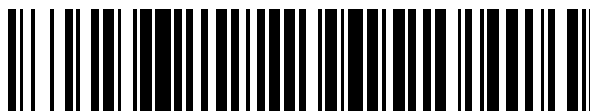


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 500**

51 Int. Cl.:

**G01B 5/28** (2006.01)

**G01N 27/90** (2006.01)

**G21C 17/017** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.11.2010 PCT/US2010/056096**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2011 WO11059990**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2010 E 10830604 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019 EP 2499452**

54 Título: **Procedimiento de modelado de generador de vapor y procesamiento de datos de tubo de generador de vapor de central nuclear**

30 Prioridad:

**14.04.2010 US 760148**

**12.11.2009 US 260448 P**

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

**08.04.2020**

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC**

**(100.0%)**

**1000 Westinghouse Drive**

**Cranberry Township, Pennsylvania 16066, US**

72 Inventor/es:

**LE, QUI, V.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 753 500 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de modelado de generador de vapor y procesamiento de datos de tubo de generador de vapor de central nuclear

### Antecedentes de la invención

#### 5 Campo

La invención se refiere en general a centrales nucleares y, más particularmente, a un procedimiento de evaluación de los tubos de un generador de vapor de una central nuclear.

### Descripción de la técnica relacionada

10 Las centrales nucleares son generalmente bien conocidas. En general, se puede afirmar que las centrales nucleares comprenden un reactor que incluye una o más pilas de combustible, un circuito primario que enfría el reactor y un circuito secundario que acciona una turbina de vapor que opera un generador eléctrico. Tales centrales nucleares típicamente incluyen adicionalmente un intercambiador de calor entre los circuitos primario y secundario. El intercambiador de calor típicamente tiene la forma de un generador de vapor que comprende tubos que transportan el refrigerante primario y una cámara que transporta el refrigerante secundario en relación de intercambio de calor con los tubos y, por lo tanto, con el refrigerante primario.

15 Como también se sabe generalmente, los tubos de un generador de vapor están sujetos al desgaste por vibraciones mecánicas, corrosión y otros mecanismos. Por lo tanto, es necesario inspeccionar periódicamente los tubos de un generador de vapor en busca de desgaste a fin de evitar la falla de un tubo que pueda provocar la contaminación nuclear del circuito secundario, a modo de ejemplo. Si bien se han empleado numerosas metodologías para realizar dicha inspección, tales metodologías no han estado sin limitación.

20 Un procedimiento para inspeccionar los tubos de un generador de vapor implica la inserción de un sensor de corriente parásita en uno o más de los tubos y recibir del sensor de corriente parásita una señal que típicamente tiene la forma de una tensión y un ángulo de fase. Un analista que revisa los datos de la señal generalmente debe poseer un alto grado de experiencia para determinar con precisión a partir de los datos de la señal la condición actual de los tubos del generador de vapor. Un generador de vapor típico podría poseer entre tres mil y doce mil tubos, a modo de ejemplo, teniendo cada tubo varios cientos de pulgadas de largo. De esta manera, la revisión de los datos de corriente parásita puede requerir el gasto de grandes cantidades de tiempo por parte de un analista. Aunque ciertos protocolos de prueba pueden requerir la prueba de menos de todos los tubos de un generador de vapor, dependiendo del protocolo particular, el tiempo de servicio y otros factores, el análisis de dichos datos todavía requiere mucho tiempo y gastos.

30 Entre las dificultades involucradas en el análisis de datos de corriente parásita está la determinación de si una señal es indicativa de una posible falla de una porción de un tubo o si la señal no es indicativa de tal falla. Cada tubo de un generador de vapor típicamente tiene varias curvas y varios soportes mecánicos. Al pasar un sensor de corriente parásita a través de tal rodilla, la señal del sensor de corriente parásita variará con cada soporte mecánico y con cada curva, y la señal también variará en presencia de un defecto como una grieta o una abolladura en el tubo. En consecuencia, la dificultad en el análisis implica la capacidad de determinar si un cambio en una señal de una corriente parásita es indicativo de un aspecto geométrico conocido de un tubo, como una curva o soporte, en cuyo caso el análisis adicional de la señal generalmente es innecesario, o si el cambio en la señal del sensor de corriente parásita es indicativo de una grieta o abolladura, en cuyo caso típicamente es necesario un análisis adicional de la señal. El documento "Descripción general del producto RevospECT" que se encuentra en el sitio web [www.zetec.co.kr](http://www.zetec.co.kr) del 31 de diciembre de 2008 simplemente muestra las diapositivas de una presentación que incluyó el análisis de tubos.

45 Las metodologías existentes para analizar señales de tubo han implicado el uso de uno o más umbrales de señal preestablecidos. Sin embargo, debido a la gran variabilidad de las geometrías de los tubos dentro de un generador de vapor dado y a las diferentes condiciones reales de cada uno de estos tubos, el uso de un número limitado de umbrales de señal fija M interpreta que los datos de la señal de corriente parásita de los tubos todavía termina en que muchas porciones de muchas señales de tubo exceden el número limitado de umbrales de señal fija y, por lo tanto, requieren un examen manual adicional por parte de un analista. Por lo tanto, sería deseable proporcionar un sistema mejorado para evaluar una condición actual de los tubos de un generador de vapor.

### Sumario de la invención

50 Por consiguiente, un aspecto de la invención está dirigido a proporcionar un sistema mejorado para modelar un generador de vapor que incluya ambos parámetros de línea de base de una o más regiones de interés (ROI) y que además incluya datos de excepción para ROI individuales de tubos individuales en función del análisis histórico de los tubos. El análisis histórico de los tubos se realizó en el momento de la fabricación del generador de vapor o durante una inspección previa en servicio. Durante la recopilación de dichos datos históricos, los datos de corriente parásita para cada tubo de un generador de vapor se recopilan y evalúan para garantizar la calidad. Los datos para una ROI particular de un tubo particular que excede lo que de otro modo sería el rendimiento de línea de base de la ROI se almacenan como datos de excepción. Dichos datos de excepción se refieren a unas ROI particulares que se han

determinado para generar datos de señal que excederían lo que serían los parámetros de señal de línea de base correspondientes, pero que todavía son aceptables porque son indicativos de un aspecto histórico de la ROI en lugar de ser indicativos de una falla en la ROI. Una vez que se han recopilado los datos de tubo, se crea un modelo del generador de vapor que incluye ambos parámetros de rendimiento de línea de base para una gran variedad de ROI y que además incluye los datos de excepción antes mencionados.

Durante la prueba de un generador de vapor, una señal de un sensor de corriente parásita se introduce en un algoritmo de ubicación para identificar una ROI física real del tubo bajo análisis y también para identificar una ROI ejemplar en el modelo del generador de vapor. Si la señal del sensor de corriente parásita con respecto a la ROI física excede los parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente, se desencadena la necesidad de un análisis adicional. Inicialmente, el análisis adicional implica acceder a los datos de excepción para determinar si existen datos de excepción para la ROI física particular del tubo particular que se está analizando con el sensor de corriente parásita. Si existen tales datos de excepción, los datos de excepción históricos se comparan con la señal actual de la ROI física del sensor de corriente parásita, y la necesidad de otros análisis adicionales se activa solo si la señal actual excede los datos de excepción históricos por un umbral predeterminado. Además, si no existen datos de excepción correspondientes para la ROI física actual, la necesidad de un análisis más detallado también se activa. Sin embargo, si los datos del sensor de corriente parásita para una ROI dada no exceden los parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente del modelo, o si la señal de la ROI física dada no supera los datos de excepción para esa ROI por un umbral predeterminado, no se toman medidas con respecto a esa ROI particular, lo que significa que la ROI se considera APROBADA y no se requiere una evaluación adicional por parte de un analista.

La recopilación de datos también puede involucrar la recopilación y el almacenamiento de datos para cada tubo en su transición con una hoja de tubo, tanto en la pata caliente como en la pata fría del tubo. Debido al grosor de la hoja del tubo en relación con el espesor de los propios tubos y las otras estructuras de soporte, las señales de línea de base no se pueden establecer de manera confiable para todas las transiciones de la hoja de tubo. En consecuencia, los datos de la corriente parásita de transición de la hoja de tubo se recopilan y almacenan para cada pata de cada tubo de un generador de vapor en el momento de la fabricación o en una inspección en servicio. Durante las pruebas posteriores de los tubos del generador de vapor, la señal histórica de cualquier transición de hoja de tubo dada puede compararse y sustraerse efectivamente de la señal actual de la misma transición de hoja de tubo para generar una nueva señal que sea indicativa de un cambio en la transición de la hoja de tubo y que generalmente esté libre de artefactos de señal histórica. La señal resultante se puede amplificar para aumentar el cambio en la condición del tubo para una evaluación simplificada por un analista o de otra manera.

Por consiguiente, un aspecto de la invención es proporcionar una o más metodologías mejoradas que reducen el esfuerzo requerido para analizar los tubos de un generador de vapor de una central nuclear.

Otro aspecto de la invención es proporcionar un sistema que mejore la precisión de la evaluación de la condición actual de los tubos de un generador de vapor de una central nuclear al requerir menos evaluación manual por parte de un analista, evitando así la fatiga del analista y mejorando los resultados generales con respecto a las ROI que realmente necesitan evaluación por parte de un analista.

Estos y otros aspectos de la invención pueden describirse generalmente como relacionados con un procedimiento mejorado de evaluación no destructiva de una condición actual de varios tubos de un generador de vapor de una central nuclear, cuya naturaleza general puede establecerse como incluyendo el establecimiento de un modelo del generador de vapor que comprende un conjunto de parámetros de línea de base para cada una de una pluralidad de regiones de interés (ROI) ejemplares de varios de los tubos del generador de vapor, extraer una señal de cada una de una serie de ROI físicas de varios de los tubos, comparar la señal de una ROI física dada de un tubo con el conjunto de parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente del modelo, y activar un procesamiento adicional cuando al menos una parte de la señal de la ROI física dada excede al menos una parte del conjunto de parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente.

### **Breve descripción de los dibujos**

Se puede obtener una mejor comprensión de la invención a partir de la siguiente Descripción detallada cuando se lee junto con los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 es un diagrama de flujo que representa ciertos aspectos de la invención;
- la figura 2 es un diagrama de flujo que representa otros aspectos dados de la invención; y
- la figura 3 es otro diagrama de flujo que representa otros aspectos dados de la invención.

Los números similares se refieren a partes similares en toda la memoria descriptiva.

### **Descripción detallada**

Los procedimientos mejorados de acuerdo con la invención se representan en términos generales en las Figs. 1-3. Los procedimientos generalmente se relacionan con centrales nucleares y, más particularmente, la inspección de los tubos de un generador de vapor de una central nuclear. Las diversas metodologías discutidas en el presente documento pueden emplearse total o parcialmente en cualquier combinación sin apartarse del presente concepto.

Ciertos aspectos de las metodologías empleadas en el presente documento implican la recopilación de datos con el uso de un sensor de corriente parásita que se recibe dentro del tubo alargado de un generador de vapor y que pasa a través del interior del tubo a lo largo de su extensión longitudinal. El movimiento longitudinal del sensor se puede realizar manualmente, aunque también se puede realizar de manera ventajosa mediante un mecanismo de avance controlado por robot que hace avanzar el sensor de corriente parásita a una velocidad controlada y que es capaz de proporcionar un componente de flujo de datos representativo de la distancia longitudinal del sensor de corriente parásita a lo largo del tubo en cualquier momento dado. Otros flujos de datos desde el sensor de corriente parásita típicamente comprenden un componente de tensión que se caracterizan por una amplitud y otro componente que caracteriza un ángulo de fase. Aunque se pueden emplear muchas metodologías para el almacenamiento y análisis de tales flujos de datos, una metodología implica el almacenamiento de datos de tensión y fase en puntos dados a lo largo de la longitud longitudinal de un tubo. Típicamente, se recopilan y almacenan treinta puntos de datos por pulgada, pero se pueden emplear otras distribuciones de datos y densidades sin apartarse del concepto actual.

Como se entiende generalmente, un generador de vapor típico incluye una cámara que encierra quizás entre cuatro mil y doce mil tubos individuales, cada uno de los cuales comprende una pata caliente y una pata fría que pasan a través de una hoja de tubo, que es en sí misma una losa de metal que tiene típicamente cincuenta o más centímetros de espesor. Cada tubo puede tener varios cientos de pulgadas de largo y tener una sola curva en U o un par de curvas de codo, aunque se pueden emplear otras geometrías sin apartarse del concepto actual. Cada uno de estos tubos incluye típicamente de veinte a treinta soportes físicos de diferentes geometrías. Durante la fabricación inicial, las patas caliente y fría de cada tubo se ensamblan en la hoja de tubo al recibir los dos extremos del tubo en un par de agujeros perforados a través de la hoja del tubo y al abombar hidráulicamente los extremos del tubo para que encajen con las paredes cilíndricas de los agujeros perforados.

Si bien la geometría de cada tubo de un generador de vapor suele ser diferente de casi todos los demás tubos del generador de vapor, la construcción general del generador de vapor permite hacer generalizaciones con respecto a la geometría de los tubos en su conjunto. Es decir, se puede decir que cada tubo incluye un par de transiciones de hoja de tubo en los extremos del mismo que típicamente se caracterizan por una tensión del sensor de corriente parásita del orden de treinta (30,0) voltios. Entre las dos transiciones de hoja de tubo hay varios recorridos rectos, soportes y curvas. La tensión de corriente parásita típica para una sección recta del tubo es de 0,05 voltios, y la tensión típica para una curva de un tubo es de 0,1 voltios. Una tensión típica para un soporte puede ser de 0,2 voltios, pero pueden existir varios tipos de soportes dentro de un generador de vapor dado, todo lo cual puede producir diferentes tensiones características.

De manera ventajosa, sin embargo, las diversas disposiciones de secciones rectas, soportes y las curvas como función de la distancia a lo largo de un tubo tienen un número limitado de permutaciones dentro de cualquier generador de vapor dado. En consecuencia, se desarrolla ventajosamente un algoritmo de ubicación a partir de la geometría conocida del generador de vapor y los datos históricos que se pueden recopilar del generador de vapor, en el que una entrada al algoritmo de una serie de valores de tensión y distancia puede identificar una región de interés (ROI) particular de un tubo que está bajo análisis. Es decir, el desgaste que experimenta un tubo a menudo puede ocurrir en una transición de la hoja de tubo, en una ubicación de fijación de un tubo a un soporte mecánico, en una transición entre una sección recta y una curva en un tubo, o en otras ubicaciones bien entendidas. Los diversos segmentos de un tubo dado se pueden dividir en varias regiones de interés (ROI) que se pueden identificar durante la recopilación de datos con un alto grado de precisión en función de los detalles de la geometría del generador de vapor que se incorporan al algoritmo de ubicación. En consecuencia, introduciendo datos de tensión, fase y distancia en el algoritmo de ubicación, el algoritmo de ubicación puede identificar un segmento específico y, por lo tanto, la ROI física del tubo que se analiza.

La invención incluye el desarrollo de un modelo para el generador de vapor que incluye parámetros de línea de base tales como tensión y fase para cada una de una pluralidad de ROI ejemplares que existen en el generador de vapor particular. El modelo incluye además datos de excepción para ROI particulares de tubos particulares que tienen parámetros de tensión y/o ángulo de fase que excederían los parámetros de línea de base de la ROI correspondiente del modelo pero que, sin embargo, son aceptables, es decir, las señales de tales ROI no son en sí mismas indicativas de fallas que requieren una evaluación adicional por parte de un analista.

Los parámetros de línea de base para los diversos ejemplos de ROI del modelo se pueden establecer de varias maneras. En la realización ejemplar descrita en el presente documento, los diversos parámetros de línea de base para los diversos ejemplos de ROI del modelo se establecen en función de la evaluación teórica de los tubos y sus ROI, así como datos experimentales basados en análisis de corrientes parásitas de tubos reales y su ROI física. El análisis físico directo de tubos, como a través de la recopilación de datos de corrientes parásitas de tubos individuales de un generador de vapor, permite ventajosamente la recopilación de datos con respecto a las ROI típicas que pueden emplearse para establecer parámetros de línea de base para las ROI ejemplares del modelo. Dicho análisis físico directo de los tubos se puede emplear adicionalmente para recopilar datos que luego se almacenan como datos de excepción para ROI particulares de tubos particulares.

Adicionalmente y ventajosamente, dicha recopilación directa de datos de corrientes parásitas durante la fabricación inicial de un generador de vapor puede permitir una evaluación inicial de cada tubo para evaluar si el tubo debe ser rechazado o si los datos parecen no ser confiables y deben recopilarse. Un tubo puede ser rechazado si los datos

sugieren que es defectuoso en la fabricación. Por otra parte, es posible que sea necesario recopilar los datos si parece que el sensor de corriente parásita funcionaba incorrectamente o si otros aspectos de la recopilación de datos parecen ser erróneos o poco confiables.

La figura 1 generalmente representa una metodología ejemplar para la recopilación de datos de tubo que permite el desarrollo de un modelo de generador de vapor y el desarrollo de un algoritmo de ubicación que se basa en la geometría del generador de vapor. El procesamiento comienza, como en 104, en que se recopilan datos de corrientes parásitas para un tubo dado del generador de vapor. Como se menciona en otro lugar en el presente documento, el flujo de datos típicamente incluirá componentes de tensión, fase y distancia, todo lo cual se puede detectar como una señal continua o como un conjunto discreto de puntos de datos a lo largo de la longitud del tubo. La inserción del sensor de corriente parásita en el tubo y la progresión longitudinal del sensor de corriente parásita a lo largo de su longitud longitudinal se puede realizar manualmente o de manera ventajosa mediante un robot especialmente configurado.

El procesamiento continúa, como en 108, en que se determina si los datos derivados de la señal del sensor de corriente parásita son potencialmente poco confiables. Por ejemplo, si los datos sugieren un posible error de recopilación de datos, el procesamiento continúa como en 112, en que se rechazan los datos de tubo y se vuelve a probar el tubo. El procesamiento posterior continuaría, como en 104. Sin embargo, si en 108 no se determina que los datos son poco confiables, el procesamiento continúa, como en 116, en que se determina si los datos de tubo derivados de la señal de corriente parásita exceden un umbral de aceptación, tal como indicaría que el tubo en sí mismo es mecánico o de otro modo defectuoso. En el caso de que los datos excedan un umbral de aceptación, el tubo es rechazado, como en 120.

Si los datos del tubo no exceden el umbral de aceptación en 116, el procesamiento continúa, como en 124, en que se determina si alguna porción de los datos de tubo excede lo que, en teoría, deberían ser los parámetros de línea de base de esa porción del tubo, es decir, los parámetros de línea de base para la ROI ejemplar correspondiente del modelo del generador de vapor. A modo de ejemplo, se puede determinar que la ROI física del tubo que se está analizando incluye un soporte físico y el sensor de corriente parásita indica una tensión de 0,4 voltios. Mientras que un analista puede determinar que la tensión que normalmente se esperaría para tal ROI es de 0,2 voltios, sin embargo, el analista puede determinar que la ROI física particular es aceptable y que la tensión de 0,4 voltios es una anomalía aceptable. En tal circunstancia, se guardarán los datos para la ROI particular de este tubo en particular, como en 132, como parte de un conjunto de datos de excepción. En este sentido, se reitera que el tubo o sus datos ya habrían sido rechazados, como en 112 o 120 respectivamente, si los datos para la ROI mencionada anteriormente sugirieran que la ROI sería inaceptable.

El procesamiento continúa desde 124 y 132 en adelante hasta 128 en que los datos de tubo se almacenan en un conjunto de datos. Entonces se determina, como en 136, si otros tubos requieren un análisis de corriente parásita como se establece anteriormente. Si hay más tubos en espera de prueba, el procesamiento continúa, como en 104, con un tubo nuevo. En caso contrario, el procesamiento continúa, como en 140, en que el modelo del generador de vapor se desarrolla con un conjunto de parámetros de línea de base para cada una de una pluralidad de ROI ejemplares. El modelo incluye además los datos de excepción mencionados anteriormente para una o más ROI particulares de uno o más tubos particulares. Se entiende que la inclusión en 140 del desarrollo del modelo de generador de vapor en esta ubicación particular dentro de la metodología ejemplar pretende ser simplemente un ejemplo de un punto en el que se puede desarrollar un modelo del generador de vapor. Se entiende que con procedimientos analíticos, al menos se puede desarrollar un modelo inicial del generador de vapor, con la recopilación experimental de datos de tubo desde 104 hasta 132 que se suministra al modelo para proporcionar un refinamiento del modelo y proporcionar datos de excepción. Por lo tanto, se entiende que el modelo del generador de vapor puede desarrollarse total o parcialmente en cualquier momento, dependiendo de los datos y análisis disponibles.

El procesamiento continúa hasta 144, en que el algoritmo de ubicación que identifica varias ROI puede desarrollarse en función de la geometría del generador de vapor y otros factores. Como se mencionó en otra parte en el presente documento con respecto al desarrollo del modelo del generador de vapor, el algoritmo de ubicación también se puede desarrollar en su totalidad o en parte en cualquier momento, dependiendo de los datos analíticos y experimentales que estén disponibles en el procedimiento de desarrollo que se describe generalmente en la figura 1. Cuando se completa, el algoritmo de ubicación puede recibir ventajosamente un flujo de datos desde un sensor de corriente parásita dentro del tubo del generador de vapor y puede emplear los componentes de datos de tensión, fase y distancia para identificar cualquiera de una variedad de ejemplos de ROI que se almacenan dentro del modelo del generador de vapor. Es decir, el algoritmo de ubicación puede emplear la señal de corriente parásita dentro de un tubo del generador de vapor para identificar un segmento particular del tubo y, por lo tanto, una ROI física del tubo, y el algoritmo de ubicación puede identificar adicionalmente del modelo que se desarrolló del generador de vapor una ROI ejemplar correspondiente y sus parámetros de línea de base para la comparación con la señal de corriente parásita que se está recogiendo de la ROI física.

La prueba de los tubos de un generador de vapor se representa de manera ejemplar en la figura 2. Se entiende que las operaciones representadas generalmente en la Fig. 1 típicamente ocurrirán por primera vez y tendrán la naturaleza de un conjunto de datos históricos. Las operaciones que ocurren en la Fig. 2 típicamente ocurren en un tiempo segundo, posterior, y es más probable que se dirija hacia las pruebas actuales o presentes de un generador de vapor.

El procesamiento comienza, como en 204, en que se extrae una señal de un tubo del generador de vapor. La señal del sensor de corriente parásita se procesa con el algoritmo de ubicación mencionado anteriormente, como en 208, para determinar la ROI física que es la fuente de la señal que se recolecta del tubo bajo análisis. El algoritmo de ubicación luego emplea, como en 212, la señal del sensor de corriente parásita para recuperar del modelo una ROI ejemplar que se determina que se corresponde con la ROI física que ha sido localizada por el algoritmo de ubicación. Entonces se determina, como en 216, si los datos de la señal para la ROI física exceden los parámetros de línea de base de la ROI ejemplar del modelo que se identificó y recuperó en 212. Si se determina en 216 que la señal de corriente parásita para la ROI física no excede los parámetros de línea de base de la ROI ejemplar, el procesamiento continuará, como en 220, en que no se tomarán más medidas con respecto a esta ROI física particular. Es decir, no se activará ningún análisis adicional para esta ROI física particular, evitando así la necesidad de que un analista realice cualquier evaluación con respecto a esta ROI física.

Entonces se determina, como en 224, si se ha alcanzado el extremo del tubo bajo análisis. Si es así, el análisis del tubo actual termina, como en 228. Luego se puede analizar otro tubo. Sin embargo, si el extremo del tubo se determina en 224 como no alcanzado, el procesamiento continúa, como en 204, en que la señal de corriente parásita continúa siendo extraída del tubo bajo análisis.

Los parámetros de línea de base mencionados anteriormente de los diversos ejemplos de ROI del modelo pueden desarrollarse en cualquiera de una variedad de formas. Más típicamente, los parámetros de línea de base se desarrollarán con el uso de datos teóricos y datos experimentales, como se sugirió anteriormente. Por ejemplo, la tensión de corriente parásita típica que uno podría esperar detectar de una sección recta de un tubo es de 0,05 voltios, y el esfuerzo de recopilación de datos representado generalmente en la figura 1 podría demostrar, a modo de ejemplo, que los valores de tensión probados para cada segmento recto de cada tubo es de 0,08 voltios o menos. En consecuencia, la tensión de línea de base para una ROI ejemplar que se corresponde con una sección recta de un tubo puede establecerse en 0,1 voltios. Esto habilitaría todas las ROI físicas que son secciones rectas de tubos para que, en su estado original, no excedan el parámetro de línea de base de 0,1 voltios y, por lo tanto, no provoque la necesidad de un análisis adicional, como en 220.

De manera similar, la tensión típica del sensor de corriente parásita que cabría esperar de una sección curva de un tubo es de 0,1 voltios, y el parámetro de línea de base para las ROI experimentales de los segmentos de curva de cada tubo podría establecerse en 0,2 voltios. Los soportes físicos generalmente generan una tensión de corriente parásita de 0,2 voltios, y así el parámetro de línea de base para una ROI de soporte física podría establecerse en 0,3 voltios. Dichos parámetros de línea de base generalmente se basarán en las diversas especificaciones del generador de vapor y la central nuclear, junto con datos teóricos y experimentales sobre el generador de vapor. Se entiende, sin embargo, que los parámetros de la línea de base generalmente se seleccionarán de manera que una señal del sensor de corriente parásita que exceda un parámetro de la línea de base merezca una evaluación adicional por parte de un analista, suponiendo que los datos de excepción aplicables para la ROI física particular aún no existan en el modelo. Es decir, deseablemente, los parámetros de línea de base se seleccionarán de manera que no se active ninguna acción adicional cuando las señales del sensor de corriente parásita estén por debajo de lo que razonablemente desencadenará un análisis adicional de la ROI física particular. Se entiende, sin embargo, que se pueden emplear diversas metodologías para establecer los parámetros de línea de base de las ROI ejemplares sin apartarse del presente concepto.

También se observa que los parámetros de línea de base pueden incluir tensiones, ángulos de fase, datos de patrones y cualquier otro tipo de caracterización de una ROI ejemplar que pueda ser apropiada. El grado de sofisticación de los parámetros de línea de base está limitado solo por la capacidad de recopilar y analizar datos sobre los tubos. En consecuencia, se puede determinar que los parámetros de línea de base de una ROI ejemplar se exceden si una señal excede uno cualquiera o más de los diversos parámetros en cualquier combinación sin limitación. Adicional o alternativamente, los parámetros de línea de base podrían tener un grado aún mayor de sofisticación en el que ciertas combinaciones de parámetros deben superarse de cierta manera para que el sistema desencadene la necesidad de un análisis adicional, a modo de ejemplo.

Por otra parte, si se determina, como en 216, que la señal para la ROI física excede de alguna manera los parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente identificada, el procesamiento continúa, como en 230, en que se determina si existen datos de excepción para la ROI física que se está analizando. Como se menciona en otro lugar en el presente documento, los datos de excepción serán ventajosamente parte del modelo del generador de vapor. Si dichos datos de excepción se determinan en 230 como existentes, el procesamiento continúa, como en 234, en que se determina si la señal de la ROI física excede los datos de excepción por un umbral predeterminado. Es decir, no se espera que la ROI física que es la materia de los datos de excepción permanezca sin cambios durante la vida útil del generador de vapor, y más bien se espera que la ROI física pueda degradarse con el tiempo debido al desgaste, corrosión, etc. Dado que la ROI física ya se ha determinado en el momento de tomar el conjunto de datos históricos para tener una señal que excede los parámetros de línea de base que de otro modo se esperarían de una ROI similar, el umbral que ya está integrado en los parámetros de línea de base es poco probable que sea útil para evaluar la ROI física particular que es la materia de los datos de excepción recuperados. En consecuencia, se establece un umbral separado basado en varios factores que, si se supera por la señal actual de la ROI física, provocará un análisis adicional como en 238, de esta particular ROI física. Tal análisis adicional probablemente será una evaluación manual por parte de un analista. Por otra parte, si se determina en 234 que la señal de la ROI física no supera los datos de

excepción recuperados por el umbral predeterminado, el procesamiento continúa, como en 220, en que no se toman medidas adicionales para esta ROI física particular. La evaluación adicional por parte de un analista también se desencadena, como en 238, si se determina, como en 230, que no existen datos de excepción para esta ROI física particular.

5 Se observa que se puede activar una notificación adicional si los parámetros de línea de base de la ROI ejemplar se exceden en una cantidad significativa, o si el umbral predeterminado para los datos de excepción se excede en una cantidad significativa, para alertar a un analista de que un mayor nivel de atención debe dirigirse a una ROI física particular, por ejemplo. En la realización ejemplar representada en el presente documento, por ejemplo, se desencadena un análisis adicional si se superan de alguna manera los parámetros de línea de base de la ROI ejemplar  
10 o el umbral predeterminado de los datos de excepción. Sin embargo, se puede generar una notificación adicional si la señal excede los parámetros de línea de base o el umbral predeterminado de los datos de excepción en un 25 %, a modo de ejemplo. Se entiende que se puede emplear cualquier tipo de criterio para desencadenar un análisis posterior tan elevado.

15 Por lo tanto, se puede ver que los datos de corrientes parásitas que se recopilan de un tubo bajo análisis se evalúan utilizando el modelo que incluye ejemplos de ROI con parámetros de rendimiento de línea de base y además incluye datos de excepción para las ROI de tubos particulares, con el resultado de desencadenar un análisis adicional, como la evaluación por parte de un analista, solo en circunstancias específicas predefinidas, como las que ocurrirían en 238. En consecuencia, el esfuerzo de evaluación manual que se requiere de un analista que utiliza los procedimientos ejemplares expuestos en el presente documento se reduce considerablemente en comparación con las metodologías  
20 conocidas.

Se observa que el procedimiento ejemplar representado generalmente en la figura 2 prevé un sistema de análisis automatizado en tiempo real en el que una señal que se recoge de un tubo se introduce directamente en el algoritmo de localización y se evalúa a medida que se recoge. Se entiende, sin embargo, que se pueden emplear diferentes metodologías. Por ejemplo, los datos de uno o más tubos se pueden recopilar y almacenar y luego evaluar como un  
25 todo en lugar de analizarlos en tiempo real. Se pueden prever otras variaciones que están dentro del ámbito del presente concepto.

Debido al espesor de la hoja de tubo, como se menciona en otro lugar en el presente documento, los datos de corrientes parásitas que se recopilan de un tubo en la región de transición de la hoja de tubo son típicamente de una tensión muy superior a cualquiera de los parámetros de línea de base de cualquiera de las ROI ejemplares. Además,  
30 la variación en la tensión de corriente parásita de una transición de la hoja de tubo a otra también está muy por encima de cualquier parámetro de línea de base de una ROI ejemplar. Por ejemplo, como se ha mencionado en otra parte del presente documento, la tensión de corriente parásita para una transición de hoja de tubo puede ser del orden de treinta (30,0) voltios. La tensión de corriente parásita de otra transición de hoja de tubo puede ser de 25,0 voltios, y la de otro tubo puede ser de 35,0 voltios. Dado que las tensiones de corriente parásita en las transiciones de la hoja del tubo son uno o más órdenes de magnitud mayores que cualquier tensión que se generaría en otras partes del tubo, es  
35 decir, partes distintas de la transición de la hoja de tubo, en la Figura 3 se representa un procedimiento mejorado y se describe en el presente documento para facilitar el análisis de las señales recogidas de las transiciones de hoja de tubo de un generador de vapor que está siendo analizado.

En términos generales, se entiende que las señales de corriente parásita de los tubos en el área de transición de la  
40 hoja de tubo de un generador de vapor son de una tensión que es suficientemente alta que la parte de la señal de corriente parásita que podría indicar un posible defecto, es decir, la señal de interés, que podría ser del orden de 0,1 voltios, es demasiado pequeña en comparación con la señal general de corriente parásita a detectar o evaluar fácilmente. En consecuencia, otro aspecto de la invención es recopilar datos históricos de señales de transición de la hoja de tubo para cada tubo de un generador de vapor, como en 304, y emplear los datos históricos de transición de  
45 la hoja de tubo para su uso en un momento posterior en comparación con los tubos de un generador de vapor que está bajo análisis después de un período de uso. De manera ventajosa, los datos históricos comparten ciertos aspectos con los datos recopilados actualmente, y el procedimiento suprime ventajosamente de la señal actual cualquier aspecto que también estuviera presente en los datos históricos de transición de la hoja de tubo para generar una señal más simple y mejorada que sea indicativa de un cambio en la condición del área de transición de la hoja del tubo de un  
50 tubo bajo análisis. Los datos históricos de la señal de transición de la hoja de tubo se pueden tomar en el momento de la fabricación del generador de vapor o en un momento posterior, tal como durante una inspección en servicio de un generador de vapor.

Los datos históricos de la señal de transición de la hoja de tubo que se recopilan en 304 durante la fabricación o la inspección en servicio de un generador de vapor se almacenan para su futura recuperación y comparación con los  
55 datos recopilados posteriormente durante una operación de prueba actual. Es decir, se recopilan los datos actuales de la señal de transición de la hoja de tubo, como en 308, para un tubo dado de un generador de vapor. Se recuperan los datos históricos de transición de la hoja de tubo para el mismo tubo. Por lo general, ocurre algún tipo de escalado con respecto a los datos actuales o los datos históricos, como en 312, para permitir la comparación. A modo de ejemplo, puede ser necesario reducir o aumentar o manipular de otro modo todos los valores de los conjuntos de datos  
60 actuales o históricos, ya que se emplearon diferentes sensores de corriente parásita u otra instrumentación para tomar ambos conjuntos de datos o debido a otros parámetros operativos diferentes entre los sensores de corriente parásita

empleados para tomar los datos históricos y actuales de la transición de la hoja de tubo. Pueden ser necesarios otros tipos de escalado si los puntos de datos de los datos históricos de transición de la hoja de tubo no coinciden perfectamente con los puntos de datos de los datos actuales de transición de la hoja de tubo. Como se menciona en otro lugar en el presente documento, los datos pueden tomarse en treinta ubicaciones por pulgada, aunque también se pueden emplear cuarenta y cinco ubicaciones por pulgada, al igual que otras densidades de señal de datos. Aún se puede requerir otro escalado si la dirección del movimiento del sensor de corriente parásita es diferente entre los datos históricos y los datos actuales. Por ejemplo, los datos históricos pueden haberse basado en el movimiento longitudinal de un sensor de corriente parásita en una dirección desde la hoja de tubo hacia la transición de la hoja de tubo, mientras que los datos actuales pueden involucrar un sensor de corriente parásita que se mueve en una dirección desde la transición de la hoja de tubo hacia la hoja de tubo. Independientemente de la naturaleza de los datos históricos y actuales de transición de la hoja de tubo, es escalado u otras manipulaciones matemáticas se pueden realizar en 312 para permitir la comparación entre los dos.

Los datos actuales de transición de la hoja de tubo y los datos históricos de transición de la hoja de tubo, como se puede escalar a 312, luego se emplean para generar una nueva señal, como en 316. La nueva señal es más simple que las señales de datos históricos o actuales de transición de la hoja de tubo, ya que los aspectos históricos de los datos, como se indica con los datos históricos de transición de la hoja de tubo, se suprimen de la señal de datos recopilada actualmente. La nueva señal es representativa del cambio en la condición de la transición de la hoja de tubo que se está analizando entre el momento en que se recopiló la transición de datos históricos de la hoja de tubo, como en el momento de la fabricación o durante una inspección en servicio, y el momento en que se han recopilado los datos actuales de transición de la hoja de tubo.

Además, puede ser deseable amplificar, como en 320, una o más porciones de la nueva señal que se genera, como en 316. Tal señal amplificada enfatizaría aquellos aspectos de la nueva señal que serían aún más indicativos de un cambio en la condición de la transición de la hoja de tubo entre el momento en que se recopilaron los datos históricos y el momento en que se recopilan los datos actuales.

Luego se envía la señal amplificada, como en 324, para analizar. Tal análisis puede realizarse automáticamente o puede ser realizado manualmente por un analista. Entonces se determina, como en 328, si algún tubo adicional del generador de vapor requiere un análisis con respecto a su región de transición de la hoja de tubo. Si otros tubos requieren análisis, el procesamiento continúa, como en 308. En caso contrario, finaliza el procesamiento, como en 330.

En este sentido, se entiende que el análisis de transición de la hoja de tubo mencionado anteriormente se puede realizar como parte del análisis representado generalmente en la Figura 2 o se puede realizar por separado. En este sentido, los datos históricos de transición de la hoja de tubo que se recopilaron en 304 potencialmente se pueden guardar como parte del modelo del generador de vapor, particularmente como una parte especial del conjunto de datos de excepción. En consecuencia, puede ser posible analizar completamente un tubo desde una transición de hoja de tubo a través de su extensión longitudinal y hasta su transición de hoja de tubo opuesta usando las enseñanzas del presente documento. Como se menciona en otro lugar en el presente documento, sin embargo, es posible analizar las transiciones de la hoja de tubo por separado de las otras porciones de los tubos, como se pueda desear.

También se observa que las enseñanzas empleadas en el presente documento se pueden aplicar de manera acumulativa para permitir que se comparen múltiples conjuntos de datos históricos con los datos actuales. Es decir, los datos históricos se pueden tomar por primera vez, como en el momento de la fabricación de un generador de vapor o en una inspección en servicio, y dichos datos históricos pueden emplearse durante una evaluación posterior de los tubos del generador de vapor. Los datos que se desarrollan durante dicha evaluación posterior pueden almacenarse como un segundo conjunto de datos históricos. Ambos conjuntos de datos históricos se pueden comparar con los datos que se recopilan durante una inspección adicional del generador de vapor para permitir que se represente el cambio en la condición de varios tubos en función del tiempo en el transcurso de varias inspecciones que ocurren en varias veces. Se pueden prever otros usos de los datos.

Se entiende que el análisis descrito en el presente documento puede realizarse en una computadora digital u otro procesador de un tipo que generalmente se conoce. Por ejemplo, tal computadora podría incluir un procesador y una memoria, almacenando la memoria en su interior una o más rutinas que se pueden ejecutar en el procesador. La memoria puede ser cualquiera de una amplia variedad de medios de almacenamiento legibles por máquina, como RAM, ROM, EPROM, EEPROM, FLASH, y similares sin limitación. La señal del sensor de corriente parásita podría ser recibida por un convertidor de analógico a digital que proporciona una entrada digital a la computadora para procesar y almacenar las señales. Los datos históricos y actuales pueden almacenarse en cualquiera de estos medios de almacenamiento y potencialmente pueden transportarse o transmitirse para su uso en otras computadoras o procesadores, según sea necesario.



**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de evaluación no destructiva de una condición actual de varios tubos de un generador de vapor de una central nuclear, comprendiendo el procedimiento:
  - 5 establecer un conjunto de parámetros de línea de base para cada una de una pluralidad de regiones de interés (ROI) ejemplares de varios de los tubos del generador de vapor; extraer con el uso de un sensor de corriente parásita una señal de cada una de una serie de ROI físicas de varios de los tubos; comparar la señal de una ROI física dada de un tubo con el conjunto de parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente; y
  - 10 desencadenar un procesamiento adicional cuando al menos una parte de la señal de la ROI física dada excede al menos una parte del conjunto de parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente; almacenar un conjunto de datos de excepción para cada una de las ROI físicas de cada uno de uno o más tubos del número de tubos, siendo cada conjunto de datos de excepción representativo de una señal histórica de la ROI física que excede el conjunto de parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente;
  - 15 en el que la activación del procesamiento adicional comprende:
    - identificar un conjunto de datos de excepción para la ROI física dada; comparar el conjunto de datos de excepción para la ROI física dada con la señal de la ROI física dada; y realizar al menos uno de:
      - 20 desencadenar la necesidad de otro procesamiento adicional si al menos una parte de la señal de la ROI física dada excede al menos una parte del conjunto de datos de excepción para la ROI física dada, abstenerse de desencadenar otro procesamiento adicional con respecto a la ROI física dada cuando ninguna parte de la señal de la ROI física dada excede por un umbral predeterminado el conjunto de datos de excepción para la ROI física dada.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la extracción de una señal de cada una de las ROI físicas de varios tubos comprende además, para cada uno de estos tubos:
  - 25 detectar una señal del tubo; ingresar al menos una parte de la señal del tubo en un algoritmo para identificar al menos una primera ROI física del tubo e identificar una ROI ejemplar correspondiente del modelo.
3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que la detección de la señal del tubo comprende detectar uno o más componentes de señal que son cada uno indicativos de una estructura de soporte para el tubo.
- 30 4. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además:
  - en el momento de la fabricación del generador de vapor, someter cada uno de al menos algunos de los tubos a una evaluación inicial de la calidad de los datos; y
  - 35 en respuesta a una determinación de que al menos una parte de los datos de un tubo en particular excede un umbral de señal predeterminado, rechazar al menos uno de: los datos del tubo particular y el propio tubo particular.
5. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además:
  - en el momento de la fabricación del generador de vapor, someter cada uno de al menos algunos de los tubos a una evaluación inicial de la calidad de los datos; y
  - 40 en respuesta a una determinación de que es probable que al menos una parte de los datos de un tubo en particular sea poco confiable, rechazar al menos uno de: los datos del tubo particular y el propio tubo particular.
6. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además abstenerse de la activación de un procesamiento adicional con respecto a una ROI física particular cuando ninguna parte de una señal de la ROI física particular excede un conjunto de parámetros de línea de base de una ROI ejemplar correspondiente.
- 45 7. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además activar una notificación adicional si la al menos parte de la señal de la ROI física dada excede la al menos parte del conjunto de parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente por una cantidad predeterminada.
8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el conjunto de parámetros de línea de base para al menos una primera ROI ejemplar incluye una pluralidad de características que comprenden uno o más de una tensión, un ángulo de fase, y un patrón, y que comprende además determinar que la al menos parte de la señal de la ROI física dada excede la al menos parte del conjunto de parámetros de línea de base de la ROI ejemplar correspondiente cuando se excede una cualquiera o más de la pluralidad de características.
- 50 9. Un medio de almacenamiento legible a máquina que tiene almacenado en el mismo instrucciones que, cuando se

ejecutan en un procesador de un dispositivo informático, hacen que el dispositivo informático realice las operaciones de la reivindicación 1.

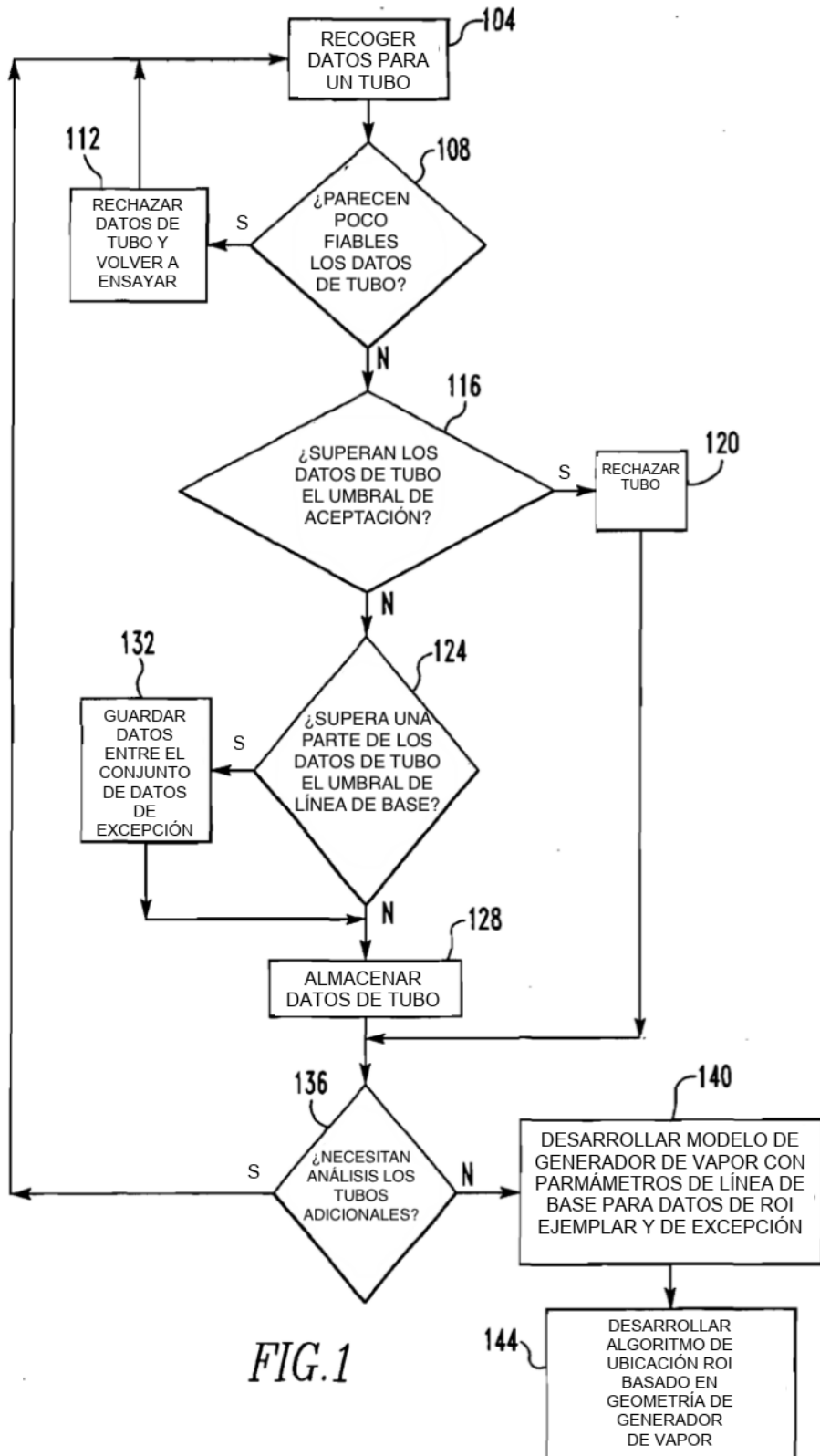


FIG.1

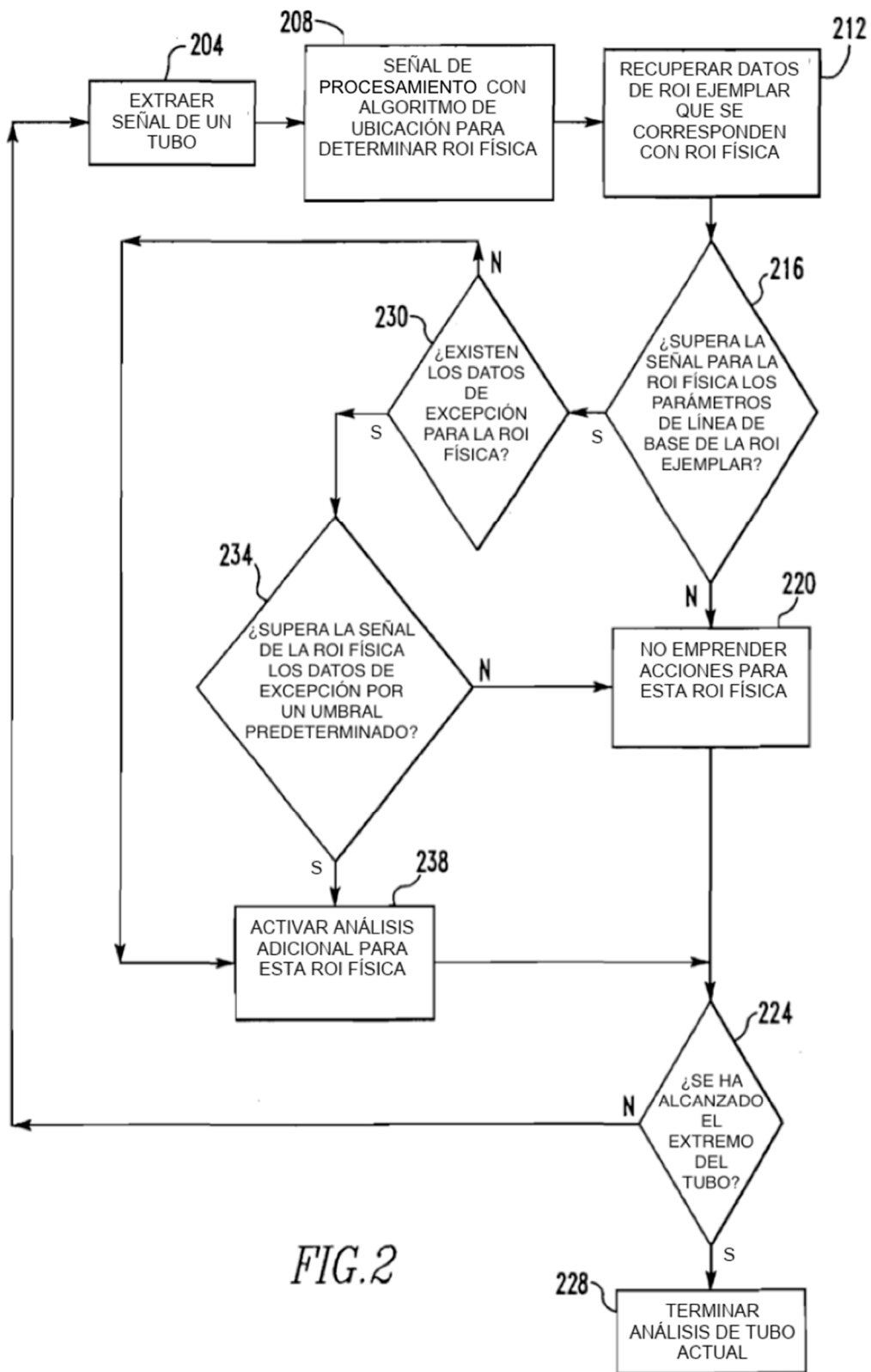


FIG. 2

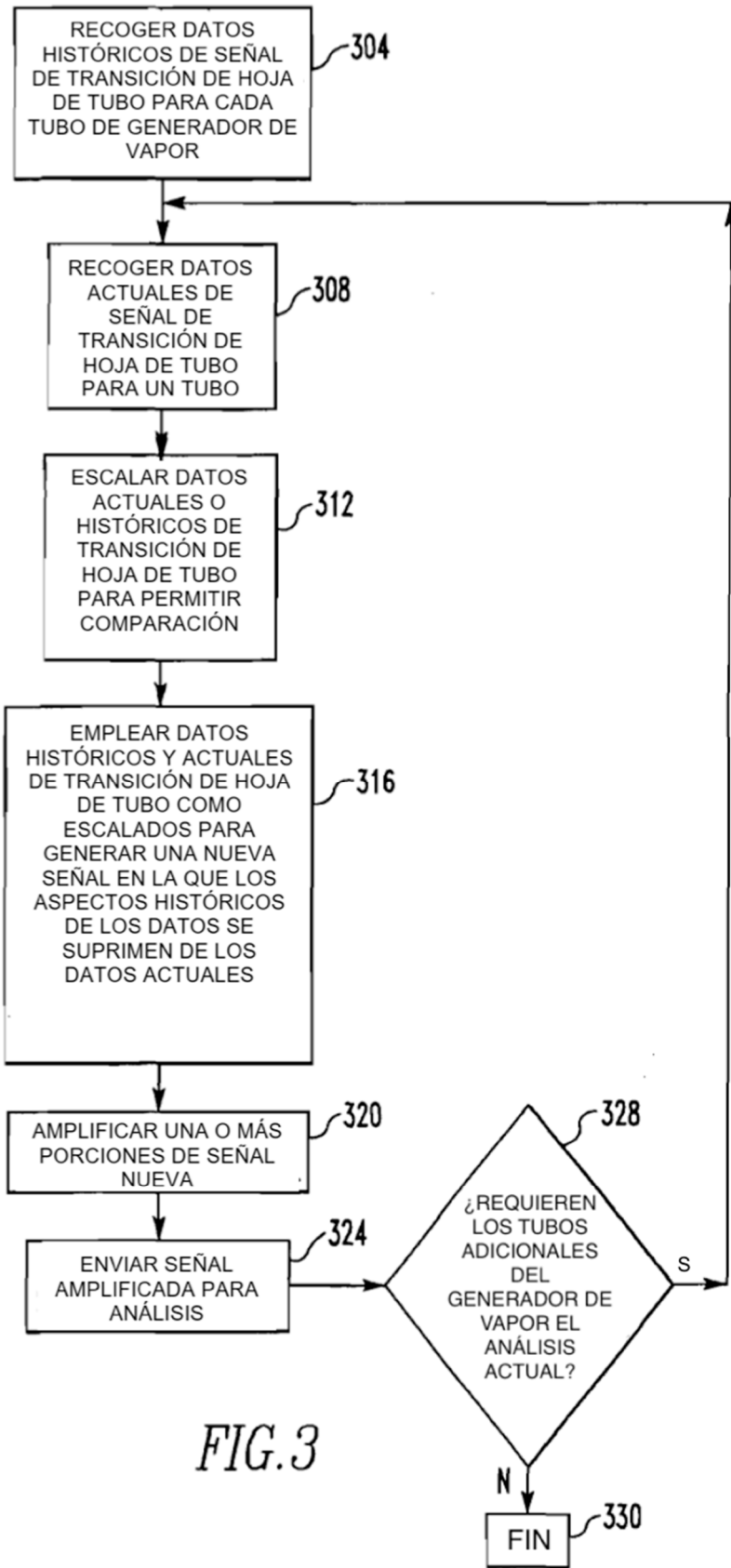


FIG.3