de los valores de impedancia medidos para determinar el nivel de potencia puede incluir el desarrollo de un perfil tridimensional del nivel de potencia. El perfil tridimensional puede incluir, por ejemplo, un perfil vertical del nivel de potencia, un perfil horizontal del nivel de potencia y/o un perfil radial del nivel de potencia.
- 25 Los aparatos discutidos anteriormente se pueden usar para operar reactores nucleares. Por ejemplo, los aparatos pueden usarse para calibrar otros instrumentos del reactor nuclear, calcular el tiempo desde el inicio y/o el tiempo hasta el apagado, calcular el consumo de combustible y/o planificar el cambio de combustible y/o la carga de combustible.
- Además, o en la alternativa, los aparatos se pueden usar para controlar uno o más de la temperatura de entrada, la temperatura de alimentación, la concentración de boro, el control de altura de mira, los patrones de barras de control, la capacidad de apagado, el flujo a válvulas de control, el flujo de derivación, la recirculación externa flujo y la velocidad de las bombas de recirculación.
- Además, o en la alternativa, los aparatos se pueden usar para dar forma a la distribución de potencia del reactor.
- 30 Además, o en la alternativa, los aparatos pueden usarse para proporcionar entradas más generalmente al sistema de protección del reactor y/o al sistema de control de barras.
- Los sistemas para determinación del nivel de potencia en un reactor nuclear pueden incluir uno o más de los aparatos discutidos anteriormente. En tales sistemas, por ejemplo, al menos uno de los dos o más conductores eléctricos de un cable o línea de transmisión puede estar dispuesto en un núcleo del reactor nuclear. Los sistemas se pueden usar para calibrar otros instrumentos del reactor nuclear.
- 35 Un reactor nuclear puede incluir uno o más de los aparatos discutidos anteriormente. En realizaciones ejemplares, un reactor nuclear puede incluir uno o más de los sistemas discutidos anteriormente.
- Los niveles de potencia determinados pueden usarse para operar el reactor nuclear. Por ejemplo, los niveles de potencia determinados pueden usarse para calibrar otros instrumentos del reactor nuclear, como los detectores LPRM.
- 40 Como se discutió anteriormente, los detectores LPRM requieren calibración periódica debido al agotamiento asociado con la exposición al entorno de alta radiación del núcleo del reactor nuclear. Además de calibrar los detectores LPRM, los aparatos y procedimientos de la presente solicitud se pueden usar para calibrar directa o indirectamente otros instrumentos del reactor nuclear usando el nivel de potencia determinado.
- 45 Los procedimientos de operación de un reactor nuclear pueden incluir medir los valores de impedancia de dos o más conductores eléctricos dispuestos en el reactor nuclear, y usar los valores de impedancia medidos para determinación de los parámetros del reactor nuclear. Los parámetros pueden incluir, por ejemplo, una o más de la fluencia local de partículas ionizantes, potencia del haz de combustible local, potencia global del haz de combustible, tasa máxima de generación de calor lineal (PLHGR) para una barra de combustible, PLHGR para un haz de combustible, relación de potencia crítica (CPR) para un paquete de combustible, y el margen para salir de la ebullición nuclear (DNB) para un paquete de combustible. Además, o en la alternativa, los parámetros pueden incluir, por ejemplo, uno o más de: uno o más puntos de ajuste de disparo del sistema de protección del reactor, uno o más puntos de ajuste de alarma del sistema de protección del reactor y uno o más puntos de ajuste de advertencia del sistema de protección del reactor. Además, o en la alternativa, los parámetros pueden incluir, por ejemplo, uno o más de una envolvente operativa, programación de barra de control, programación de control de reactividad y
- 55

programación de flujo de núcleo. Un PHOSITA entenderá que pueden realizarse diversos cambios en la forma y los detalles sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (800), que comprende:
 - dos o más conductores (834, 836) eléctricos;
 - uno o más dispositivos (822) de señal; y
 - un analizador (840);
 en el que los dos o más conductores (834, 836) eléctricos están dispuestos para ser colocados en un reactor nuclear,
 - en el que el uno o más dispositivos (822) de señal están adaptados para aplicar una o más señales (600, 700) incidentes a los dos o más conductores (834, 836) eléctricos,
 - en el que el uno o más dispositivos (822) de señal están adaptados para recibir una o más señales reflejadas de los dos o más conductores (834, 836) eléctricos, y
 - en el que el analizador (840) está adaptado para determinación del nivel de potencia en el reactor nuclear utilizando al menos una de la una o más señales incidentes aplicadas y al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas.
2. El aparato de la reivindicación 1, en el que los dos o más conductores eléctricos están dispuestos para ser colocados parcial o completamente dentro de un núcleo (836) del reactor nuclear.
3. El aparato de la reivindicación 1 o 2, en el que los dos o más conductores eléctricos son parte de un cable (400) coaxial.
4. El aparato de la reivindicación 3, en el que cable (400) coaxial comprende:
 - un conductor (402) interno;
 - un conductor (404) externo;
 - material (408) dieléctrico aislante entre los conductores (402, 404) interno y externo; y
 - gas (410) de llenado.
5. El aparato de la reivindicación 4, en el que el material dieléctrico aislante comprende material inorgánico.
6. El aparato de la reivindicación 4, en el que el gas (410) de llenado comprende gas noble.
7. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos uno de los uno o más dispositivos (822) de señal comprende un reflectómetro de dominio de tiempo ("TDR").
8. Un reactor nuclear, que comprende:
 - el aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
9. Un procedimiento de determinación de un nivel de potencia en un reactor nuclear, usando dos o más conductores eléctricos dispuestos en un reactor nuclear, comprendiendo el procedimiento:
 - aplicar una o más señales incidentes a los dos o más conductores eléctricos usando uno o más dispositivos de señal,
 - recibir, en el uno o más dispositivos de señal, una o más señales reflejadas de los dos o más conductores eléctricos, y
 - determinar, en un analizador, un nivel de potencia en el reactor nuclear usando al menos una de la una o más señales incidentes aplicadas y al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas.
10. El procedimiento de determinación del nivel de potencia en un reactor nuclear según la reivindicación 9, que comprende:
 - medir los valores de impedancia de los dos o más conductores eléctricos dispuestos en el reactor nuclear; y
 - utilizar los valores de impedancia medidos para determinación del nivel de potencia.
11. El procedimiento de la reivindicación 10, en el que el uso de los valores de impedancia medidos para determinación del nivel de potencia comprende:
 - desarrollar un perfil unidimensional del nivel de potencia.
12. El procedimiento de la reivindicación 10, en el que el uso de los valores de impedancia medidos para determinar el nivel de potencia comprende:
 - desarrollar un perfil tridimensional del nivel de potencia.
13. Un procedimiento de operación de un reactor nuclear, que comprende:
 - el procedimiento de la reivindicación 9, que comprende, además

analizar al menos una de la una o más señales incidentes aplicadas y al menos una de la una o más señales reflejadas recibidas para medir los valores de impedancia de dos o más conductores eléctricos dispuestos en el reactor nuclear; y
utilizar los valores de impedancia medidos para determinación de los parámetros del reactor nuclear.

5

FIG. 1

(Técnica relacionada)

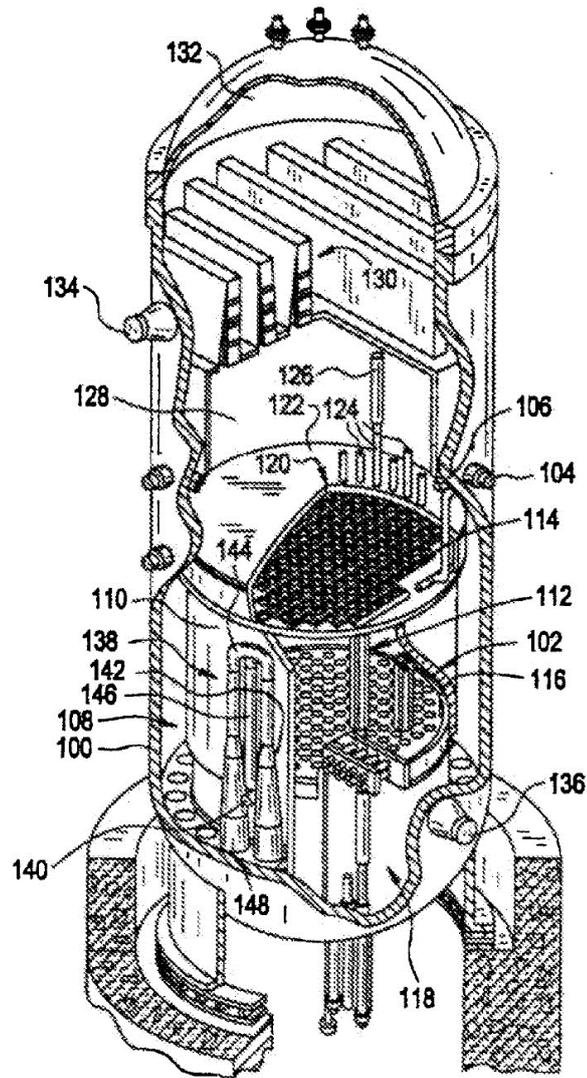
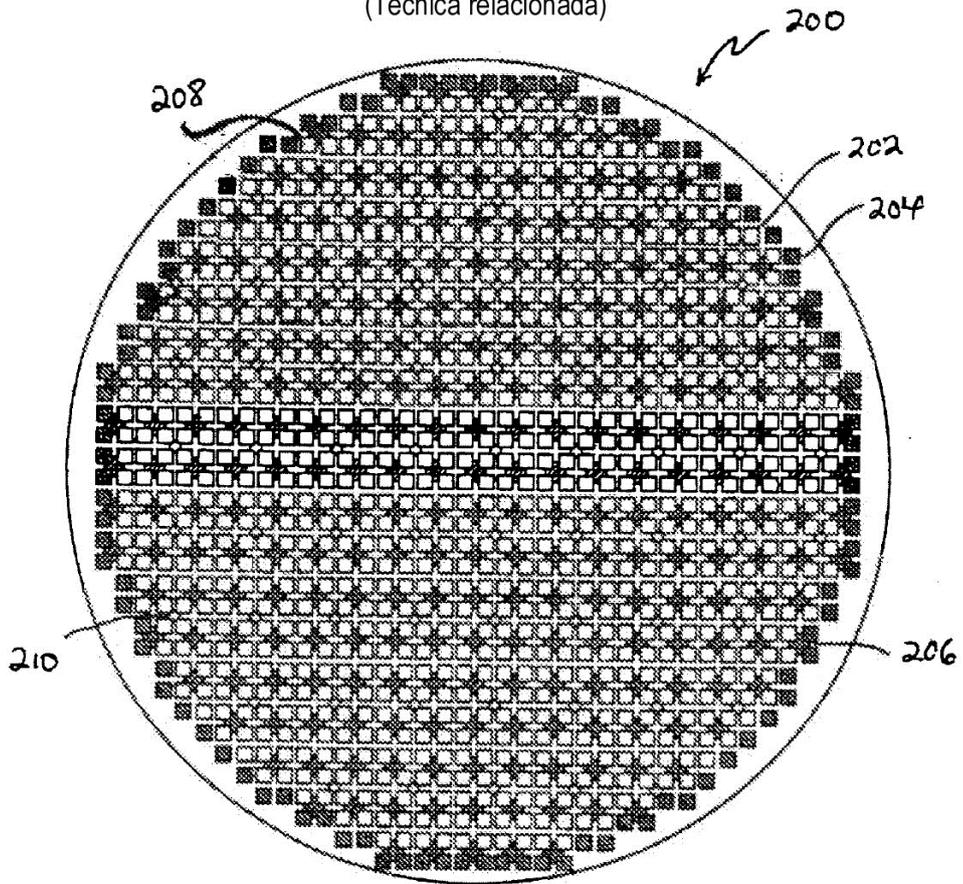


FIG. 2

(Técnica relacionada)



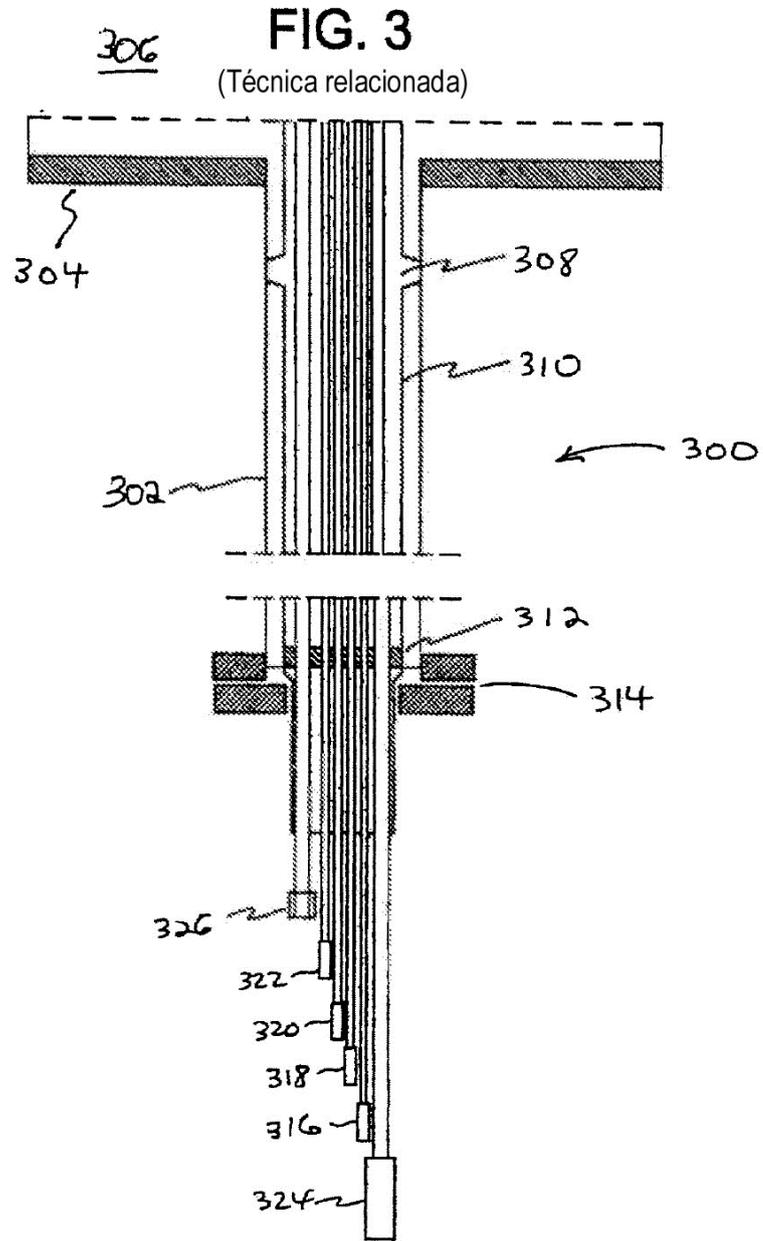


FIG. 4

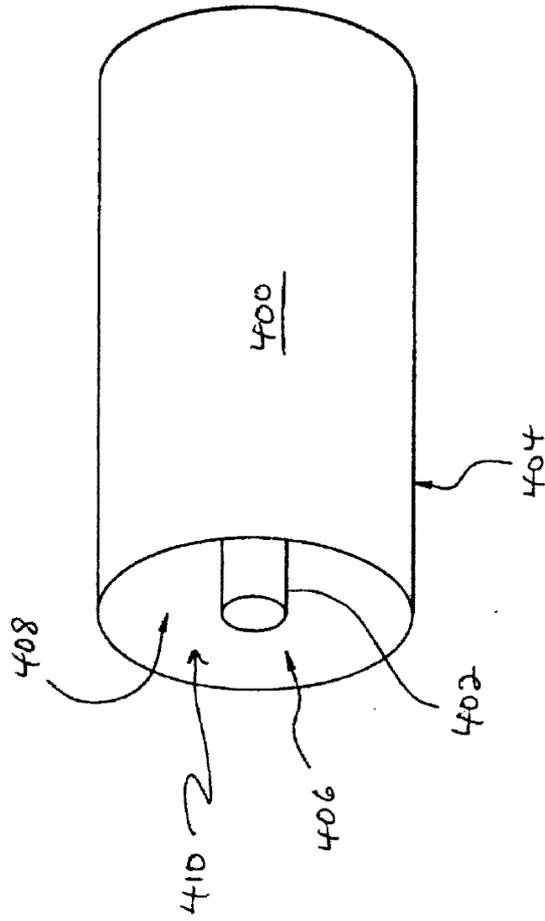


FIG. 5

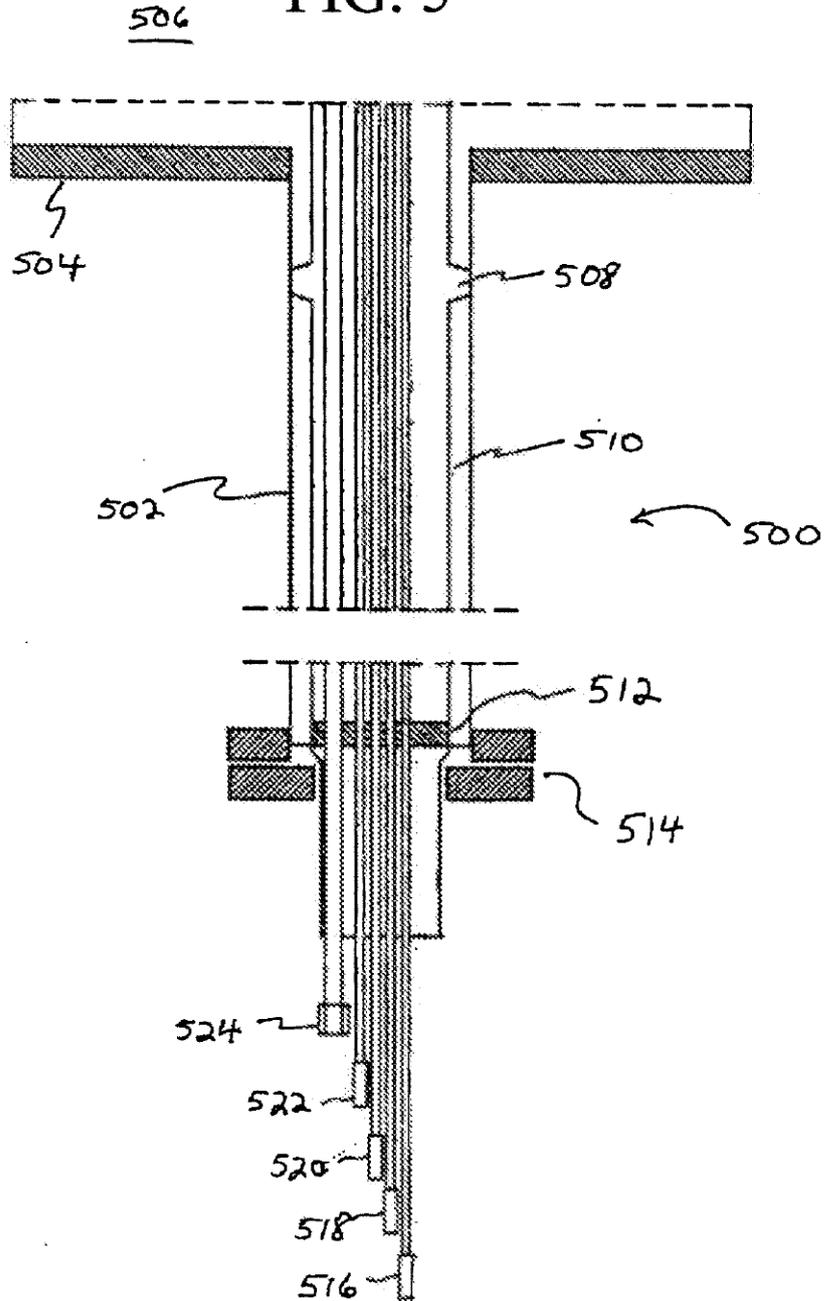


FIG. 6

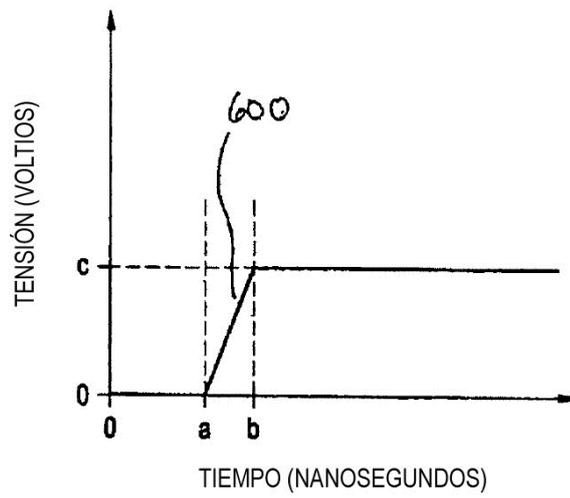


FIG. 7

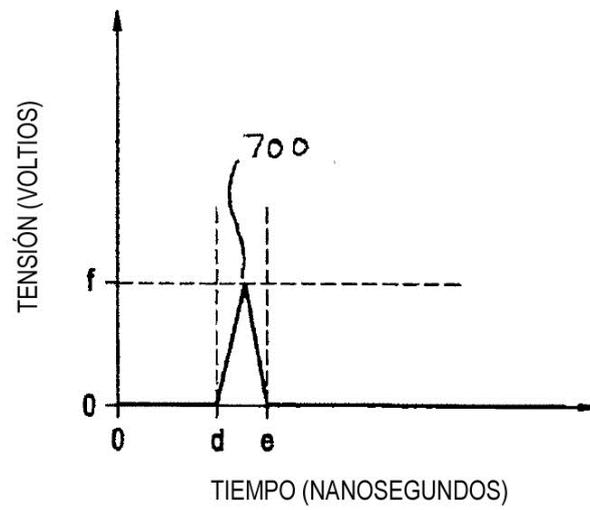
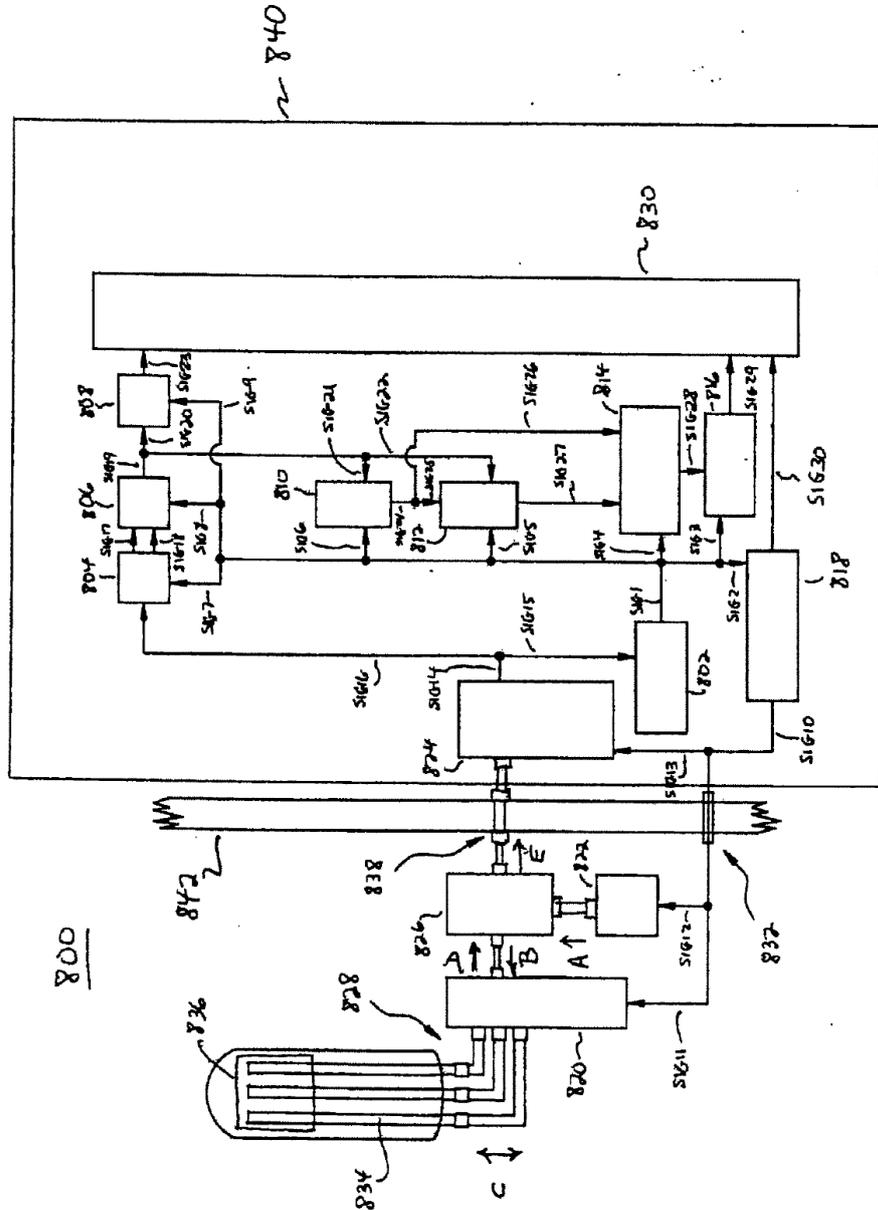
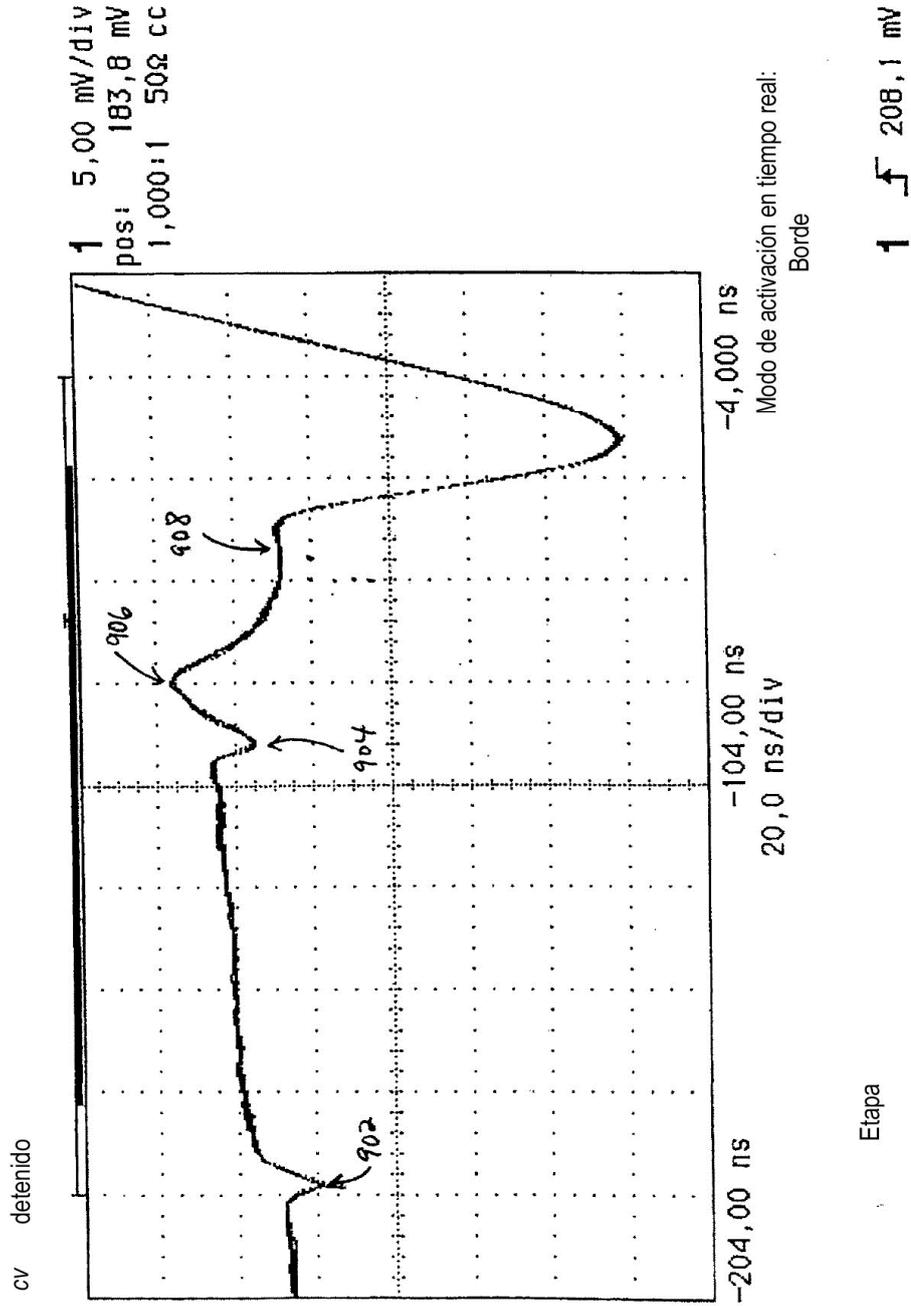


FIG. 8





Etapas

FIG. 9A

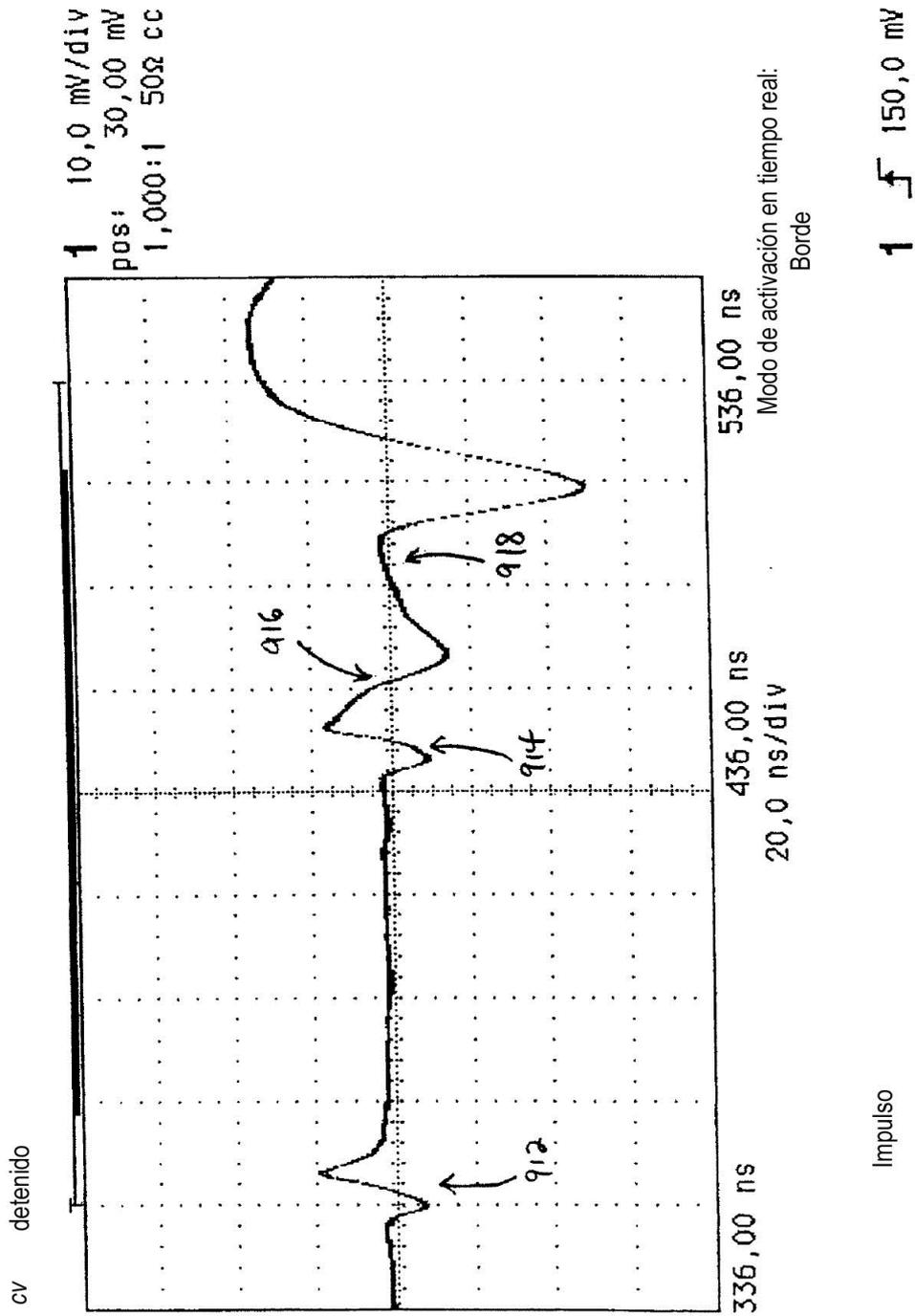
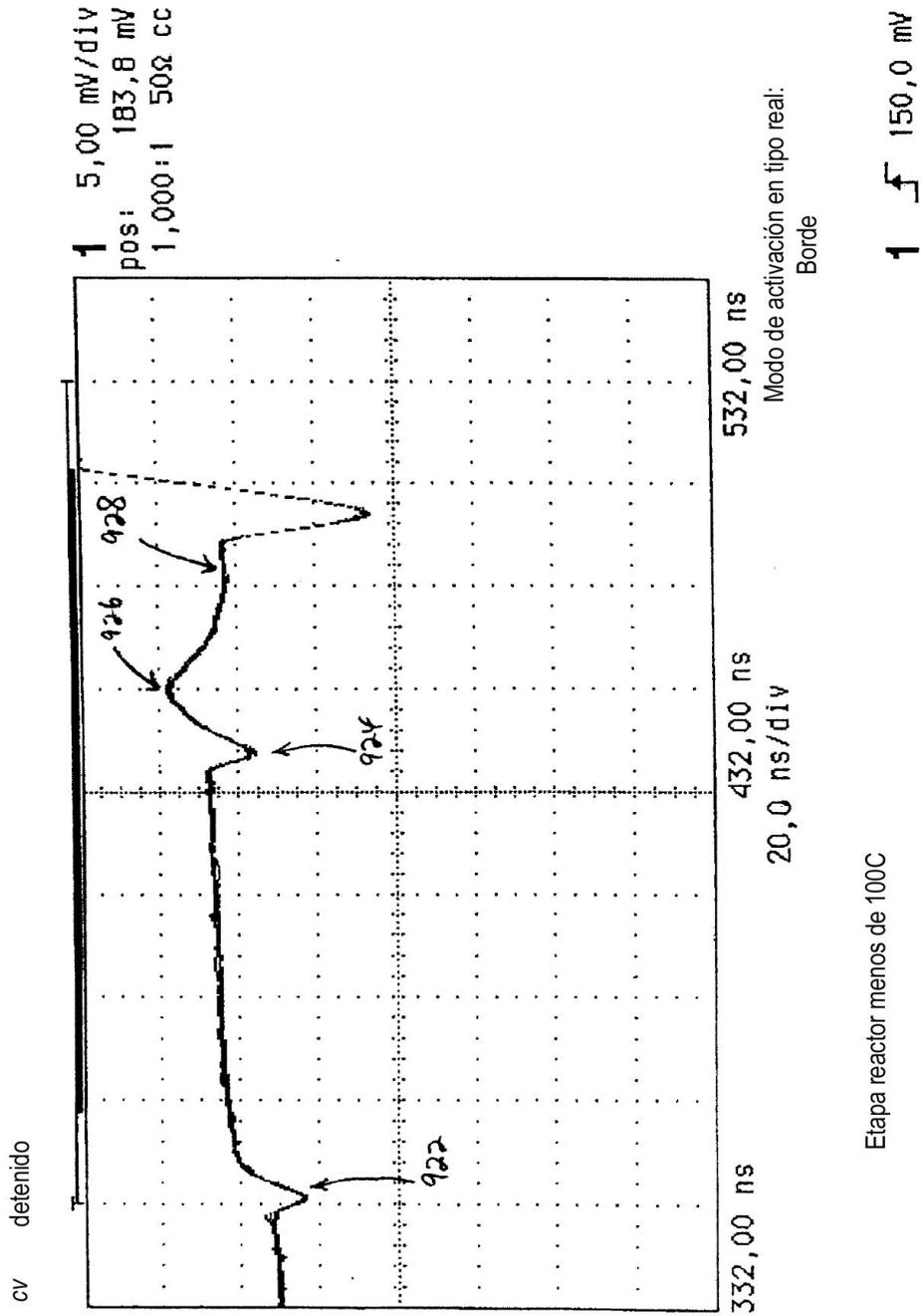
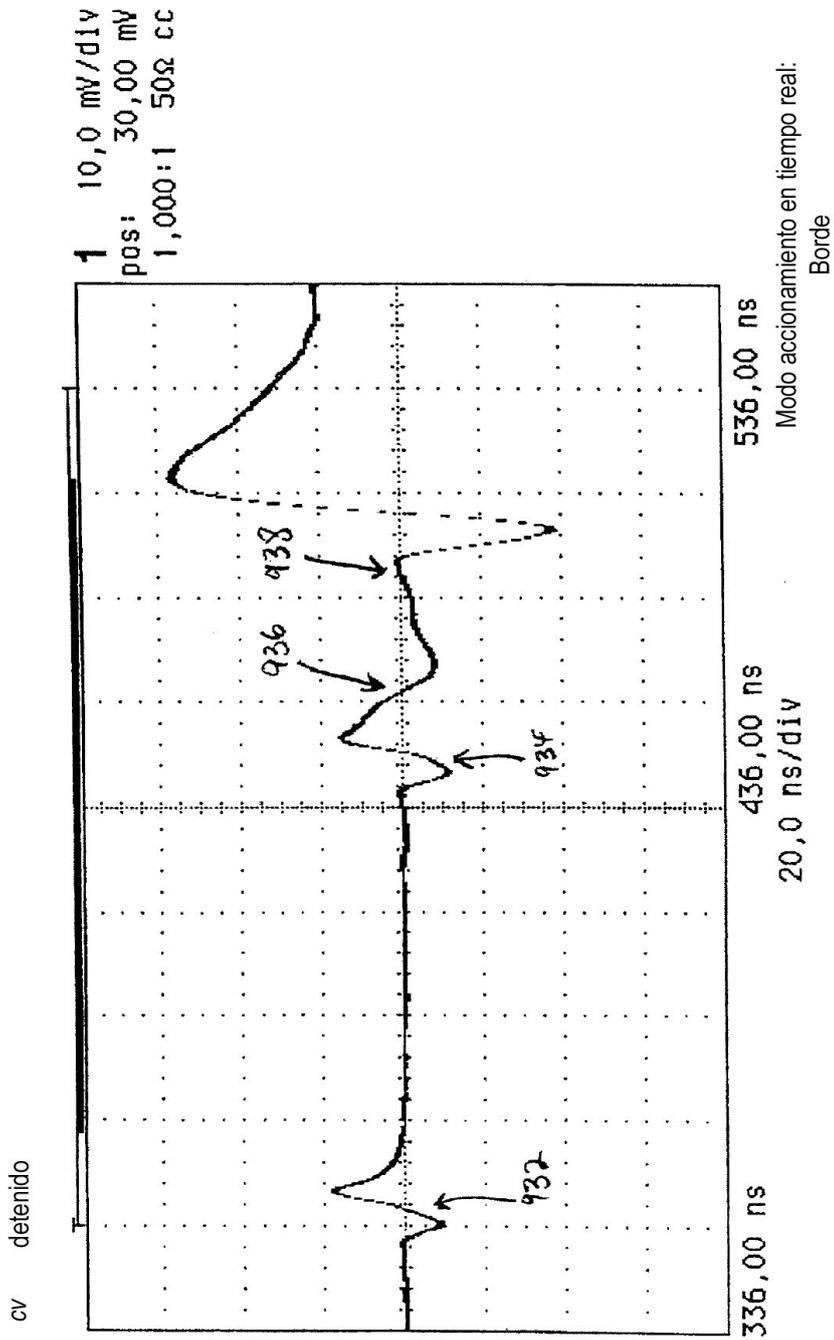


FIG. 9B



Etiapa reactor menos de 100C

FIG. 9C



Impulso reactor menos de 100C

1 132,5 mV

FIG. 9D

FIG. 10

Nodo n.º	Posición desde el fondo del núcleo del reactor (metros)	Valor de nodo calculado de la potencia relativa del reactor (unidades arbitrarias)
1	0,1472	193
2	0,2944	306
3	0,4416	395
4	0,5888	443
5	0,7360	489
6	0,8832	529
7	1,0304	566
8	1,1776	595
9	1,3248	628
10	1,4720	650
11	1,6192	667
12	1,7664	675
13	1,9136	688
14	2,0608	697
15	2,2080	701
16	2,3552	709
17	2,5024	722
18	2,6496	727
19	2,7968	726
20	2,9440	716
21	3,0912	686
22	3,2384	632
23	3,3856	549
24	3,5328	424
25	3,6800	335

FIG. 11

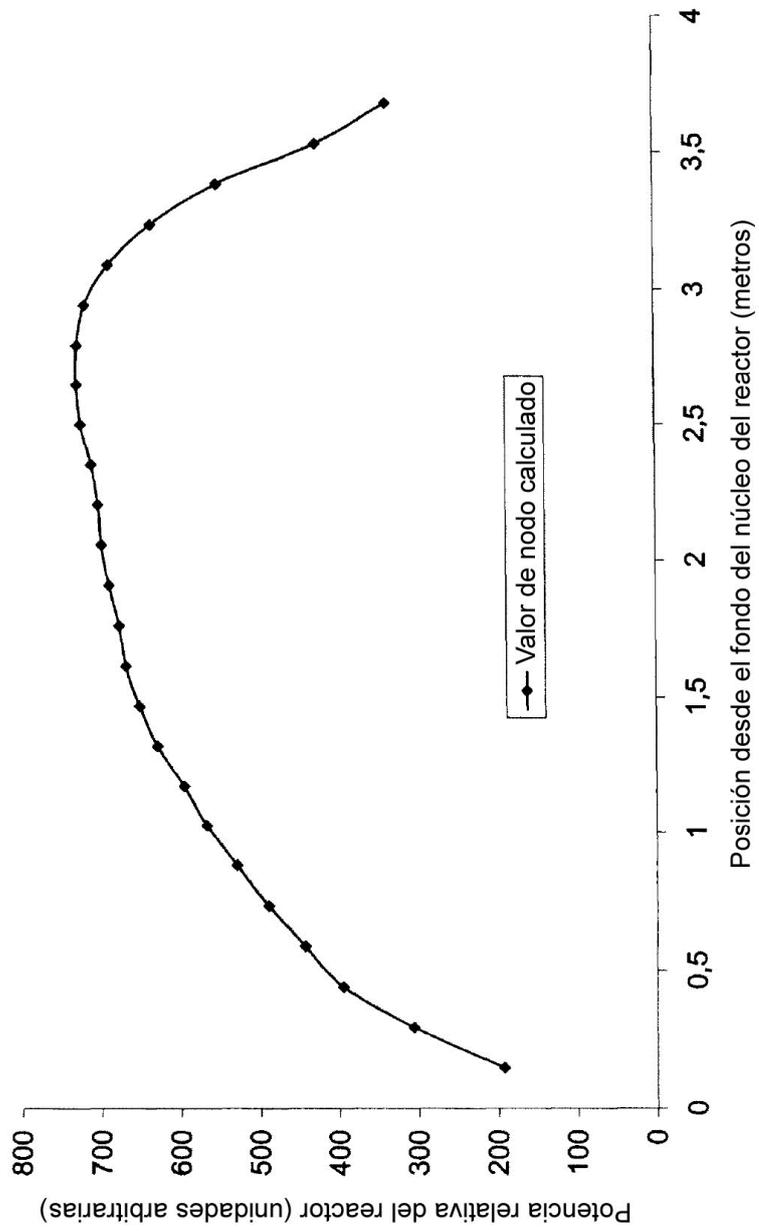


FIG. 12

Posición desde el fondo del núcleo del reactor (metros)	Impedancia específica característica Z_s (ohmios)	Cambio en la impedancia específica característica Z_s , ΔZ_s (ohmios)	Valor ajustado de la potencia relativa del reactor (Unidades arbitrarias)
0,0	93,51	0,00	0
0,2	92,86	0,65	179
0,4	92,29	1,22	339
0,6	91,96	1,55	432
0,8	91,64	1,87	521
1,0	91,48	2,03	566
1,2	91,32	2,19	611
1,4	91,24	2,27	633
1,6	91,16	2,35	656
1,8	91,08	2,43	678
2,0	91,00	2,51	700
2,2	91,00	2,51	700
2,4	91,00	2,51	700
2,6	90,92	2,59	723
2,8	90,92	2,59	723

FIG. 13

