

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 966 574**

51 Int. Cl.:

**G01R 31/08** (2010.01)

**G01R 31/12** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2012** **E 12165652 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2023** **EP 2518521**

54 Título: **Sistema y dispositivo para detección de defectos en cables subterráneos**

30 Prioridad:

**29.04.2011 US 201113098186**

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

**23.04.2024**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH  
(100.0%)**

**Brown Boveri Strasse 8  
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**GANESH, MEENA**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 966 574 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Sistema y dispositivo para detección de defectos en cables subterráneos

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

5 El tema aquí descrito se refiere en general a cables subterráneos y, más particularmente, a un sistema y dispositivo para detectar defectos en cables subterráneos.

10 Los cables subterráneos permiten que la electricidad viaje desde una planta de energía hasta los clientes residenciales y comerciales. Los cables incluyen conductores por donde fluye la corriente eléctrica y aislamiento que rodea los conductores para impedir que la corriente eléctrica fluya fuera de los conductores. El aislamiento del cable puede deteriorarse con el tiempo y fallar, provocando defectos como arborescencia acuosa y arborescencia eléctrica en el aislamiento. Una descarga parcial se refiere a un cambio abrupto de corriente en el cable que puede generarse durante la ruptura del aislamiento o cuando se producen arcos entre el cable y otro aislante. Una descarga parcial prolongada puede erosionar aún más el aislamiento del cable y provocar una rotura total del aislamiento o un fallo total del cable.

15 Puede ser conveniente monitorear los cables subterráneos para detectar defectos de aislamiento mediante análisis de descargas parciales para evitar una ruptura total del aislamiento o una falla total del cable. Cuando se monitorean los cables, se puede encontrar un defecto temprano, por ejemplo antes de que ocurra una avería completa. El cable puede repararse o reemplazarse para eliminar defectos. Algunos sistemas de monitoreo realizan un monitoreo basado en un programa de mantenimiento de cables. Sin embargo, un sistema o dispositivo de monitoreo puede proporcionar resultados más rápidos si los cables subterráneos se monitorean continuamente. Un sistema de este tipo permite un seguimiento basado en la condición que puede mejorar la eficiencia y reducir los costes. Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema o dispositivo que pueda monitorear continuamente defectos en los cables subterráneos.

20 El documento WO 2010/109413 describe un procedimiento para localizar descargas parciales que ocurren en un sitio de descarga en un aparato eléctrico en el que la descarga da como resultado pulsos eléctricos correspondientes que se propagan en direcciones opuestas a lo largo del aparato desde el sitio de descarga. El procedimiento comprende detectar los pulsos captados por el primer y segundo sensores conectados y espaciados a lo largo del aparato, derivar parámetros de forma, fase y amplitud para cada una de las señales detectadas, separar los conjuntos de señales detectadas en cada sensor en subconjuntos respectivos, identificar aquellos subconjuntos relativos a descargas parciales y clasificándolas. Los subconjuntos relacionados con diferentes sensores y clasificados de manera similar se correlacionan para derivar un par de subconjuntos de señales relacionadas con el mismo lugar de descarga y se selecciona un par de pulsos homólogos detectados en diferentes sensores en el mismo intervalo de tiempo. La distancia entre el lugar de descarga y los sensores se calcula en función del par de pulsos homólogos seleccionados.

25 El documento US 2010/315092 A1 describe un sistema y un procedimiento para medir la corriente de fuga en una red de transmisión eléctrica. El sistema contiene una pluralidad de dispositivos de medición de corriente eléctrica distribuidos a lo largo de la red de transmisión eléctrica y al menos un controlador central. Los dispositivos de medición de corriente miden la corriente eléctrica de manera sustancialmente continua o repetida y la informan al controlador central. El controlador central realiza análisis de las mediciones de la corriente eléctrica a lo largo de la red de transmisión y calcula la corriente de fuga.

**BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

35 La presente invención reside en un sistema y procedimiento para detectar defectos de aislamiento en un cable como se define en las reivindicaciones adjuntas.

**BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

A continuación se describirán realizaciones de la presente invención, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

40 La FIG. 1 es una vista esquemática de una realización de un sistema de red eléctrica que incluye un sistema de monitoreo para detectar descargas parciales en un cable subterráneo;

45 La FIG. 2 es una vista esquemática de una realización de un sistema de monitoreo para detectar defectos de aislamiento usando análisis de descargas parciales en un cable subterráneo;

La FIG. 3 es un diagrama de flujo de una realización de un sistema de monitoreo para detectar defectos de aislamiento usando análisis de descargas parciales en un cable subterráneo;

50 La FIG. 4 es una vista en perspectiva de una realización de un cable subterráneo con un sensor para monitorear la energía eléctrica;

La FIG. 5 es un diagrama de flujo de una realización de un sistema esclavo de adquisición de datos que puede incluirse en el sistema de monitoreo de la FIG. 1;

La FIG. 6 es un diagrama de flujo de una realización de un sistema de adquisición de datos maestros que puede incluirse en el sistema de monitoreo de la FIG. 1;

La FIG. 7 es un diagrama de flujo de una realización de un módulo de análisis que puede incluirse en el sistema de adquisición de datos de la FIG. 5 o la FIG. 6; y

- 5 La FIG. 8 es un diagrama de flujo de una realización de un módulo de decisión que puede incluirse en el sistema de adquisición de datos de la FIG. 6.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

10 A continuación se describirán una o más realizaciones específicas de la presente invención. En un esfuerzo por proporcionar una descripción concisa de estas realizaciones, es posible que no se describan todas las características de una implementación real en la especificación. Debe apreciarse que, en el desarrollo de cualquier implementación real, como en cualquier proyecto de ingeniería o diseño, se deben tomar numerosas decisiones específicas de implementación para lograr los objetivos específicos de los desarrolladores, como el cumplimiento de las restricciones relacionadas con el sistema y con el negocio, que puede variar de una implementación a otra. Además, se debe apreciar que tal esfuerzo de desarrollo podría ser complejo y llevar mucho tiempo, pero, no obstante, sería una tarea rutinaria de diseño, fabricación y manufactura para aquellos con experiencia ordinaria que se benefician de esta divulgación.

15 Al introducir elementos de diversas realizaciones de la presente invención, los artículos "un", "una", "el", "la" y "dicho", "dicha" pretenden significar que hay uno o más de los elementos. Los términos "que comprende", "incluido" y "que tiene" pretenden ser inclusivos y significan que puede haber elementos adicionales distintos de los elementos enumerados.

20 Como se analiza en el presente documento, se puede utilizar un sistema para detectar defectos con sistemas de cables subterráneos. El sistema podrá monitorear continua o periódicamente los cables subterráneos para detectar defectos en los cables. El sistema pasivo divulgado permite que los cables se utilicen para proporcionar energía residencial y/o comercial sin dejar de monitorear defectos. Cuando se detecta un defecto, el sistema puede determinar además la ubicación del defecto. El sistema de seguimiento puede entonces informar del defecto y la ubicación del defecto a una estación de monitoreo. Con una advertencia temprana, el cable puede repararse o reemplazarse para evitar que ocurran más defectos en el cable. Un sistema de este tipo puede reducir el coste de mantenimiento de un sistema de cable subterráneo.

25 Teniendo en cuenta los comentarios anteriores y volviendo a la FIG. 1, esta figura ilustra esquemáticamente un sistema de red eléctrica 10 que incluye un sistema de monitoreo 12 para detectar descargas parciales en un cable subterráneo. En la realización ilustrada, el sistema de red eléctrica 10 incluye una planta de generación de energía 14, una subestación de distribución subterránea 16 y sistemas de cable 18 y 20. La planta de generación de energía 14 proporciona energía eléctrica a cargas conectadas al sistema de red eléctrica 10, tales como residencias 22 y 24, y una instalación industrial 26. La planta de generación de energía 14 puede incluir uno o más generadores para convertir energía mecánica en energía eléctrica. La energía eléctrica se transporta desde la planta de generación de energía 14 a la subestación de distribución subterránea 16 utilizando el sistema de cables 18. La subestación de distribución subterránea 16 puede transformar el voltaje de alto a bajo con un transformador reductor, o transformar el voltaje de bajo a alto con un transformador elevador. Además, la subestación de distribución subterránea 16 puede incluir interruptores, equipos de protección y equipos de control, además de uno o más transformadores.

30 Como se ilustra, la energía eléctrica se transporta desde la subestación de distribución subterránea 16 a las residencias 22 y 24, y a la instalación industrial 26 utilizando el sistema de cable subterráneo 20. El sistema de cable subterráneo 20 transporta la energía eléctrica por debajo del nivel del suelo 28. Bocas de acceso 30, 32, y 34 están colocadas en varias ubicaciones para proporcionar acceso al sistema de cable subterráneo 20, tal como para mantenimiento, instalación y monitoreo del cable. Por ejemplo, el sistema de monitoreo 12 puede instalarse y mantenerse usando las bocas de acceso 30, 32 y 34 para acceder a partes del sistema de monitoreo 12.

35 El sistema de monitoreo 12 incluye sensores 36, 38, 40 y 42, sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50, un dispositivo de puerta de enlace 52 y una estación de monitoreo 54. El número de sensores 36, 38, 40 y 42 y los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 en ciertas realizaciones pueden ser menores o mayores que los cuatro representados. Por ejemplo, el sistema de monitoreo 12 puede incluir 2, 3, 4, 5, 6, 10, 20, 50, 100 o cualquier otro número de sensores 36, 38, 40 y 42 y los correspondientes sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50. Asimismo, el sistema de monitoreo 12 puede incluir más de un dispositivo de puerta de enlace 52 y una estación de monitoreo 54.

40 Los sensores 36, 38, 40 y 42 están acoplados al sistema de cable subterráneo 20 en varias ubicaciones para permitir el monitoreo del sistema de cable subterráneo 20. Además, los sensores 36, 38, 40 y 42 pueden colocarse sobre, alrededor de, o adyacentes a segmentos de cable del sistema de cable subterráneo 20 para monitorear la energía eléctrica que pasa a través de los cables. Por ejemplo, los sensores 36, 38, 40 y 42 pueden sujetarse al sistema de cable subterráneo 20. Los sensores 36, 38, 40 y 42 pueden ser cualquier tipo de sensor disponible comercialmente o de otro modo que pueda monitorear pasivamente la energía eléctrica que fluye a través de los cables. Por ejemplo,

los sensores 36, 38, 40 y 42 pueden ser cada uno de ellos un transformador de corriente de radiofrecuencia (RFCT). El monitoreo pasivo permite que la energía eléctrica que circula a través del sistema de cable subterráneo 20 sea monitoreada externamente a los cables sin interferir con la energía eléctrica que circula a través de los cables. Como tal, el monitoreo pasivo permite que el sistema de monitoreo 12 monitoree las señales que emanan del sistema de cable subterráneo 20 cuando ocurre una falla. Una falla se define como una descarga que ocurre a través de las grietas del aislamiento. Normalmente, cuando el aislamiento tiene arborescencias eléctricas, las arborescencias eléctricas provocarán una descarga.

Cada sensor 36, 38, 40 y 42 está acoplado a un respectivo sistema de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50, por ejemplo mediante un cable o de forma inalámbrica. Los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 reciben señales transmitidas desde los sensores 36, 38, 40 y 42. Las señales son analizadas por los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 para determinar si se detecta un defecto de aislamiento desde uno de los sensores 36, 38, 40 y 42.

Si se detecta un defecto, los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 se comunican entre sí, o con otro dispositivo en el sistema de monitoreo 12, para verificar que ocurrió el defecto y calcular la ubicación del defecto. Específicamente, los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 y/o los sensores 36, 38, 40 y 42 pueden organizarse en pares que incluyen un sistema de adquisición de datos maestro y un sistema de adquisición de datos esclavo. Juntos, los sistemas de adquisición de datos maestro y esclavo pueden verificar que ocurrió un defecto y calcular la ubicación del defecto.

Cuando se organizan en pares, cada sistema de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 y/o sensor 36, 38, 40 y 42 pueden ser parte de dos pares diferentes. Por ejemplo, un par puede incluir un sistema de adquisición de datos 44 configurado como maestro y un sistema de adquisición de datos 46 configurado como esclavo. Un segundo par puede incluir un sistema de adquisición de datos 48 configurado como maestro y un sistema de adquisición de datos 46 configurado como esclavo. Además, un tercer par puede incluir un sistema de adquisición de datos 48 configurado como maestro y un sistema de adquisición de datos 50 configurado como esclavo. Por lo tanto, con tal configuración, el sistema de cable subterráneo 20 puede ser monitoreado por el primer, segundo y tercer par de datos para permitir la cobertura de monitoreo entre el sistema de adquisición de datos 44 y el sistema de adquisición de datos 50. Además, cada sistema de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 pueden sincronizarse periódicamente a un reloj interno con una hora estandarizada, como un reloj NIST, o mediante GPS. Además, cada par de sistemas de adquisición de datos puede sincronizarse periódicamente a un reloj interno entre sí, tal como una vez al día o una vez por hora, por ejemplo.

En una realización, los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 se comunican de forma inalámbrica con el dispositivo de puerta de enlace 52. El dispositivo de puerta de enlace 52 recibe datos de los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 que indican que se produjo un defecto e indican la ubicación del defecto. El dispositivo de puerta de enlace 52 puede ser cualquier dispositivo que pueda recibir datos de los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 y transmitir los datos a la estación de monitoreo 54. Por ejemplo, el dispositivo de puerta de enlace 52 puede ser una Puerta de Enlace Inalámbrica, un producto WireLess fabricado por WiYZ. En ciertas realizaciones, el dispositivo de puerta de enlace 52 puede ser un ordenador de escritorio, un ordenador portátil, un recopilador/repetidor inalámbrico u otro dispositivo inalámbrico.

El dispositivo de puerta de enlace 52 transmite los datos del defecto a la estación de monitoreo 54. En ciertas realizaciones, el dispositivo de puerta de enlace 52 puede comunicarse a través de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) o inclusiones del lado del servidor (SSI). La estación de monitoreo 54 puede ser cualquier dispositivo que pueda recibir datos desde el dispositivo de puerta de enlace 52 y mostrar los datos. Por ejemplo, la estación de monitoreo 54 puede ser un ordenador de escritorio o portátil. En ciertas realizaciones, el dispositivo de puerta de enlace 52 o la estación de monitoreo 54 pueden recibir datos directamente desde los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50 para verificar que ocurrió un defecto y calcular la ubicación del defecto. Aun así, en realizaciones adicionales, el dispositivo de puerta de enlace 52 puede recibir datos directamente desde los sistemas de adquisición de datos 44, 46, 48 y 50, luego transmitir los datos a la estación de monitoreo 54 para verificar que ocurrió un defecto y calcular la ubicación del defecto.

Teniendo en cuenta lo anterior, la FIG. 2 es una vista esquemática de un sistema de monitoreo 60 para detectar un defecto de aislamiento en un cable subterráneo 62. En la realización ilustrada, el sistema de monitoreo 60 incluye sensores 64, 66 y 68 y sistemas de adquisición de datos 70, 72 y 74. Los sensores 64, 66 y 68 están acoplados al cable subterráneo 62. Al igual que los sensores descritos en la FIG. 1, los sensores 64, 66 y 68 pueden colocarse sobre, alrededor o adyacentes a segmentos de cable del cable subterráneo 62 para monitorear la energía eléctrica que pasa a través de los cables. Por ejemplo, los sensores 64, 66 y 68 pueden sujetarse al cable subterráneo 62. Los sensores 64, 66 y 68 pueden ser cualquier tipo de sensor disponible comercialmente o que de otro modo que puedan monitorear pasivamente la energía eléctrica que pasa a través de los cables. Por ejemplo, los sensores 64, 66 y 68 pueden ser cada uno de ellos un transformador de corriente de radiofrecuencia (RFCT).

Cada sensor 64, 66 y 68 está acoplado a un respectivo sistema de adquisición de datos 70, 72 y 74. Los sistemas de adquisición de datos 70, 72 y 74 reciben señales transmitidas desde los sensores 64, 66 y 68. Las señales se analizan por los sistemas de adquisición de datos 70, 72 y 74 para determinar si se detecta un defecto desde uno de los sensores 64, 66 y 68. El cable subterráneo 62 ilustrado incluye los defectos 76 y 78. El defecto 76 está ubicado en la

sección del cable subterráneo 62 entre los sensores 64 y 66. Por lo tanto, los sistemas de adquisición de datos 70 y 72 pueden detectar el defecto 76 y calcular la ubicación del defecto 76.

Como se ilustra, los sensores 64 y 66 pueden estar separados por una distancia 80. En ciertas realizaciones, la distancia 80 puede ser de aproximadamente 90 a 300 metros. Específicamente, la distancia 80 puede ser de aproximadamente 290 metros. Una distancia 82 es la distancia desde el sensor 64 al defecto 76, mientras que una distancia 84 es la distancia desde el defecto 76 al sensor 66. La combinación de distancias 82 y 84 suman la distancia 80. Por ejemplo, la distancia 82 puede ser de aproximadamente 80 metros, mientras que la distancia 84 puede ser de aproximadamente 210 metros. En tal caso, la distancia 80 sería de aproximadamente 290 metros. Como otro ejemplo, la distancia 82 puede ser de aproximadamente 30 metros, mientras que la distancia 84 puede ser de aproximadamente 70 metros. En tal caso, la distancia 80 sería de aproximadamente 100 metros.

El defecto 78 está ubicado en la sección del cable subterráneo 62 entre los sensores 66 y 68. Por lo tanto, los sistemas de adquisición de datos 72 y 74 pueden detectar el defecto 78 y determinar la ubicación del defecto 78. Como se ilustra, los sensores 66 y 68 pueden estar separados por una distancia 86. En ciertas realizaciones, la distancia 86 puede ser de aproximadamente 60 a 350 metros. Por ejemplo, la distancia 86 puede ser de aproximadamente 250 metros. Una distancia 88 es la distancia desde el sensor 66 hasta el defecto 78, mientras que una distancia 90 es la distancia desde el defecto 78 hasta el sensor 68. La combinación de distancias 88 y 90 totaliza la distancia 86. Por ejemplo, la distancia 88 puede ser de aproximadamente 200 metros, mientras que la distancia 90 puede ser de aproximadamente 50 metros. En tal caso, la distancia 86 sería de aproximadamente 250 metros. Como otro ejemplo, la distancia 88 puede ser de aproximadamente 60 metros, mientras que la distancia 90 puede ser de aproximadamente 10 metros. En tal caso, la distancia 86 sería de aproximadamente 70 metros. Cabe señalar que los sensores 64, 66 y 68 tienen una distancia 80 u 86 entre sus ubicaciones lo suficientemente cerca como para permitir que los sistemas de adquisición de datos 70, 72 y 74 se comuniquen de forma inalámbrica entre sí y con un dispositivo de puerta de enlace. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, los sistemas de adquisición de datos 70, 72 y 74 pueden tener un alcance de transmisión inalámbrica de aproximadamente 900 metros, por lo tanto los sistemas de adquisición de datos 70, 72 y 74 están colocados para estar dentro de aproximadamente 900 metros de un dispositivo de puerta de enlace.

Volviendo a la FIG. 3, se ilustra un diagrama de flujo 100 de un sistema de monitoreo para detectar un defecto de aislamiento en un cable subterráneo. En la realización ilustrada, el diagrama de flujo 100 muestra cómo pueden fluir los datos entre varias partes del sistema de monitoreo. Específicamente, un cable subterráneo 102 proporciona datos a los sensores 104 y 106, tales como sensores RFCT. El sensor 104 se comunica con un sistema de adquisición de datos 108, mientras que el sensor 106 se comunica con un sistema de adquisición de datos 110. En ciertas realizaciones, los sistemas de adquisición de datos 108 y 110 pueden comunicarse entre sí, tal como con una relación maestro/esclavo.

El sistema de adquisición de datos 108 comunica datos defectuosos a un dispositivo de puerta de enlace 112. Además, en ciertas realizaciones, el sistema de adquisición de datos 110 también comunica datos de defectos al dispositivo de puerta de enlace 112. En tal sistema, el dispositivo de puerta de enlace 112 o una estación de monitoreo 114 pueden formular decisiones utilizando datos de cada sistema de adquisición de datos 108 y 110 para determinar si hay un defecto y la ubicación del defecto. Como se ilustra, el dispositivo de puerta de enlace 112 comunica datos de defectos a la estación de monitoreo 114.

La FIG. 4 ilustra una vista en perspectiva de un cable subterráneo 62 con un sensor 120 para monitorear la energía eléctrica. El cable subterráneo 62 incluye un núcleo conductor 122 rodeado por una capa de aislamiento 124. El aislamiento 124 puede estar rodeado por una funda 126. El núcleo conductor 122 transporta energía eléctrica, mientras que el aislamiento 124 y la funda 126 protegen el cable 62 de daños mecánicos e inhiben el núcleo conductor 122 de entrar en contacto directamente con otro material eléctricamente conductor. El sensor 120 se ilustra rodeando la funda 126. En ciertas realizaciones, el sensor 120 puede sujetarse alrededor de la funda 126 o fijarse al cable 62 de otra manera. El sensor 120 incluye un conector 128 para acoplar el sensor 120 con un sistema de adquisición de datos. Como se ilustra, el conector 128 puede ser un conector tipo BNC o cualquier otro conector que permita transmitir datos desde el sensor 120.

Pasando a la FIG. 5, se ilustra un diagrama de flujo 130 de un sistema de adquisición de datos esclavo (DAQ esclavo) 132 que puede incluirse en el sistema de monitoreo 12 de la FIG. 1. En ciertas realizaciones donde los sistemas de adquisición de datos no tienen una relación maestro/esclavo, el DAQ esclavo 132 ilustrado puede ser el sistema de adquisición de datos utilizado. Por ejemplo, el DAQ esclavo 132 puede ser una realización de un sistema de adquisición de datos en sistemas donde todos los sistemas de adquisición de datos se comunican directamente con un dispositivo de puerta de enlace. En la realización ilustrada, el DAQ esclavo 132 recibe una señal analógica 134 de un sensor, tal como un RFCT. El DAQ esclavo 132 procesa la señal analógica 134 y transmite datos 136 hacia y/o desde un sistema maestro de adquisición de datos, tal como el sistema maestro de adquisición de datos descrito en la FIG. 6. En ciertas realizaciones, el DAQ esclavo 132 transmite datos 136 a un dispositivo de puerta de enlace o una estación de monitoreo. Aunque se representa una señal analógica 134, otras realizaciones del DAQ esclavo 132 pueden recibir una señal digital.

Como se ilustra, el DAQ esclavo 132 incluye una unidad central de procesamiento (CPU) 137 que recibe la señal analógica 134 y proporciona la señal a un convertidor analógico a digital 138. El convertidor analógico a digital 138 convierte la señal analógica 134 en una señal digital que incluye datos digitales. Un módulo de análisis 140 analiza los datos digitales para detectar un defecto en los datos, tal como una descarga parcial. Además, el módulo de análisis 140 puede usar algoritmos y modelos de decisión para determinar si los datos digitales indican o no la presencia de uno o más defectos. Una realización del módulo de análisis 140 se describe a continuación en relación con la FIG. 7. Si se detectan defectos, el módulo de análisis 140 reduce el tamaño de los datos digitales para incluir ciertas características de señal 142. Por ejemplo, los datos digitales pueden incluir aproximadamente 2500 bytes de datos, mientras que las características de señal extraídas 142 incluyen aproximadamente 100 bytes de datos. Las características de señal 142 incluyen datos que pueden usarse para correlacionar con otro conjunto de características de señal y para calcular la ubicación del defecto. Un módulo de transmisión 144 envía las características de señal 142 como parte de los datos 136. El módulo de transmisión 144 incluye una tarjeta de red inalámbrica para transmitir los datos 136 de forma inalámbrica. Dicha tarjeta de red inalámbrica puede ser una tarjeta de interconexión de componentes periféricos (PCI) que puede comunicarse hasta 900 metros, por ejemplo.

Con los datos digitales reducidos a características de señal 142, tal como con una reducción de tamaño del 96 por ciento, los datos 136 transmitidos al sistema de adquisición de datos maestros se reducen considerablemente. Por lo tanto, el tráfico de comunicación inalámbrica puede ser limitado. Como se puede apreciar, el DAQ esclavo 132 puede recibir datos 136 del sistema de adquisición de datos maestro u otro dispositivo del sistema de monitoreo. Por ejemplo, el DAQ esclavo 132 puede recibir una señal de reconocimiento o una señal de verificación de estado. Asimismo, el DAQ esclavo 132 puede enviar datos 136 distintos de las características de señal 142 al sistema de adquisición de datos maestro u otro dispositivo del sistema de monitoreo. Por ejemplo, el DAQ esclavo 132 puede enviar informes de datos sobre el estado del DAQ esclavo, entre otras cosas. Como se puede apreciar, el convertidor analógico a digital 138, el módulo de análisis 140 y el módulo de transmisión 144 pueden incluir cada uno memoria, almacenamiento o un área intermedia para almacenar datos temporalmente mientras los datos se procesan o analizan. Además, el área de memoria, almacenamiento o memoria intermedia se puede borrar según sea necesario para datos adicionales, como cuando se ha tomado una decisión basada en los datos.

Volviendo a la FIG. 6, se ilustra un diagrama de flujo 150 de un sistema de adquisición de datos maestros (DAQ maestro) 152 que puede incluirse en el sistema de monitoreo 12 de la FIG. 1. En la realización ilustrada, el DAQ maestro 152 recibe una señal analógica 154 de un sensor, tal como un RFCT. El DAQ maestro 152 también transmite datos 156 hacia y/o desde un DAQ esclavo, tal como el DAQ esclavo 132 de la FIG. 5. El DAQ maestro 152 procesa la señal analógica 154 y transmite datos 158 hacia y/o desde un dispositivo de puerta de enlace, tal como el dispositivo de puerta de enlace 52 de la FIG. 1. Aunque se representa una señal analógica 154, otras realizaciones del DAQ maestro 152 pueden recibir una señal digital, como la de un sensor digital.

Como se ilustra, el DAQ maestro 152 incluye una unidad central de procesamiento (CPU) 137 que recibe la señal analógica 154 y proporciona la señal a un convertidor analógico a digital 138. El convertidor analógico a digital 138 convierte la señal analógica 154 a una señal digital que incluye datos digitales. Un módulo de análisis 140 analiza los datos digitales para detectar un defecto en los datos, tal como una descarga parcial. Además, el módulo de análisis 140 puede usar algoritmos y modelos de decisión para determinar si los datos digitales indican o no la presencia de uno o más defectos. Una realización del módulo de análisis 140 se describe a continuación en relación con la FIG. 7. Si se detectan defectos, el módulo de análisis 140 procesa los datos digitales para extraer ciertas características de señal 142. Por ejemplo, los datos digitales pueden incluir aproximadamente 2500 bytes de datos, mientras que las características de señal extraídas 142 incluyen aproximadamente 100 bytes de datos. Las características de señal 142 incluyen datos que pueden usarse para correlacionar con otro conjunto de características de señal y para calcular la ubicación del defecto.

Un módulo de decisión 160 recibe las características de señal 142 y los datos 156 de un DAQ esclavo, que incluye características de señal del DAQ esclavo. El módulo de decisión 160 toma una decisión final sobre el defecto basándose en los datos. Una realización del módulo de decisión 160 se describe a continuación en relación con la FIG. 8. Un módulo de transmisión 144 envía la decisión final sobre el defecto como parte de los datos 158. Los datos de la decisión final sobre el defecto incluyen información sobre el defecto, tal como la ubicación del defecto. Como se puede apreciar, el DAQ maestro 152 puede recibir datos 158 desde el dispositivo de puerta de enlace u otro dispositivo en el sistema de monitoreo. Por ejemplo, el DAQ maestro 152 puede recibir una señal de reconocimiento o una señal de verificación de estado. Del mismo modo, el DAQ maestro 152 puede enviar datos 158, distintos de datos del defecto, al dispositivo de puerta de enlace. Por ejemplo, el DAQ maestro 152 puede enviar informes de datos sobre el estado del DAQ maestro, entre otras cosas. Como se puede apreciar, el módulo de decisión 160 puede incluir memoria, almacenamiento o un área intermedia para almacenar datos temporalmente mientras los datos se procesan o analizan. Además, el área de memoria, almacenamiento o memoria intermedia se puede borrar según sea necesario para datos adicionales, como cuando se ha tomado una decisión basada en los datos.

Volviendo a la FIG. 7, se ilustra un diagrama de flujo 180 de una realización de un módulo de análisis 140 que puede incluirse en el sistema de adquisición de datos 132 o 152 de la FIG. 5 o la FIG. 6. El módulo de análisis 140 recibe datos digitales 182, analiza los datos 182 y emite características de señal 142. Los datos digitales 182 pueden ser datos transmitidos directamente desde un sensor, tal como un RFCT, o los datos digitales 182 pueden ser datos transmitidos desde un convertidor analógico a digital, tal como el convertidor analógico a digital 138 ilustrado en las

FIG. 5 y 6. Además, los datos digitales 182 se reciben y/u organizan en grupos de datos, tales como grupos de 5000 bytes, por ejemplo.

El módulo de análisis 140 puede aplicar una o más pruebas, cálculos o modelos sobre los datos digitales 182 para determinar si hay un defecto de aislamiento, como se representa en el bloque 184. Por ejemplo, el módulo de análisis 140 puede incluir un nivel de señal de activación para indicar que se produjo una descarga parcial debido al defecto de aislamiento. Si el análisis en el bloque 184 determina que los datos digitales 182 no contienen datos que indiquen una descarga parcial, el diagrama de flujo regresa a la entrada del bloque 184 para analizar datos digitales adicionales 182. Sin embargo, si el análisis en el bloque 184 determina que los datos digitales 182 contienen datos que indican una descarga parcial, las características de la señal se pueden extraer en el bloque 186.

Se puede extraer cualquier número de características de señal de los datos digitales 182, tales como características de señal de un grupo estadístico (por ejemplo, mínimo, máximo, media, media armónica o geométrica, RMS, factor de cresta, desviación absoluta, desviación estándar, sesgo, curtosis), grupo relacionado con la forma (p. ej., área, amplitud cuando la curva se ajusta como Weibull, forma cuando la curva se ajusta como Weibull, regresión, pendiente, punto de inflexión, punto máximo), grupo de procesamiento de señales (p. ej., amplitud, frecuencia o fase sin CC eliminada, las diez frecuencias más altas, índice, energía acumulada máxima, media de tramas, mediana de tramas), grupo relacional de base de datos (por ejemplo, número de identificación de prueba, nombre de archivo de datos sin procesar, número de canal, número de pulso, voltaje umbral, tiempo de actualización) y/o grupo de decisión (por ejemplo, ruido real o previsto, descarga parcial manual, descarga parcial prevista). Para obtener las características de la señal, se pueden utilizar varios cálculos o fórmulas. Por ejemplo, se pueden usar transformadas de ondícula continua (CWT) para convertir un grupo de datos digitales 182 de una representación de tiempo-frecuencia a una representación de escala de tiempo. Los coeficientes CWT se pueden obtener utilizando ondículas db2 o bior.

Además, la energía acumulada se puede calcular sumando el cuadrado de los coeficientes CWT. Ciertas características de la señal pueden extraerse y/o calcularse a partir del grupo de datos digitales 182 basándose en la energía acumulada calculada. Específicamente, se pueden calcular y/o extraer un índice 188, una energía acumulada máxima 190, una media de tramas 192 y una mediana de tramas 194. El índice 188 es el número de muestra cuando ocurre la energía acumulativa máxima 190 en el grupo de datos digitales 182. Cuando el índice 188 se correlaciona con una marca de tiempo, se puede determinar el momento en que ocurrió la energía acumulativa máxima 190. La energía acumulativa máxima 190 es la energía acumulativa máxima que se correlaciona con el índice 188. Un grupo de datos digitales 182 puede subdividirse en tramas. Por ejemplo, un grupo de datos digitales 182 se puede dividir en 100 tramas. Por lo tanto, si un grupo de datos digitales 182 incluye 5000 bytes o muestras, dicha trama incluiría 50 bytes o muestras. Por lo tanto, la media de tramas 192 es la media de tramas que contiene la energía acumulada máxima 190. Además, la mediana de tramas 194 es la mediana de tramas con la energía acumulativa máxima 190.

Los datos extraídos se combinan para crear el paquete de datos con características de señal 142. Por ejemplo, como se ilustra, el índice 188 puede moverse al bloque 196, la energía acumulada máxima 190 puede moverse al bloque 198, la media de tramas 192 puede moverse al bloque 200 y la mediana de tramas 194 puede moverse al bloque 202. Además, un sello de tiempo se puede agregar a las características de la señal 142 para correlacionar las características de la señal 142 entre múltiples sistemas de adquisición de datos. Las características de la señal 142 se emiten para su posterior procesamiento o transmisión a otro dispositivo.

Ilustrado en la FIG. 8 hay un diagrama de flujo 220 de una realización de un módulo de decisión 160 que puede incluirse en el sistema de adquisición de datos 152 de la FIG. 6. El módulo de decisión 160 recibe características de señal 222 de un DAQ maestro y recibe características de señal 224 de uno o más DAQ esclavos. El módulo de decisión 160 toma una decisión sobre si se ha producido una descarga parcial y determina la ubicación de una descarga parcial existente. Si se ha producido una descarga parcial, el módulo de decisión 160 envía la información a un módulo de transmisión 226 donde se transmite a otro dispositivo, tal como un dispositivo de puerta de enlace.

Las características de señal 222 y 224 ingresan al módulo de decisión donde se comparan, en el bloque 228. Luego, en el bloque 230, se toma una decisión sobre si se detecta una descarga parcial en un par maestro/esclavo. Por ejemplo, si las características de señal 222 de un DAQ maestro indican que ocurrió una descarga parcial por primera vez y las características de señal 224 de un DAQ esclavo indican que ocurrió una descarga parcial por segunda vez, siempre que el primer y el segundo momento estén cerca. Si es suficiente para indicar que se produjo una descarga parcial en el cable entre el DAQ maestro y el esclavo, entonces se informará una descarga parcial en el par. Si no se detecta una descarga parcial en el par de características de señal 222 y 224, el par de características de señal 222 y 224 se marcará como ruido, como se representa en el bloque 232.

Sin embargo, si se detecta una descarga parcial en el par de características de señal 222 y 224, el módulo de decisión 160 puede determinar si se detecta una descarga parcial en múltiples pares de señales, en el bloque 234. Por ejemplo, las características de señal 222 pueden ser de un DAQ maestro, mientras que las características de señal 224 pueden ser de dos DAQ esclavos, los cuales son esclavos del DAQ maestro. Si se detecta una descarga parcial en múltiples pares de señales, el módulo de decisión 160 puede marcar la señal o señales como que contienen ruido, por bloque 236. El módulo de decisión 160 puede entonces enviar los datos de la señal marcada al módulo de transmisión 226 para ser transmitidos a un dispositivo de puerta de enlace.

Si no se detecta una descarga parcial en múltiples pares de señales, por bloque 234, o si el bloque 234 no está incluido en el módulo de decisión 160, entonces se calcula la ubicación de la descarga parcial, por bloque 238. La ubicación es una ubicación estimada de la descarga parcial se basa en datos de las características de señal 222 y 224. Esta estimación se basa en el tiempo de llegada de la energía acumulada máxima 190, como se describe en la FIG. 7, de cada conjunto de características de señal 222 y 224. El tiempo de llegada se puede calcular basándose en el índice de muestra 188 como se describe en la FIG. 7 e información de temporización que se incluye con las características de señal 222 y 224. Además, la ubicación estimada se determina usando la distancia conocida entre los sensores. Suponiendo que la perturbación en la señal producida por el evento de descarga se propaga a una velocidad constante en ambas direcciones a lo largo del cable monitoreado hasta que se detecta en cada sensor, se puede estimar una distancia desde el primer sensor en la dirección del segundo sensor. Una fórmula que se puede utilizar para estimar esta distancia es:  $d = (L - v \cdot (t_1 - t_2)) / 2$ . Específicamente, d es la distancia desde un primer sensor hacia un segundo sensor donde se ubica la descarga parcial; L es la distancia entre los sensores; v es la velocidad de propagación a lo largo del cable;  $t_1$  es el tiempo de la señal de energía máxima acumulada en el primer sensor; y  $t_2$  es el tiempo de la señal de energía acumulada máxima en el segundo sensor. Si la ubicación calculada es válida, la información de ubicación y descarga parcial se envía de forma inalámbrica por el módulo de transmisión 226 a otro dispositivo en el sistema de monitoreo.

Los sistemas, dispositivos y procedimientos descritos anteriormente se pueden usar para monitorear de manera continua o periódica los sistemas de cables subterráneos, u otros sistemas de cables, para detectar defectos tales como descargas parciales. Ciertas realizaciones pueden incluir un número menor o mayor de etapas o dispositivos para detectar dichos defectos. Como se puede apreciar, la detección rápida de defectos puede permitir que los sistemas de cable se mantengan y funcionen de manera eficiente. Además, los defectos pueden detectarse pasivamente sin inyectar señales en los sistemas de cable, disminuyendo así el tiempo de inactividad del sistema de cable y los costos asociados con dicho tiempo de inactividad.

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluido el mejor modo, y también para permitir que cualquier persona experta en la técnica practique la invención, incluida la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema para detectar defectos de aislamiento en un cable (20) que comprende:
  - un primer sensor (36) acoplado externamente al cable (20) y configurado para transmitir una primera señal (134);
  - 5 un primer sistema de adquisición de datos (44) acoplado al primer sensor (36) y configurado para recibir la primera señal (134), para extraer un primer conjunto de características de señal (142) de la primera señal (134) y para transmitir de forma inalámbrica el primer conjunto de características de señal (142) si se detectan datos que indican una descarga parcial en la primera señal (134);
  - un segundo sensor (38) acoplado externamente al cable (20) y configurado para transmitir una segunda señal (154); y
  - 10 un segundo sistema de adquisición de datos (46) acoplado al segundo sensor (38) y configurado para recibir la segunda señal (154), para extraer un segundo conjunto de características de señal (142) de la segunda señal (154), para recibir de forma inalámbrica el primer conjunto de características de señal (142), y para comparar el primer y segundo conjuntos de características de señal (142) para detectar un defecto de aislamiento.
2. El sistema según la reivindicación 1, en el que el segundo sistema de adquisición de datos (46) está  
15 configurado para calcular una ubicación de defecto de aislamiento (238) en el cable usando el primer y segundo conjuntos de características de señal (142).
3. El sistema según la reivindicación 2, en el que el segundo sistema de adquisición de datos (46) está configurado para transmitir de forma inalámbrica la ubicación calculada del defecto de aislamiento (238) a un dispositivo de puerta de enlace (52).
- 20 4. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende un dispositivo de puerta de enlace (52) configurado para recibir datos de forma inalámbrica desde el primer sistema de adquisición de datos (44), el segundo sistema de adquisición de datos (46), o ambos sistemas de adquisición de datos (44, 46).
5. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el primer y segundo conjuntos de características de señal (142) comprenden cada uno datos que indican una descarga parcial del cable.
- 25 6. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el primer y segundo sensores (36, 38) monitorean pasivamente el cable (20) para detectar cuándo se produce una descarga parcial debido a un defecto de aislamiento.
7. El sistema según la reivindicación 4, en el que el dispositivo de puerta de enlace (52) está configurado para transmitir el primer y segundo conjuntos de características de señal (142) a una estación de monitoreo (114).
8. Un procedimiento para determinar la ubicación de defectos de aislamiento en un cable que comprende:  
30 recibir una primera señal (134) desde un primer sensor (36);
  - extraer un primer conjunto de características de señal (142) de la primera señal (134) y transmitir de forma inalámbrica el primer conjunto de características de señal (142) si se detectan datos que indican una descarga parcial en la primera señal (134);
  - 35 recibir de forma inalámbrica un segundo conjunto de características de señal (142) extraídas de una segunda señal (154) de un segundo sensor (38); y
  - comparar el primer y segundo conjuntos de características de señal (142) para detectar un defecto de aislamiento.
9. El procedimiento según la reivindicación 8, que comprende además calcular la ubicación de un defecto de aislamiento (238) utilizando el primer y segundo conjuntos de características de señal (142).
- 40 10. El procedimiento según la reivindicación 9, que transmite de forma inalámbrica la ubicación del defecto de aislamiento (238) a un dispositivo de puerta de enlace (52).
11. El procedimiento según la reivindicación 9, que transmite datos de forma inalámbrica a una estación de monitoreo (114).

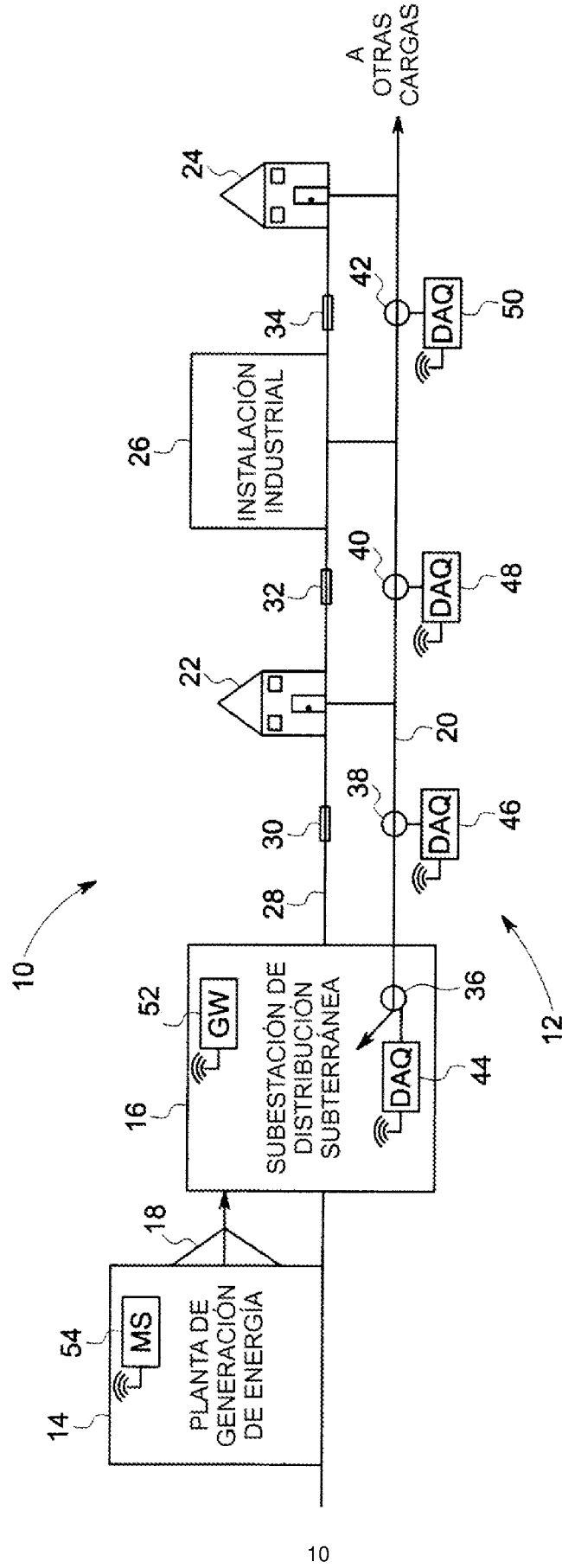


FIG. 1

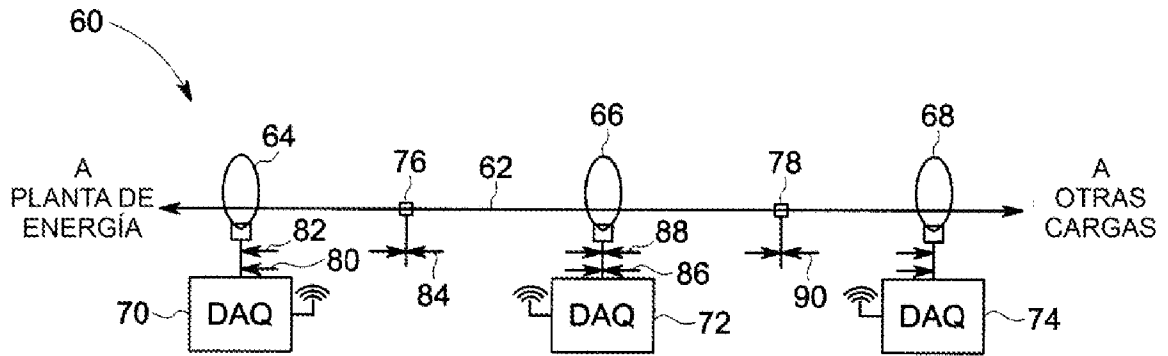


FIG. 2

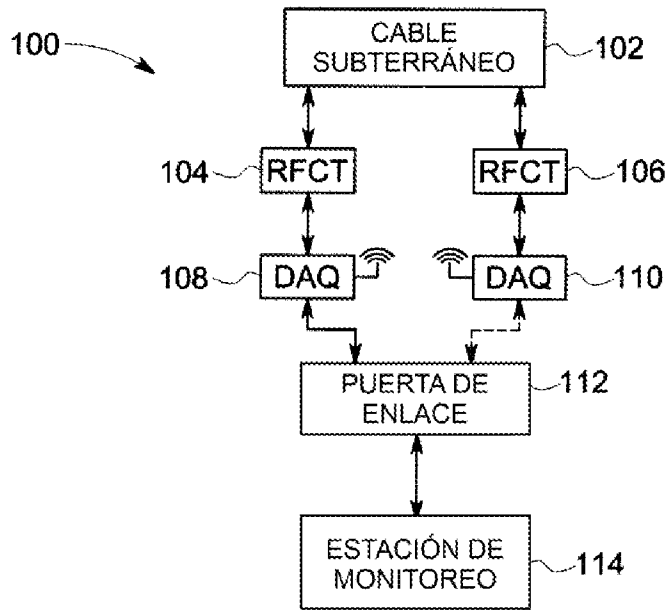


FIG. 3

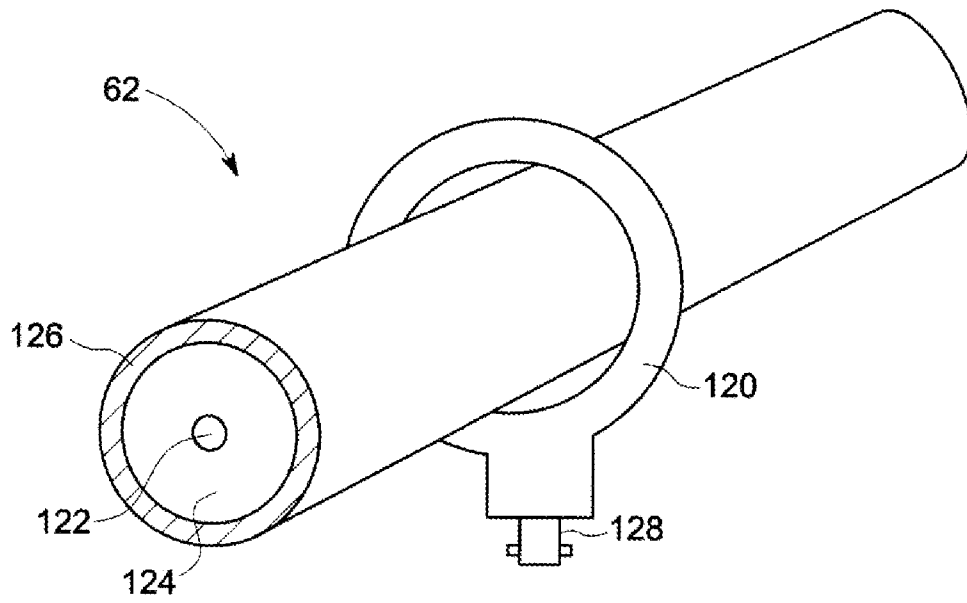


FIG. 4

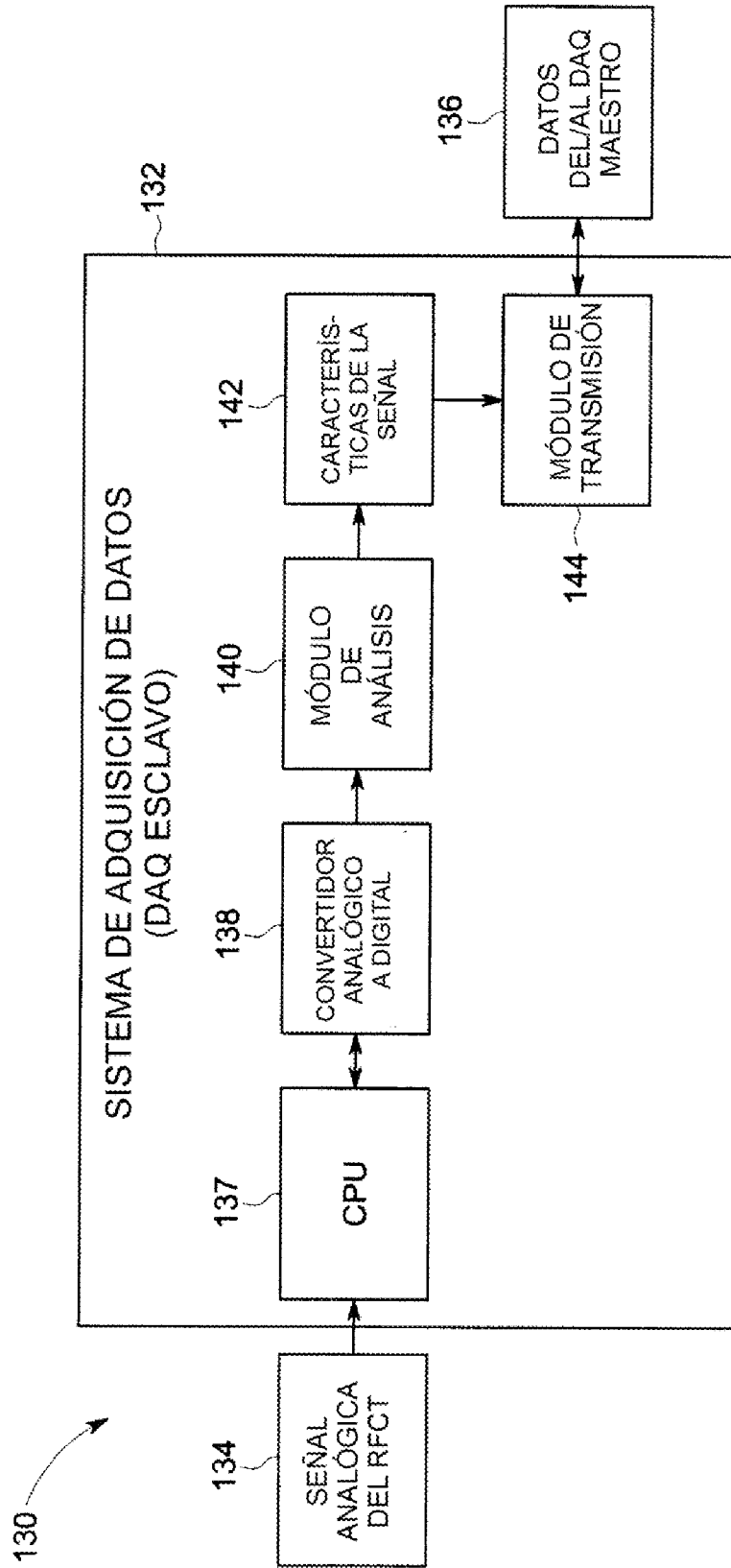


FIG. 5

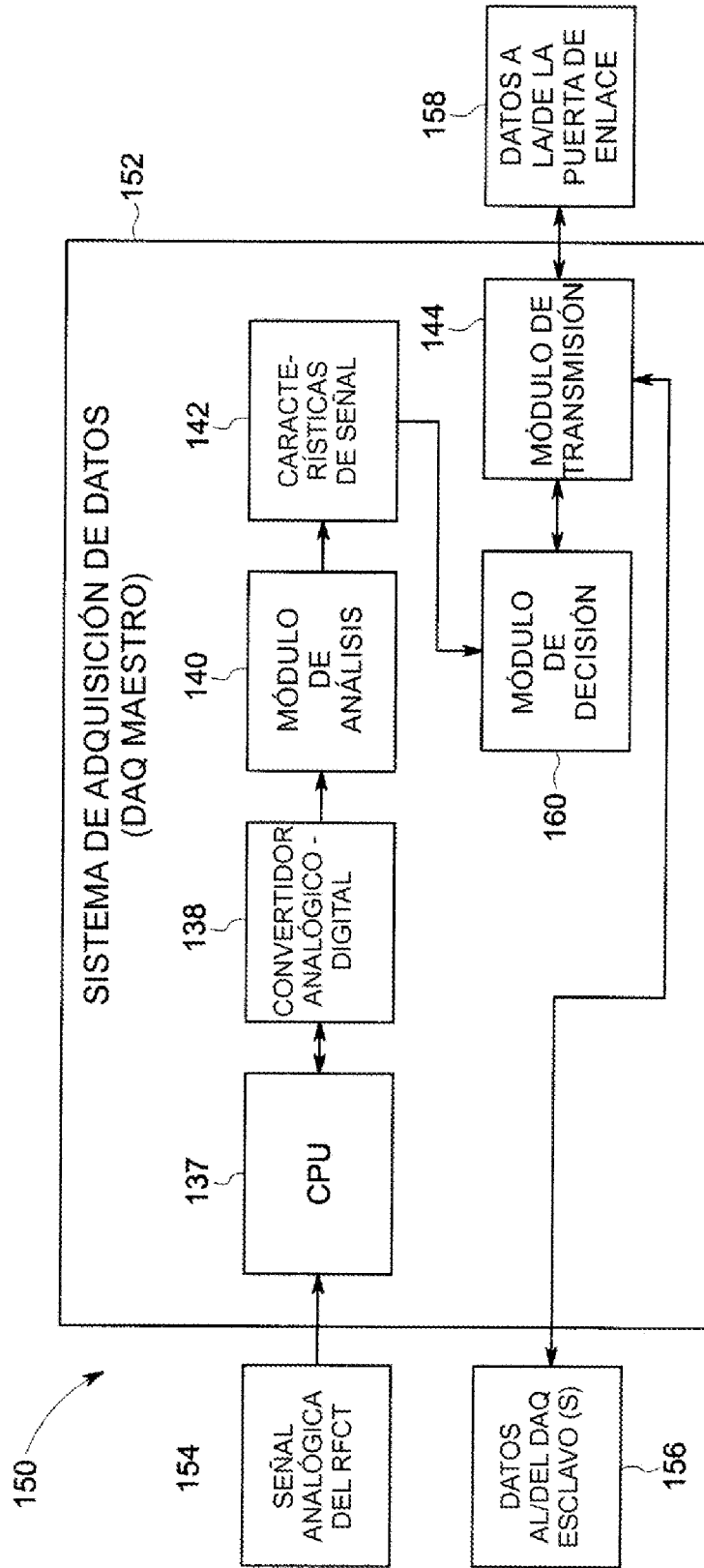


FIG. 6

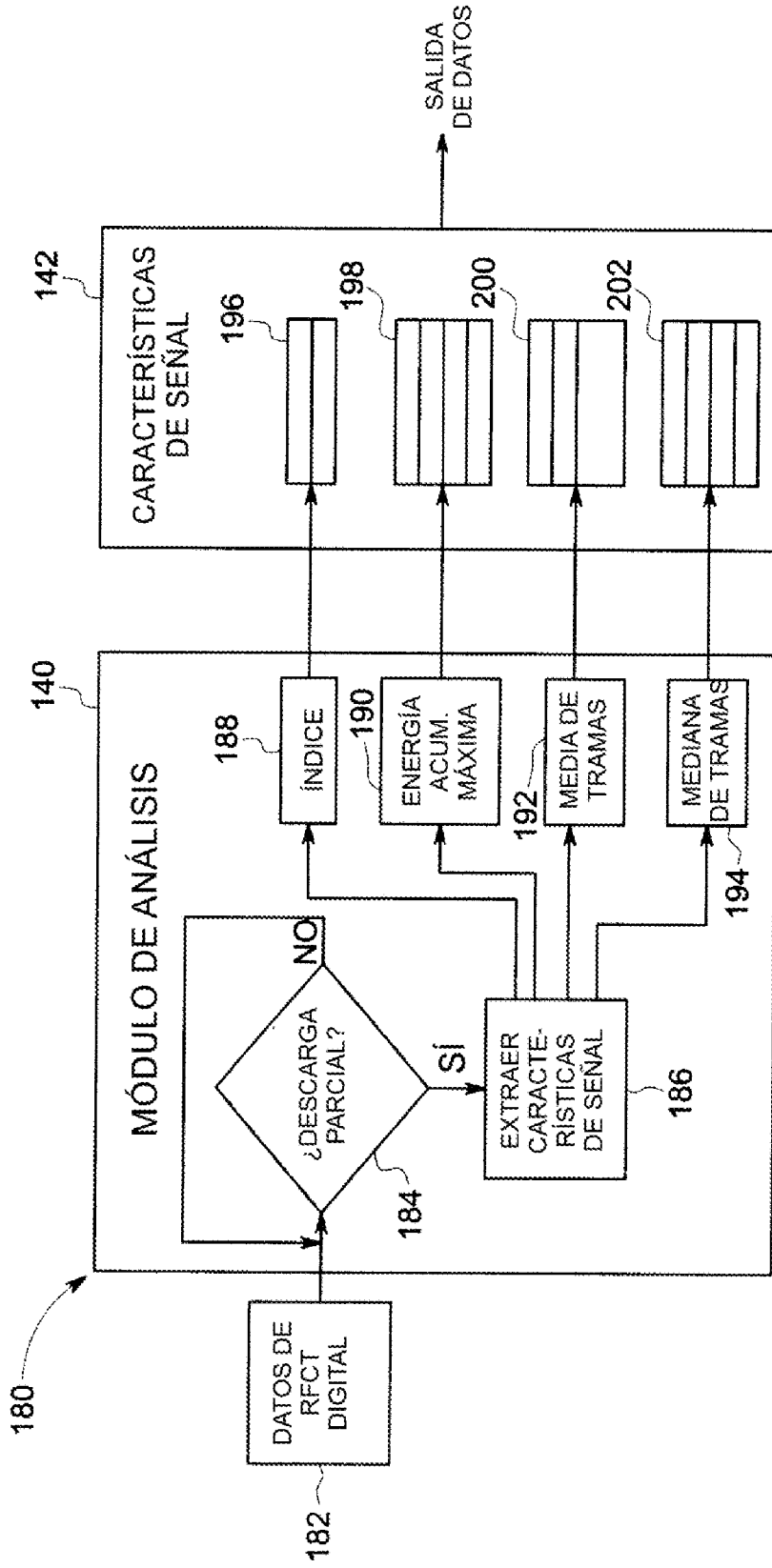


FIG. 7

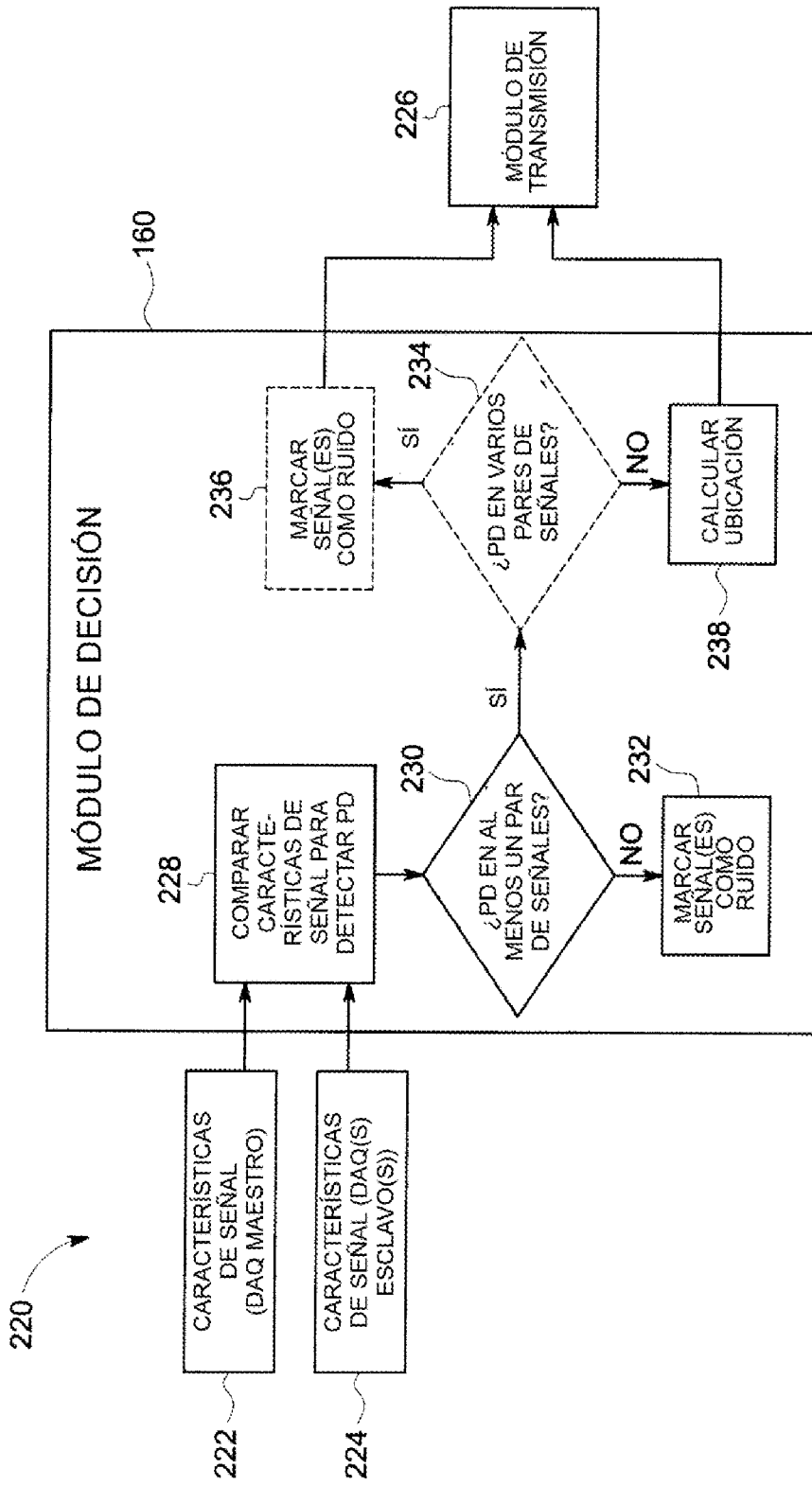


FIG. 8