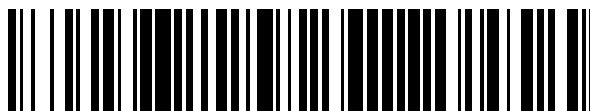


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 786 307**

51 Int. Cl.:

G01K 11/32 (2006.01)

G01K 7/42 (2006.01)

G01K 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.02.2015 PCT/US2015/014400**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.09.2015 WO15134142**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.02.2015 E 15759024 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 3114447**

54 Título: **Sistema dinámico de determinación de propiedades térmicas terrestres de área extensa**

30 Prioridad:

04.03.2014 US 201414196170

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

09.10.2020

73 Titular/es:

**UNDERGROUND SYSTEMS, INC. (100.0%)
3A Trowbridge Drive
Bethel, CT 06801, US**

72 Inventor/es:

**PUHNHAGEN, DAVID W.;
XU, CHUNCHUAN y
ALEX, PAUL A.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 786 307 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 dinámico de determinación de propiedades térmicas terrestres de área extensa

Antecedentes

1. Campo de la invención

- 5 La presente invención está relacionada con un mapa térmico dinámico terrestre subsuperficial de área extensa, que puede mejorar la precisión de calificación de cables eléctricos subterráneos en general, así como también los sistemas de calificación dinámica y los sistemas de detección de fugas de fluido para cables eléctricos en particular. También se puede utilizar un mapa dinámico terrestre subsuperficial de área extensa para mejorar el rendimiento de los sistemas de control y detección de fugas en tuberías de petróleo y gas, análisis de bombas de calor, etc.

10 2. Descripción de la técnica relacionada

- La capacidad de transmisión de energía eléctrica de los cables subterráneos está limitada por la temperatura máxima permitida del conductor. Si la temperatura del conductor excede la temperatura máxima permitida del conductor, el dieléctrico del cable se daña y deteriora y finalmente falla. La temperatura del conductor es el resultado del calor generado por el cable y la capacidad del entorno para disipar dicho calor, elevando así la temperatura por encima de la temperatura ambiente terrestre a la profundidad del cable.

Típicamente, se estiman y usan las condiciones térmicas terrestres en el peor de los casos para calcular la calificación "estática" o "de reserva" de los cables subterráneos. En general, las condiciones térmicas conservadoras y de caso más desfavorable no se alcanzan en la práctica, y la capacidad de corriente del cable subterráneo es más alta que la "calificación de reserva" conservadora que usa los parámetros estimados.

- 20 La eficacia con que el entorno (suelo nativo, relleno térmico o banco de conductos de hormigón) puede disipar calor del cable viene determinada por la temperatura del suelo, resistividad térmica del suelo y capacidad térmica volumétrica del suelo. Una forma de obtener la temperatura del suelo es medir con sensores de temperatura discretos soterrados en el suelo. La resistividad térmica del suelo y la capacidad térmica volumétrica también se pueden medir in situ mediante instrumentos comercialmente disponibles. Sin embargo, dado que resulta costosa la instalación de sensores de temperatura en el suelo, así como el mantenimiento y reparación de los mismos, normalmente los sensores discretos de temperatura terrestre se limitan solo a unas pocas ubicaciones para un sistema típico de cable eléctrico y, normalmente, solo para circuitos de elevada carga y alta tensión. Por lo tanto, hasta la fecha, se deben hacer suposiciones arbitrarias con respecto a las temperaturas terrestres entre puntos de medición discretos. Los puntos de medición discretos también están sujetos a fallo, y sin un medio fiable de sustitución de estos datos, los sistemas dinámicos en tiempo real se pueden ver seriamente comprometidos. La toma de muestras de suelo discretas varios pies por debajo de la superficie terrestre para mediciones de resistividad térmica y capacidad térmica volumétrica también resulta costosa y puede suceder que las mediciones no resulten fiables debido al hecho de que la resistividad térmica y la capacidad térmica volumétrica cambian con la temperatura del suelo y el contenido de humedad que depende de las condiciones meteorológicas. Además, las propiedades térmicas del suelo pueden cambiar a lo largo de la ruta del cable.

En los últimos años, también se han utilizado Sistemas de Medición de Temperatura Distribuida (DTS), que proporcionan un perfil térmico a lo largo de una fibra instalada bajo la camisa del cable en los conductos adyacentes o, de otra manera, a lo largo de la ruta del cable, ya sea de manera aislada o en combinación con sensores discretos de temperatura.

- 40 Se requieren formas más eficaces y prácticas para una estimación más precisa de la temperatura, resistividad térmica y capacidad volumétrica térmica del suelo sin necesidad de instalación, mantenimiento y lectura de una gran cantidad de sensores subterráneos, para operar sistemas eléctricos subterráneos de modo seguro, que generalmente se extienden sobre una gran área geográfica (ciudades), de forma fiable y eficaz.

- 45 Se divulga un sistema que estima la temperatura del suelo en función de la profundidad bajo la superficie en un área extensa mediante un proceso iterativo para "identificar" la temperatura del suelo utilizando un mínimo de datos de medición de la temperatura del suelo subsuperficial junto con datos meteorológicos procedentes de estaciones o servicios meteorológicos. En el proceso, el presente sistema también utiliza un proceso iterativo para "identificar" la resistividad térmica y la capacitancia térmica del suelo, que también se usan por parte del sistema de modelización dinámica. El sistema "identifica" o actualiza de forma continua tres parámetros: temperatura, resistividad térmica y capacidad térmica volumétrica del suelo en tiempo real. Con estos datos en tiempo real, se puede crear un gran mapa de contorno térmico dinámico geográfico a cualquier profundidad para ayudar a las empresas de suministro energético y otros usuarios a clasificar sus sistemas subterráneos de cable eléctrico con mayor precisión y en tiempo real, en un área geográfica extensa utilizando un número limitado de datos y mediciones en tiempo real de meteorología/tierra/carga.

- 55 En un artículo que lleva por título "Assessment of Underground Cable Ratings Based on Distributed Temperature Sensing", IEEE *Transactions on Power Delivery*, octubre 2006, de H.J. Li et al, se presenta un método para evaluar la

calificación de cable subterráneo para un sistema de cable discreto basado en Detección de Temperatura Distribuida (DTS). Se identifican y ubican los puntos críticos del sistema eléctrico con el sensor DTS. Luego se recopila información y datos sobre la construcción del cable y la instalación de circuitos en los puntos críticos. Se recopilan datos de carga de cable y temperatura DTS para estimar los parámetros desconocidos, tales como la resistividad térmica del suelo. Se emplea la técnica de Método de Elementos Finitos (FEM) para resolver ecuaciones diferenciales térmicas bidimensionales de cara a los resultados finales.

En un artículo titulado "Method for Rating Power Cables Buried in Surface Troughs", *IEEE Proc-Gener, Transm, Distrib*, Vol. 146, Nº. 4, Julio de 1999 de P.L. Lewin et al, se propone otro modelo para estimar la temperatura ambiente terrestre utilizando la entrada dinámica de datos meteorológicos. La temperatura ambiente terrestre se calcula utilizando datos meteorológicos tales como temperatura ambiente, velocidad del viento, intensidad solar, etc., en base a parámetros térmicos constantes asumidos.

Sin embargo, los parámetros térmicos no se actualizan (o "identifican") de forma continua en ninguna de las referencias anteriores. En el mundo real, estos parámetros cambian con las condiciones ambientales. Por ejemplo, la lluvia puede aumentar el contenido de humedad del suelo dando como resultado una menor resistividad térmica.

Mientras tanto, el documento GB 2436142A (Schlumberger Holdings) divulga un sistema para controlar una estructura alargada utilizando un cable de fibra óptica desplegado a lo largo de la estructura.

Sumario de la divulgación

Las ventajas de las técnicas divulgadas incluyen proporcionar sistemas, dispositivos y métodos dinámicos y más precisos para determinar las condiciones térmicas en tiempo real y las propiedades terrestres en un área extensa, en la que los cables eléctricos subterráneos y otros dispositivos se encuentran soterrados para facilitar a los propietarios del sistema el uso de los mismos de manera más segura y eficaz. Después de "identificar" las condiciones y propiedades térmicas terrestres, se calcula la energía máxima permitida que el sistema puede suministrar, es decir, la calificación. Las calificaciones calculadas utilizando las condiciones terrestres determinadas por medio del presente método pueden ser mayores o menores que las calificaciones basadas en caso de condiciones térmicas estimadas, pero serán más precisas. Además, el sistema también puede calcular la temperatura del conductor en tiempo real y enviar advertencias al centro de control antes de que la temperatura del conductor supere la temperatura de funcionamiento máxima permitida.

Las técnicas y los cálculos divulgados se pueden usar para determinar calificaciones estáticas o dinámicas de conductores eléctricos. Una calificación estática proporciona un número único para la intensidad de corriente admisible de un cable eléctrico bajo en una serie de condiciones concretas: temperatura ambiente, características térmicas terrestres, etc. – asociadas al conductor. Una calificación dinámica cambia constantemente según los cambios del conjunto de condiciones que actúan sobre el cable eléctrico.

En un aspecto, el método para determinar las características térmicas subsuperficiales terrestres de un área incluye la recogida de datos meteorológicos en tiempo real y datos terrestres que comprenden mediciones de temperatura ambiente terrestre para una pluralidad de ubicaciones asociadas a un cable eléctrico subterráneo y el cálculo de las propiedades térmicas terrestres en la pluralidad de ubicaciones, basado en los datos meteorológicos en tiempo real y los datos terrestres mediante un proceso iterativo. Las propiedades térmicas terrestres calculadas en dos o más de la pluralidad de ubicaciones se interpolan para determinar las propiedades térmicas terrestres interpoladas en otra ubicación asociada al cable eléctrico subterráneo y un mapa de propiedades térmicas de área extensa creado a partir de al menos algunas de las propiedades térmicas terrestres calculadas y las propiedades térmicas de terrestres interpoladas.

En otro aspecto, el método incluye la superposición de fuentes y sumideros térmicos que afectan a las propiedades térmicas terrestres asociadas al cable eléctrico subterráneo en el mapa de propiedades térmicas de área extensa, y que proporcionan datos meteorológicos en tiempo real y datos terrestres de forma continua para proporcionar un mapa dinámico térmico tridimensional de área extensa de las propiedades térmicas terrestres en profundidad en la pluralidad de ubicaciones. Las propiedades térmicas terrestres pueden incluir la capacidad térmica volumétrica y la resistividad térmica del suelo.

El proceso iterativo para calcular las características térmicas terrestres incluye, para una o más ubicaciones seleccionadas entre la pluralidad de ubicaciones, llevar a cabo las etapas de cálculo de los datos de temperatura ambiente terrestre en función de los valores de las propiedades térmicas terrestres y los datos meteorológicos en tiempo real, y recoger la temperatura ambiente terrestre medida en tiempo real a partir de los dispositivos de medición de temperatura ambiente terrestre. Los datos calculados de temperatura ambiente terrestre se comparan con los datos medidos de temperatura ambiente terrestre y se determina un valor de error basado en la comparación. Según la etapa de determinación, los valores de las propiedades térmicas terrestres se ajustan y los datos calculados de temperatura ambiente terrestre se vuelven a calcular utilizando los valores ajustados para las propiedades térmicas terrestres. El proceso de comparación de los datos calculados de temperatura ambiente terrestre con temperatura ambiente terrestre medida en tiempo real, ajuste de las propiedades térmicas terrestres y recálculo de los datos

calculados de temperatura ambiente terrestre se repite hasta que el valor de error esté dentro de un valor predeterminado.

5 Las calificaciones energéticas, incluidas las ampacidades seguras de intensidad de corriente admisible para el cable eléctrico subterráneo, se pueden determinar en función del mapa dinámico tridimensional de área extensa generado y es posible generar señales de advertencia cuando los cambios de propiedades térmicas terrestres provoquen cambios en las propiedades térmicas terrestres que afecten a la ampacidad segura de intensidad de corriente admisible del cable eléctrico subterráneo.

10 Una ventaja de la técnica divulgada puede consistir en la estimación del perfil de temperatura ambiente subsuperficial de área extensa utilizando principalmente la entrada de datos meteorológicos con parámetros terrestres procedentes de un número limitado de estaciones meteorológicas equipadas solo con temperaturas de suelo subsuperficiales, o estaciones meteorológicas independientes, o datos procedentes de proveedores de servicios meteorológicos.

Otra ventaja de la técnica divulgada puede ser el suministro de un procedimiento de medición y cálculo para derivar parámetros terrestres utilizando condiciones meteorológicas en tiempo real y temperaturas terrestres.

15 Otra ventaja de la técnica divulgada puede ser el cálculo de las calificaciones de cable en función de las propiedades terrestres derivadas y la temperatura terrestre calculada y medida.

20 Otra ventaja de la técnica divulgada puede ser la construcción de un mapa de contorno térmico terrestre de área extensa a varias profundidades, basado en los parámetros terrestres derivados y el aire ambiental y otras entradas de datos meteorológicos. El contorno terrestre de área extensa permite a las compañías de suministro energético evaluar el estado de su red de sistemas de cable eléctrico subterráneo de área extensa, tanto si los circuitos tienen sensores de temperatura discretos como si carecen de ellos.

Otra ventaja de la técnica divulgada puede ser la utilización completa de sistemas "DTS" y otras mediciones de temperatura superficial del conductor o cable, estableciendo un perfil virtual térmico ambiental terrestre a lo largo del eje del cable.

25 Las diversas características se señalan en las reivindicaciones adjuntas y que forman parte de la divulgación. Las ventajas de la presente invención se aclaran durante el transcurso de la descripción detallada del sistema novedoso que se expone a continuación.

Breve descripción de los dibujos

30 La Figura 1 es un diagrama de bloques del sistema según la presente invención para el control dinámico de las propiedades térmicas de área extensa mediante alimentación de datos terrestres y meteorológicos en tiempo real utilizando una técnica basada las condiciones meteorológicas.

La Figura 2 es un diagrama que ilustra cómo se pueden adaptar las condiciones terrestres para una ruta que no tenga estaciones terrestres que utilicen datos meteorológicos medidos con ayuda de un motor de Sistema de Información Geográfica (SIG).

La Figura 3 es un diagrama que ilustra diferentes tipos de sensores de temperatura y árboles terrestres.

35 Las Figuras 4A-4B son un diagrama que ilustra un modelo basado en información meteorológica que se puede usar para calcular la temperatura ambiente terrestre con la entrada de datos meteorológicos.

La Figura 5 ilustra el uso de un modelo basado en información meteorológica para estimar las propiedades térmicas terrestres utilizando datos meteorológicos y la entrada de temperatura ambiente terrestre medida.

La Figura 6 es un diagrama de sistema que muestra la organización y aplicación del sistema.

40 La Figura 7 es un diagrama que muestra un área con fuentes y sumideros térmicos adicionales. Las estaciones meteorológicas/terrestres se despliegan para superponer el efecto de las fuentes/sumideros térmicos sobre el sistema.

Descripción detallada

45 En lo sucesivo, la presente invención se describe con detalle con referencia a los dibujos anteriores. Cabe señalar que los términos y vocabularios utilizados en la presente memoria no se deben interpretar como limitados a significados generales y de diccionario.

50 En referencia a la Figura 1, la presente técnica se refiere a un método para estimar condiciones térmicas terrestres de área extensa en tiempo real usando datos de temperatura medidos en tiempo real, datos meteorológicos. Los datos meteorológicos y los datos terrestres se recopilan en la etapa 110 en tiempo real por medio de estaciones meteorológicas o son proporcionados por los suministradores de servicios meteorológicos para ubicaciones relacionadas con el cable subterráneo. Los datos terrestres en tiempo real provienen de dispositivos de medición de temperatura ambiente terrestre, tal como un árbol terrestre o Sensores de Temperatura Distribuida (DTS). Los datos

meteorológicos recopilados se pueden proporcionar al módulo de cálculo basado en información meteorológica en la etapa 120 lo que da como resultado datos calculados de temperatura ambiente terrestre mediante un proceso iterativo que se describe con más detalle a continuación. Al comparar los datos calculados de temperatura ambiente terrestre con los datos medidos de temperatura ambiente terrestre en tiempo real, se pueden identificar las propiedades térmicas terrestres para las ubicaciones con datos meteorológicos y terrestres. En la etapa 130, los valores calculados en tiempo real a partir de ubicaciones cercanas se interpolan para que se pueda crear un mapa de propiedades térmicas de área extensa utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) o alguna otra técnica de mapeo. Luego, en la etapa 140, superponiendo las fuentes térmicas y los disipadores térmicos que afectan al cable subterráneo en el mapa y alimentando de forma continua los datos terrestres y meteorológicos en tiempo real en el modelo en tiempo real, se logra un mapa completo tridimensional térmico dinámico de área extensa, que en la etapa 150 se puede usar para aplicaciones tales como calificación de cable eléctrico, planificación del sistema, detección de fugas de fluido en tuberías, etc. Con condiciones terrestres conocidas en tiempo real, se pueden calcular calificaciones de cable en tiempo real. Se pueden generar señales de advertencia ante la aparición de condiciones terrestres peligrosas debido, por ejemplo, a una meteorología extremadamente seca y calurosa. En respuesta, los sistemas subterráneos de suministro de energía se pueden operar para obtener ampacidades máximas seguras (intensidad de corriente admisible).

Como se ha comentado anteriormente, el método basado en información meteorológica para determinar las propiedades térmicas terrestres de la etapa 120 se logra mediante un proceso iterativo 160. En el proceso iterativo, se recopilan los datos meteorológicos en tiempo real en la etapa 162. Los datos meteorológicos en tiempo real se proporcionan en la etapa 164 para una ubicación al cálculo basado en información meteorológica, con el fin de determinar la temperatura ambiente terrestre en la etapa 166. En la etapa 168, la temperatura ambiente terrestre real medida en tiempo real se obtiene de las estaciones terrestres, incluidos los árboles terrestres y/o DTS para la ubicación. En la etapa 170, se compara la temperatura ambiente terrestre real medida en tiempo real recopilada en la etapa 168 con la temperatura ambiente terrestre calculada determinada en la etapa 166. Si la diferencia entre la temperatura en tiempo real y la temperatura calculada no está dentro de un valor de error predeterminado, entonces las propiedades térmicas terrestres, incluidos los valores de capacidad térmica volumétrica y resistividad térmica del suelo, utilizados en el cálculo basado en información meteorológica, se ajustan en la etapa 172. Esta comparación iterativa en la etapa 170 continúa hasta que la temperatura ambiente terrestre en tiempo real y la temperatura ambiente terrestre calculada estén dentro del valor de error predeterminado. Si es así, en la etapa 174, el método basado en información meteorológica identifica las propiedades térmicas terrestres en tiempo real. Un método para calcular la temperatura ambiente terrestre usando los datos meteorológicos en tiempo real y propiedades térmicas terrestres se comenta adicionalmente con respecto a la Figura 4.

Estimación de la condición terrestre global

Antes de pasar a una descripción de los detalles del sistema, es útil comprender el concepto de estimación de la condición terrestre de área extensa y cómo tales condiciones pueden afectar a un sistema subterráneo de suministro de energía. El sistema subterráneo de suministro de energía se distribuye de forma extensa y debido a las complejas condiciones de instalación y al hecho de que el sistema se encuentra soterrado, puede resultar extremadamente costoso instalar y controlar sensores de temperatura para establecer la temperatura ambiente terrestre adecuada en todo el sistema. Los sistemas de cable de transmisión de alta tensión pueden tener varios sensores de temperatura discretos instalados en la camisa o tubería de cable y, de forma poco frecuente, un sensor remoto de temperatura terrestre. La mayor parte del sistema subterráneo de Transmisión y Distribución es el componente de Distribución a tensiones por debajo de 100 kV y la práctica convencional consiste en no instalar sensores en la camisa del cable, etc. Los sensores de temperatura, tales como termopares, se instalan en ubicaciones seleccionadas a lo largo de la ruta de cable identificada mediante el análisis de los dibujos de perfil de plan aumentados por la información estratigráfica del suelo y los datos de estudio genéricos o discretos de propiedades térmicas del suelo, con el fin de identificar lugares donde puedan existir puntos críticos. Sin un modelo de estimación terrestre de área extensa, la mayoría de las secciones del sistema de cable eléctrico subterráneo carecen de datos de temperatura y propiedades térmicas del suelo para evaluar sus ampacidades y se basan casi exclusivamente en estimaciones que crean una incertidumbre significativa y pueden conducir a fallos catastróficos en el momento más inapropiado (cargas contingentes durante condiciones ambientales extremadamente secas/cálidas). A modo de ejemplo, en referencia a la Figura 2, la ruta de cable 1 tiene estaciones terrestres existentes en las ubicaciones A, E y G. El cable 2 no tiene estaciones terrestres y no se puede readaptar fácilmente debido al permiso y acceso de ruta por debajo de una determinada calidad. Por el contrario, las estaciones meteorológicas por encima de una determinada calidad se pueden agregar fácilmente en una región de interés en las ubicaciones B, C, D y F. Usando un motor SIG comercial, se puede generar un mapa de contorno térmico relativamente detallado de la zona utilizando algoritmos de interpolación. No solo se obtiene un perfil térmico mejorado del cable 1, sino que se genera un perfil térmico razonablemente preciso del cable 2 para el sistema subterráneo de suministro de energía. Existen varios factores importantes que determinan la ampacidad del sistema, tales como la carga de corriente del cable, estructura del cable, instalación, propiedades térmicas del suelo circundante, temperatura ambiente, etc. De estos factores, las propiedades térmicas del suelo y la temperatura ambiente varían continuamente con las condiciones meteorológicas. En otras palabras, la ampacidad del sistema es dinámica. Con el sistema de estimación de condición terrestre de área extensa, se pueden estimar las propiedades térmicas del suelo y la temperatura ambiente en un área grande, por lo tanto, se puede evaluar en tiempo real la ampacidad de los diversos sistemas discretos de cable eléctrico en ese área extensa,

incluso cuando no hay sensores de temperatura para ciertas rutas o cuando los sensores de temperatura están fuera de servicio. Además, al acumular datos durante un período de tiempo, se pueden identificar las propiedades térmicas de las áreas controladas, y estos datos se pueden proporcionar para optimizar el diseño, construcción e instalación del cable, con objeto de maximizar las ampacidades de los nuevos sistemas de cable eléctrico.

5 Sensores de temperatura

Se pueden usar sensores de temperatura puntuales, así como sensores de temperatura distribuidos, para mediciones de temperatura terrestre. También se pueden usar otros tipos de dispositivos de detección para mediciones de temperatura para la estimación de la condición terrestre.

En referencia a la Figura 3, una ventaja de los dispositivos 304 de detección de temperatura puntual es que tales sensores se pueden instalar fácilmente en ubicaciones críticas y es posible instalar varios sensores 306a ... 306n de temperatura puntual en una ubicación particular a diferentes profundidades formando un "árbol terrestre" 306 para recoger temperaturas de suelo a diferentes profundidades por debajo del nivel del suelo 302. El sistema de estimación de condición es más robusto y preciso con sensores 304 de temperatura puntual que sensores de temperatura distribuida (DTS) porque hay múltiples sensores 306a ... 306n en una ubicación. Adicionalmente, el despliegue de sensores de temperatura a diferentes profundidades hace que la estimación de propiedades térmicas sea más precisa porque el flujo de calor se puede observar más de cerca, lo que lleva a una determinación más precisa de los parámetros de propiedades térmicas que con un sistema DTS. Además, la flexibilidad es otra ventaja de los sensores de temperatura puntual cuando se trata de ubicaciones críticas. Los sensores de temperatura puntual se pueden instalar a diferentes profundidades y espaciado en relación con la superficie del cable 312 para definir y controlar de manera más estrecha un punto crítico.

Una ventaja de DTS 308, 310 es que dichos sistemas pueden controlar el perfil de temperatura de forma continua a lo largo de toda la ruta del cable. Los puntos críticos del cable se pueden identificar y controlar a partir del perfil de temperatura distribuida. Una desventaja del sistema DTS es que el DTS mide el núcleo del cable o la protección del cable. Aunque se puede instalar otra fibra en un conducto vacío o en el surco del cable, es probable que se desconozca la relación de fibra adicional con respecto a temperatura ambiente terrestre. Por lo tanto, una calificación de cable está basada todavía en una temperatura ambiente terrestre asumida y con ello también se asume la resistencia térmica desde la superficie del cable al ambiente terrestre. Una segunda desventaja de los sensores de temperatura distribuida es que son propensos al fallo en modo común; es decir, una vez que falla el sensor DTS, el sistema de estimación se detiene.

Para aprovechar ambos tipos de sensores de temperatura - DTS y sensores de temperatura puntual-, para rutas de cable donde está instalado el sensor de temperatura distribuida, se usa el sensor de temperatura distribuida para establecer el perfil de temperatura de cable a lo largo de la ruta de cable. A partir del perfil de temperatura, se pueden identificar los puntos críticos. Se pueden instalar sensores adicionales de temperatura puntual en estas ubicaciones críticas para una estimación discreta de la condición térmica del suelo. Si se controlan estos sensores de temperatura puntual en tiempo real, entonces es posible identificar la propiedad térmica del suelo en tiempo real en esas ubicaciones. Sin embargo, no hay garantía de que estas secciones transversales térmicas sigan siendo las más críticas, es decir, las ubicaciones que con mayor probabilidad limiten la ampacidad del cable. Si el punto crítico medido por DTS se mueve debido a cambios en la carga del cable, humedad del suelo, temperatura o fuente o sumidero térmico adyacente, entonces, en ausencia de un modelo terrestre de área extensa, es posible que sea necesario instalar sensores adicionales de temperatura puntual para establecer la propiedad térmica del punto crítico en tiempo real. Los sensores de temperatura puntual, si no se encuentran en los puntos críticos identificados por el DTS, se pueden calibrar y usar por defecto para el sistema si el DTS falla o se encuentra fuera de servicio.

Estimación de la propiedad térmica y temperatura ambiente terrestre de área extensa basada en información meteorológica

La temperatura ambiente terrestre es un componente de un sistema de calificación dinámica. Cuando el sensor terrestre falla o presenta ruido eléctrico, los sistemas se pueden ver comprometidos. La presente técnica divulga un método para sustituir los datos ambientales terrestres que faltan o presentan ruido, usando un modelo basado en información meteorológica junto con los datos disponibles de los sistemas adyacentes de estimación de la condición terrestre. La información se puede interpolar entre sistemas de estimación terrestre (de ahí la expresión 'Área extensa') en lugar de depender estrictamente de sensores terrestres aislados asociados a cada sistema de condición terrestre. La fiabilidad y precisión del sistema de estimación de la condición terrestre se podría mejorar sustancialmente mediante el uso de fórmulas de interpolación, proporcionando así datos continuos de temperatura terrestre subsuperficial en un área extensa.

Descripción del modelo dinámico de temperatura terrestre

Las fluctuaciones diarias y anuales de la temperatura ambiente terrestre (suelo) vienen determinadas principalmente por las variaciones de temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento y relación de nubosidad. Normalmente, el calor se transfiere a la tierra en verano y se desprende de la tierra en invierno.

Un modelo de parámetro distribuido unidimensional como el que se muestra en la Figura 4A es suficientemente preciso para estimar la temperatura, siempre que los incrementos verticales sean pequeños. También se podrían utilizar técnicas de diferencias finitas o elementos finitos. El modelo consiste en un tubo cuadrado de flujo térmico que se extiende verticalmente desde la superficie terrestre hasta cierta distancia por debajo de la superficie, donde aproximadamente un 99 % de la onda térmica cíclica se ha disipado y se puede considerar una temperatura constante, T_e . Esta profundidad está típicamente dentro del intervalo de 8-15 metros. Las superficies rectangulares verticales del tubo de flujo térmico se pueden considerar adiabáticas ya que no se espera que las propiedades y condiciones del suelo adyacente varíen mucho. El balance térmico de cualquier elemento incremental (z) se puede escribir como:

$$Q_{\text{dentro}} = Q_{\text{fuera}} + Q_c = Q_{\text{fuera}} + C_z \frac{dT_z}{dt} \quad (1)$$

donde:

Q_{dentro} = flujo de calor dentro del elemento, W

Q_{fuera} = flujo térmico fuera del elemento, W

Q_c = calor absorbido por la capacidad térmica del elemento, W

C_z = capacitancia térmica, W-s/°C

T_z = temperatura del elemento, °C

t = tiempo,

De este modo, se puede generar una red distribuida en escalera de la Figura 4B en la que:

$$R_z = \frac{\rho \Delta z}{A} \quad C_z = C_v V_z \quad (2a, 2b)$$

donde:

ρ = resistividad térmica del elemento, °C-m/W

$A = \Delta x * \Delta y$ = área de sección transversal del elemento, m²

Δz = altura del elemento, z

C_v = capacidad térmica volumétrica, $\frac{W-s}{m^3}$

$V_z = \Delta x * \Delta y * \Delta z$ = volumen del elemento, m³

Un sistema de ecuaciones diferenciales lineales que describe el modelo se puede escribir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \dot{T}_1 &= T_1 \left(-\frac{1}{R_1 C_1} \right) + T_2 \left(\frac{1}{R_1 C_1} \right) + A H_s \\ H_s &= H_{sol} + H_{con} + H_{lw} \end{aligned} \quad (3a)$$

$$i = 2 \dots (n - 1)$$

$$\dot{T}_i = T_{i-1} \left(\frac{1}{R_{i-1} C_i} \right) + T_i \left(-\frac{1}{R_{i-1} C_i} - \frac{1}{R_i C_i} \right) + T_{i+1} \left(\frac{1}{R_i C_i} \right) \quad (3b)$$

$$\dot{T}_n = T_{n-1} \left(\frac{1}{R_{n-1} C_n} \right) + T_n \left(-\frac{1}{R_{n-1} C_n} - \frac{1}{R_n C_n} \right) + \frac{T_s}{R_n C_n} \quad (3c)$$

en las que $\dot{T}_n$ es la derivada dT_n/dt que se aproxima por medio de $\Delta T_n/\Delta t$ y H_s es el calor que fluye hacia adentro y hacia afuera de la superficie, incluido H_{sol} , calor solar, H_{con} , flujo térmico convectivo y H_{lw} , calor de radiación de onda larga. Una solución para la temperatura actual en cada nodo T_n entonces se obtiene añadiendo $\dot{T}_n$ a la serie de temperaturas T_{n-1} de la etapa de tiempo anterior. El método de integración o marcha hacia adelante depende de la precisión deseada. No obstante, una técnica de Euler mejorada de dos etapas puede resultar suficientemente precisa.

El procedimiento consiste en avanzar dos pasos y promediar los resultados:

$$T_{n,t2} = T_{n,t1} + \frac{(k_1 + k_2)h}{2}$$

$$k_1 = \dot{T}_{n,t1};$$

$$k_2 = \dot{T}_{n,t1+h};$$

$$h = t_2 - t_1$$
(4)

También se podrían utilizar métodos de integración más precisos, como un procedimiento Runge-Kutta de 6 etapas. También se pueden considerar las condiciones en la superficie terrestre. La función de conducción dominante es la temperatura del aire ambiente. Factores adicionales son la carga térmica solar Q_s , radiación Q_r y convección del viento. La radiación, en ocasiones denominada "radiación de onda larga" tiende a enfriar la tierra durante la noche cuando no existe nubosidad o atrapa el calor cuando existe nubosidad elevada. La velocidad del viento (ϑ_w) se puede obtener por medio de un anemómetro. La temperatura ambiente T_a se obtiene fácilmente con un sensor de temperatura protegido incorporado a la estación meteorológica. La radiación solar se puede medir directamente mediante un piranómetro incorporado a la estación meteorológica. Esto es preferible frente a una predicción matemática de latitud y longitud particulares, ya que tiene en cuenta la interferencia de la nubosidad o el bloqueo de estructuras próximas. La radiación de onda larga se puede medir con medidores de radiación que apuntan tanto al cielo como a la superficie del suelo o se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$H_{lw} = \beta(T_{aire}^4 - T_{gr}^4) - \frac{X^{-0,2}}{0,8} (170,9 - 0,195 \beta T_{aire}^4)$$
(7)

en la que T_{aire} es la temperatura del aire ambiente, T_{gr} es la temperatura de la superficie del suelo, β es la constante de Boltzmann y X es el factor diario de nubosidad. El flujo de calor convectivo se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$H_{con} = k(T_{gr} - T_{aire})$$

$$k = 6 + 4,6 V_w$$
(8)

Nótese que en las ecuaciones 7 y 8 anteriores, algunos parámetros pueden requerir ajustes para obtener los mejores resultados, lo que se puede hacer después de acumular algunos datos. Los datos meteorológicos se pueden obtener directamente de las mediciones de la estación meteorológica o a partir de los proveedores de servicios meteorológicos. Los cables con frecuencia se encuentran soterrados bajo el pavimento y las propiedades del pavimento se pueden incluir en los primeros elementos del modelo. Esto se logra fácilmente modificando las propiedades de los elementos que corresponden a la geometría del pavimento. Si existiera información disponible sobre determinados estratos de suelo, entonces esas propiedades se podrían modificar por capas.

Inicio de la estimación de temperatura

El modelo se construye inicialmente utilizando parámetros terrestres medidos, concretamente resistividad (p) y capacidad térmica volumétrica (C_v) o parámetros terrestres estimados previamente utilizando el método descrito a continuación. Cuando se instala el árbol terrestre subsuperficial, puede resultar beneficioso retener las muestras de suelo y realizar un análisis de laboratorio para determinar los valores de p y C_v . En ausencia de parámetros medidos, las recomendaciones para seleccionar estos parámetros se pueden encontrar en muchas fuentes publicadas (Apéndice B de *National Electrical Code* (B.310.15 (B) (2)), G. S. Campbell Biophysical Measurements and Instruments, Measurement of Soil Thermal Properties and Heat Flux, Volumetric heat capacity, Wikipedia). Un intervalo sugerido de valores se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1

Propiedades térmicas	Seco	Mojado
Resistividad térmica (Km/W)	1,2	0,6
Capacidad térmica volumétrica (MJ/Km ³)	1,2	4,18

Se puede estimar la temperatura T_e inicial terrestre en profundidad a partir de información meteorológica histórica y la temperatura promedio anual del aire se puede usar como estimación inicial. Es posible iniciar todos los nodos del modelo a la temperatura terrestre en profundidad y dejar que el bucle de retroalimentación de ajuste de parámetros lleve a cabo de forma automática el ajuste de los mismos. No obstante, debido a las constantes de tiempo

prolongadas, pueden pasar varios meses o hasta medio año antes de que las temperaturas modelizadas comiencen a rastrear los valores medidos. Otro método de inicio consiste en ajustar la temperatura del aire, la carga térmica solar y la radiación para que las temperaturas calculadas coincidan estrechamente con las temperaturas subsuperficiales medidas cuando se obtiene una solución de ecuaciones (3) en estado estacionario.

5 Método de identificación de propiedad térmica terrestre adaptativa

El modelo terrestre descrito anteriormente no solo se puede usar para estimar la temperatura ambiente terrestre sino también las propiedades térmicas terrestres. Se utiliza un esquema de modelización adaptable o basado en aprendizaje, para actualizar de forma continua el modelo, de manera que se consideren los parámetros que dependen de las condiciones meteorológicas. El esquema se representa esquemáticamente en la Figura 5. Se proporcionan al modelo las funciones de fuerza que impulsan el mismo, que consisten en la temperatura del aire medida, velocidad del viento, aporte y radiación solar. Los datos se pueden procesar de acuerdo con las ecuaciones (3) para calcular la temperatura terrestre en cada nodo incremental en cada momento de tiempo. Las temperaturas terrestres calculadas se pueden comparar con las temperaturas medidas bajo la superficie del suelo que corresponden a las temperaturas calculadas en una ubicación particular. Si las temperaturas concuerdan, entonces se pueden hacer pasar las temperaturas terrestres calculadas por el motor SIG para el mapeo de contornos y por los sistemas de calificación dinámica para los cálculos de calificación dinámica. Si las temperaturas no concuerdan dentro de un cierto valor de error predeterminado deseado o permitido, entonces se pueden ajustar los parámetros de propiedad terrestre modelo para minimizar la diferencia entre la temperatura ambiente terrestre calculada y medida en la ubicación particular. El proceso incluye la separación de los parámetros de resistividad térmica del suelo de los parámetros de capacidad térmica volumétrica del suelo. Los parámetros de resistividad térmica se modifican para que las temperaturas calculadas busquen las magnitudes de los puntos medidos y los parámetros de capacidad térmica se ajustan para que la tasa de cambio de las temperaturas calculadas corresponda a la tasa de cambio de los puntos medidos. El bucle de retroalimentación puede incluir suficiente amortiguación y banda muerta para que no se produzca un sobreimpulso y oscilación.

25 Construcción de un sistema de estimación de la condición térmica terrestre de área extensa basado en información meteorológica

El esquema de área extensa está construido con una serie de estaciones de control. Estas generalmente consisten en estaciones terrestres y meteorológicas (WES), estaciones terrestres (ES) y estaciones meteorológicas (WS). La estación meteorológica también se puede sustituir por transmisión de datos de proveedores de servicios meteorológicos, si se encuentran disponibles. La Figura 6 ilustra una aplicación de un sistema de estimación de condición térmica terrestre de área extensa basado en información meteorológica. Un ES 602 incluye un árbol terrestre 602a que mide temperaturas subsuperficiales a varias profundidades que generalmente corresponden al intervalo máximo de profundidad de cable. Se puede usar una unidad 602b terminal remota para transmitir los datos del árbol terrestre a una unidad 608 local de estimación de condición terrestre. Un WS 604 incluye un sensor de temperatura de aire, un piranómetro - un actinómetro también conocido como solarímetro, anemómetro y sensor 604a de radiación de onda larga que mide la radiación de onda larga procedente tanto del cielo como de la tierra. Se puede usar una unidad 604b terminal remota para transmitir los datos del árbol terrestre a la unidad 608 local de estimación de la condición terrestre. El WES 606 incluye características de los instrumentos WS 606a y ES 606c. Se puede usar una unidad 606b terminal remota para transmitir los datos del árbol terrestre a una unidad 608 local de estimación de la condición terrestre. En las estaciones WES puede tener lugar un procedimiento de modelización dinámica más completo basado en datos locales que se puede obtener a partir de un ES o WS solo. En las ubicaciones que tienen un ES, el modelo dinámico ES obtiene datos meteorológicos de estaciones WS y WES cercanas. En las ubicaciones que tienen WS, la estación WS completa el análisis dinámico por medio de la obtención de parámetros de suelo actualizados procedentes de estaciones WES y ES cercanas. En el modelo basado en WS, el bucle de retroalimentación de ajuste de parámetros está deshabilitado. En términos de compartir información, se puede emplear un sistema de ponderación que clasifique la información según (1) cercanía o similitud geofísica de ubicaciones, y (2) validez o confianza de los parámetros calculados, incluyendo capacidad térmica volumétrica del suelo, resistividad térmica del suelo y temperatura ambiente terrestre. La validez más elevada de los parámetros calculados para las estaciones WES, seguida de las estaciones ES y WE. La información de los servicios meteorológicos comerciales o gubernamentales en tiempo real, tal como SCADA 614, también se puede integrar en los datos del sistema meteorológico.

En referencia de nuevo a la Figura 6, con estas ubicaciones de detección (estaciones terrestres, estaciones meteorológicas y/o estaciones meteorológicas y terrestres) instaladas en un área extensa, se pueden determinar las propiedades térmicas y la temperatura ambiente en estas ubicaciones. Para las áreas donde no hay ubicaciones de detección, las propiedades térmicas y la temperatura ambiente se pueden estimar interpolando valores de ubicaciones medidas cercanas. De esta manera, se pueden determinar los datos de condición térmica para un área extensa. Con los motores de mapas, tales como un motor SIG 610, se pueden visualizar los datos r para formar un mapa 612 de contorno térmico subterráneo como se muestra en la Figura 2. Las calificaciones de cable para cables subterráneos en la red de área extensa y las señales de visualización y advertencia resultantes para dichos cables 616 se pueden incluir en el mapa de contorno térmico subterráneo calculado y los datos comerciales o gubernamentales disponibles en tiempo real.

Superposición de fuentes térmicas y sumideros térmicos

En referencia a las Figuras 2 y 7, cuando se construye un mapa tridimensional de condiciones térmicas terrestres de área extensa en tiempo real basado en información meteorológica, también se pueden considerar factores tales como como fuentes térmicas adicionales, que tienden a añadir calor, o sumideros térmicos, que tienden a eliminar el calor, de un cable subterráneo. Las fuentes y sumideros térmicos incluyen, por ejemplo, otros cables cercanos, lagos, ríos, etc. Las fuentes y sumideros térmicos pueden afectar a la intensidad de corriente admisible actual del cable subterráneo. La fuente térmica puede calentar la tierra, lo que lleva a una temperatura ambiente terrestre más elevada y una resistividad térmica del suelo más elevada en las áreas afectadas, mientras que el sumidero térmico puede enfriar la tierra, lo que lleva a una temperatura ambiente terrestre más baja y una resistividad térmica del suelo más baja. La Figura 7 ilustra tres cables subterráneos, Cable A, Cable B y Cable C. Para considerar el efecto de la fuente térmica tal como un cable, se puede desplegar una estación meteorológica, estación terrestre o estaciones terrestres y meteorológicas en ubicaciones próximas al cable. Por ejemplo, cada uno de los Cables A-C tiene un número de WS, ES o WES 702a, 702k en ubicaciones adyacentes a los respectivos cables. Se despliega una WS, ES o WES 702e cerca de un lago 704 ya que el lago puede afectar a los parámetros de suelo asociados al Cable B. De manera similar, se despliega una WS, ES o WES 702b en una ubicación del Cable A que se puede ver afectado por una fábrica 706 cercana. Con los datos en tiempo real procedentes de estas estaciones, se pueden medir las temperaturas ambientales terrestres y se pueden determinar las propiedades térmicas terrestres utilizando el algoritmo descrito anteriormente y que se muestra en la Figura 5. Estos resultados se pueden usar como entrada para motores de mapeado y usando el algoritmo de interpolación, se puede obtener un mapa revisado en tiempo real de condición térmica terrestre de área extensa basado en información meteorológica, considerando las fuentes y sumideros térmicos. Se puede hacer lo mismo con un sumidero térmico, tal como una tubería de agua, desplegando estaciones de medición en ubicaciones próximas a la tubería de agua para medir la temperatura ambiente terrestre afectada y establecer las propiedades térmicas terrestres. Posteriormente, utilizando los motores de mapeado y el algoritmo de interpolación, se pueden superponer las fuentes y los sumideros térmicos en el mapa de condición térmica tridimensional de área extensa terrestre, dando como resultado un mapa de condición térmica terrestre de área extensa basado en información meteorológica en tiempo real con las condiciones meteorológicas como fuerza motriz. El mapa tridimensional muestra la temperatura ambiente terrestre y las propiedades térmicas terrestres de forma dinámica en el área extensa y se puede usar para calificación de cables eléctricos y otras aplicaciones. Las empresas de servicios públicos pueden usar el mapa tridimensional para ayudar a los operadores a controlar sus sistemas de energía subterráneos en tiempo real. Las propiedades térmicas de área extensa y los datos de temperatura ambiente terrestre también se pueden usar para calcular la ampacidad dinámica de los dispositivos de energía subterráneos. Cuando los valores de las propiedades térmicas o temperatura ambiente superan el valor predefinido, se generan señales de advertencia y se envían al centro de control para evaluar posibles daños.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar las características térmicas subsuperficiales terrestres sobre un área, que comprende:
5 recopilar (110) datos (314, 702) meteorológicos en tiempo real y datos terrestres (306, 308, 310, 602) que comprenden mediciones de temperatura ambiente terrestre, para una pluralidad de ubicaciones asociadas a un cable (312) eléctrico subterráneo;

10 calcular (120) propiedades térmicas terrestres en cada una de la pluralidad de ubicaciones en función de los datos meteorológicos en tiempo real y los datos terrestres mediante un proceso iterativo (160);

10 interpolar (130) las propiedades térmicas terrestres calculadas en dos o más de la pluralidad de ubicaciones para determinar las propiedades térmicas terrestres interpoladas en otra ubicación asociada al cable eléctrico subterráneo; y

10 crear (140, 150, 610) un mapa de propiedades térmicas de área extensa a partir de al menos algunas de las propiedades térmicas terrestres calculadas y las propiedades térmicas terrestres interpoladas.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende, además:
15 superponer (140) fuentes térmicas (706) y sumideros térmicos (704) que afectan a las propiedades térmicas terrestres asociadas al cable eléctrico subterráneo en el mapa de propiedades térmicas de área extensa; y

15 proporcionar datos meteorológicos en tiempo real de forma continua y datos terrestres para proporcionar un mapa térmico dinámico tridimensional de área extensa de propiedades térmicas terrestres a profundidades en la pluralidad de ubicaciones.
3. El método de la reivindicación 2, que comprende:
20 calcular las calificaciones energéticas del cable eléctrico subterráneo, incluidas las ampacidades seguras de intensidad de corriente admisible basadas en el mapa dinámico tridimensional de área extensa; y

20 en el que las señales de advertencia se generan cuando los cambios en las propiedades térmicas terrestres tienen como resultado modificaciones en las propiedades térmicas terrestres que afectan a la ampacidad segura de intensidad de corriente admisible del cable eléctrico subterráneo.
4. El método de la reivindicación 3, en el que las propiedades térmicas terrestres incluyen la capacidad térmica volumétrica del suelo y la resistividad térmica del suelo.
5. El método de la reivindicación 2, en el que el proceso iterativo comprende, para una o más ubicaciones seleccionadas de la pluralidad de ubicaciones:
30 (a) calcular (166) datos de temperatura ambiente terrestre basados en valores de propiedades térmicas terrestres y datos meteorológicos en tiempo real en una o más ubicaciones seleccionadas;

30 (b) recopilar la temperatura ambiente terrestre medida en tiempo real a partir de los dispositivos (168) de medición de temperatura ambiente terrestre en una o más ubicaciones seleccionadas;

30 (c) comparar los datos calculados de temperatura ambiente terrestre con los datos medidos de temperatura ambiente terrestre en cada una de las ubicaciones seleccionadas;
35 (d) determinar un valor de error basado en la etapa de comparación en cada una de las una o más ubicaciones seleccionadas;

35 (e) ajustar los valores para las propiedades térmicas terrestres en cada una de las una o más ubicaciones seleccionadas en función del valor de error determinado;

40 (f) recalcular los datos calculados de temperatura ambiente terrestre a partir de los datos meteorológicos en tiempo real y los valores ajustados para las propiedades térmicas terrestres en cada una de las una o más ubicaciones seleccionadas;

40 (g) repetir las etapas (c) a (f) hasta que el valor del error esté dentro de un valor predeterminado en cada una de las una o más ubicaciones seleccionadas.
6. El método de la reivindicación 5, en el que las propiedades térmicas terrestres incluyen capacidad térmica volumétrica del suelo y resistividad térmica del suelo.
7. El método de la reivindicación 5, en el que los dispositivos de medición de temperatura ambiente terrestre en una o más ubicaciones seleccionadas son árboles terrestres (306) que comprenden sensores plurales de temperatura

puntual instalados en una ubicación seleccionada respectiva a diferentes profundidades, o sensores (308, 310) de temperatura distribuida.

8. El método de la reivindicación 7, que comprende:

identificar ubicaciones de puntos críticos de suelo utilizando los sensores de temperatura distribuida; e

5 instalar un árbol terrestre de sensores de temperatura puntual en las ubicaciones identificadas de los puntos críticos para determinar las temperaturas terrestres a diferentes profundidades de las ubicaciones identificadas de los puntos críticos.

9. El método de la reivindicación 1, en el que los datos meteorológicos en tiempo real y los datos terrestres se reciben de estaciones meteorológicas o proveedores de servicios de datos meteorológicos.

10 10. El método de la reivindicación 1, en el que los datos meteorológicos en tiempo real incluyen velocidad del viento, radiación solar, temperatura de la superficie terrestre y precipitación.

11. El método de la reivindicación 2, que comprende:

identificar una o más ubicaciones donde las propiedades térmicas terrestres se vean afectadas por los sumideros térmicos superpuestos y las fuentes térmicas; e

15 11. El método de la reivindicación 2, que comprende:
y

calcular las propiedades térmicas terrestres en una o más ubicaciones identificadas.

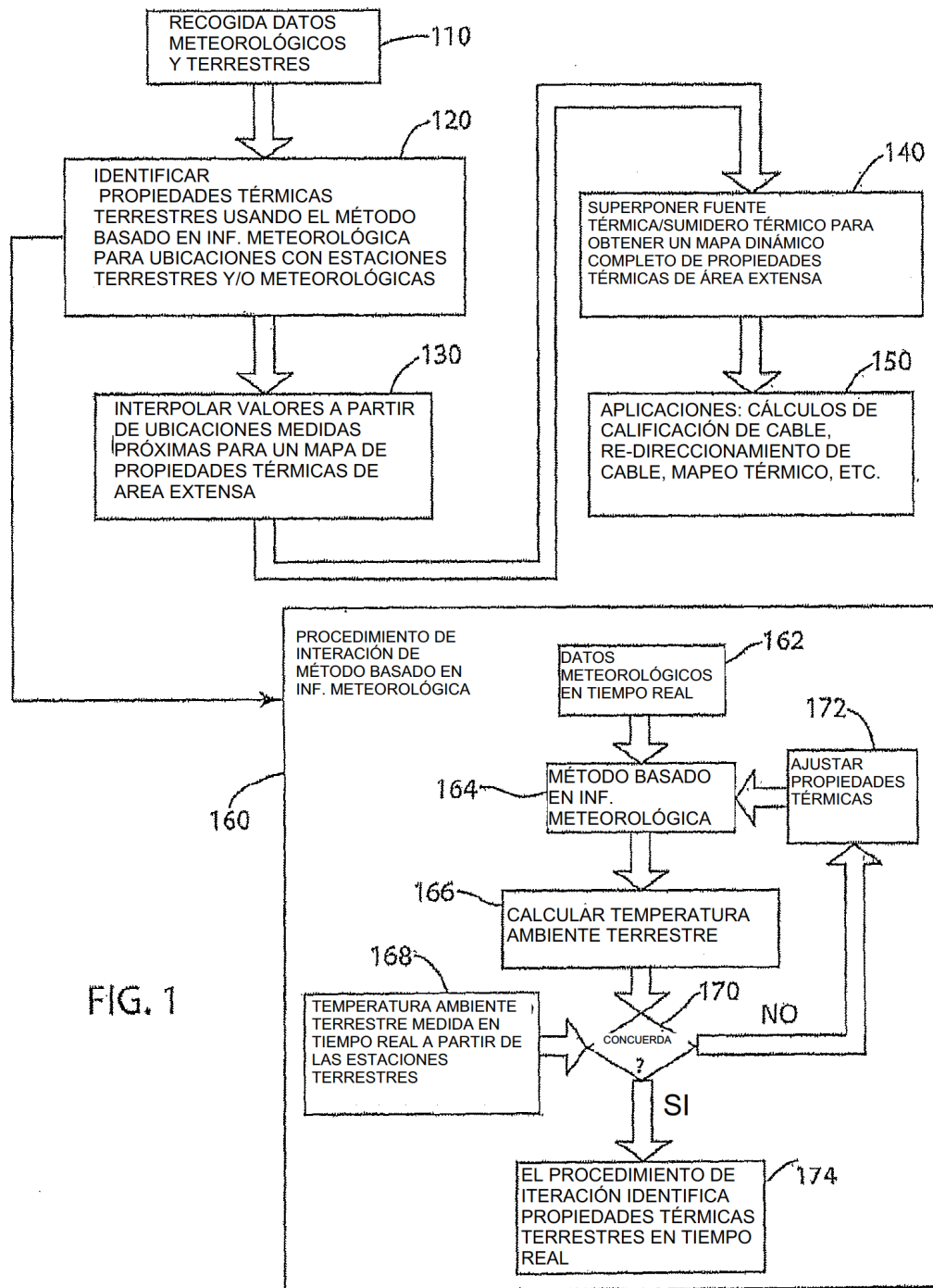
12. El método de la reivindicación 5, en el que las propiedades térmicas terrestres calculadas en dos o más de la pluralidad de ubicaciones se ponderan en función de

20 (a) si los datos en tiempo real se reciben de una estación meteorológica, una estación terrestre o una estación terrestre y meteorológica, para determinar las propiedades térmicas terrestres interpoladas en otra ubicación, y

(b) similitud entre las características terrestres de la otra ubicación con cada una de las dos o más de la pluralidad de ubicaciones.

25 13. El método de la reivindicación 1, en el que las calificaciones de los cables eléctricos en tiempo real se calculan en función de las propiedades térmicas terrestres estimadas en tiempo real.

14. El método de la reivindicación 1, en el que la temperatura ambiente terrestre y las propiedades térmicas terrestres utilizadas para calcular las calificaciones de cable eléctrico estático se establecen en base a los datos históricos acumulados terrestres de área extensa.



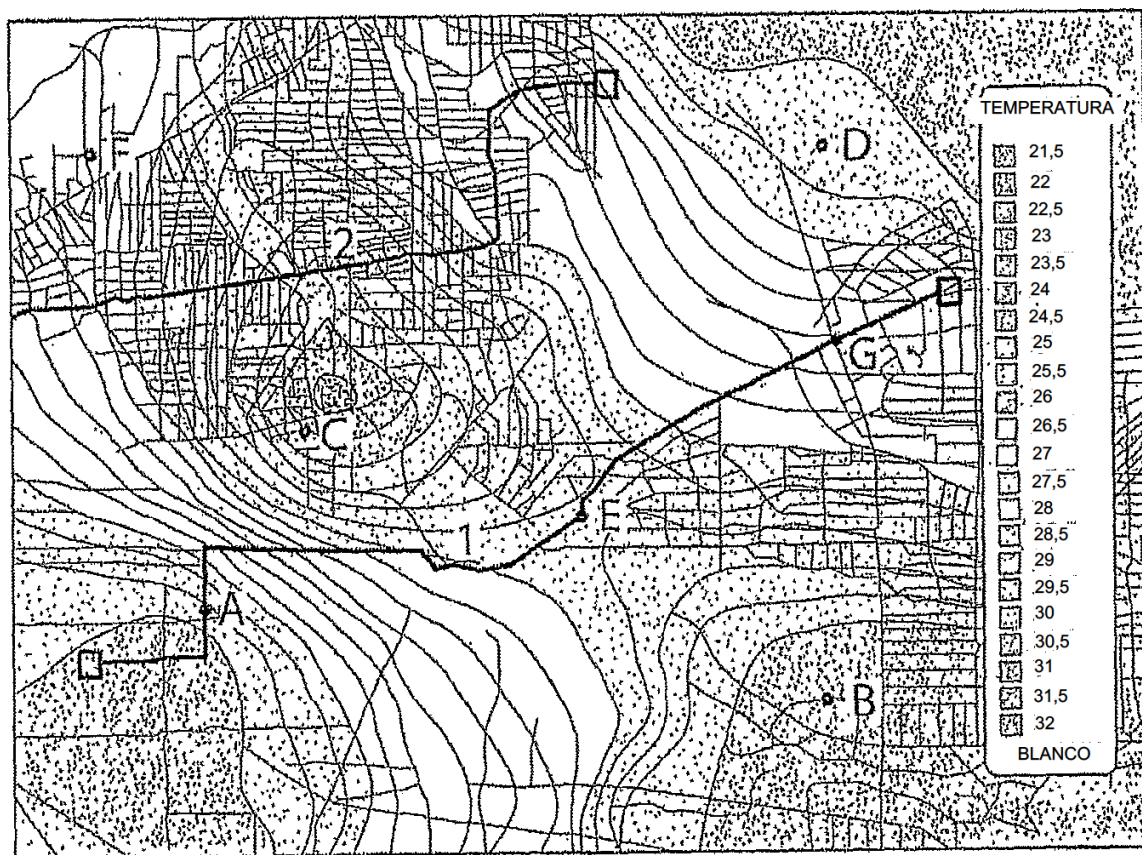


FIG. 2

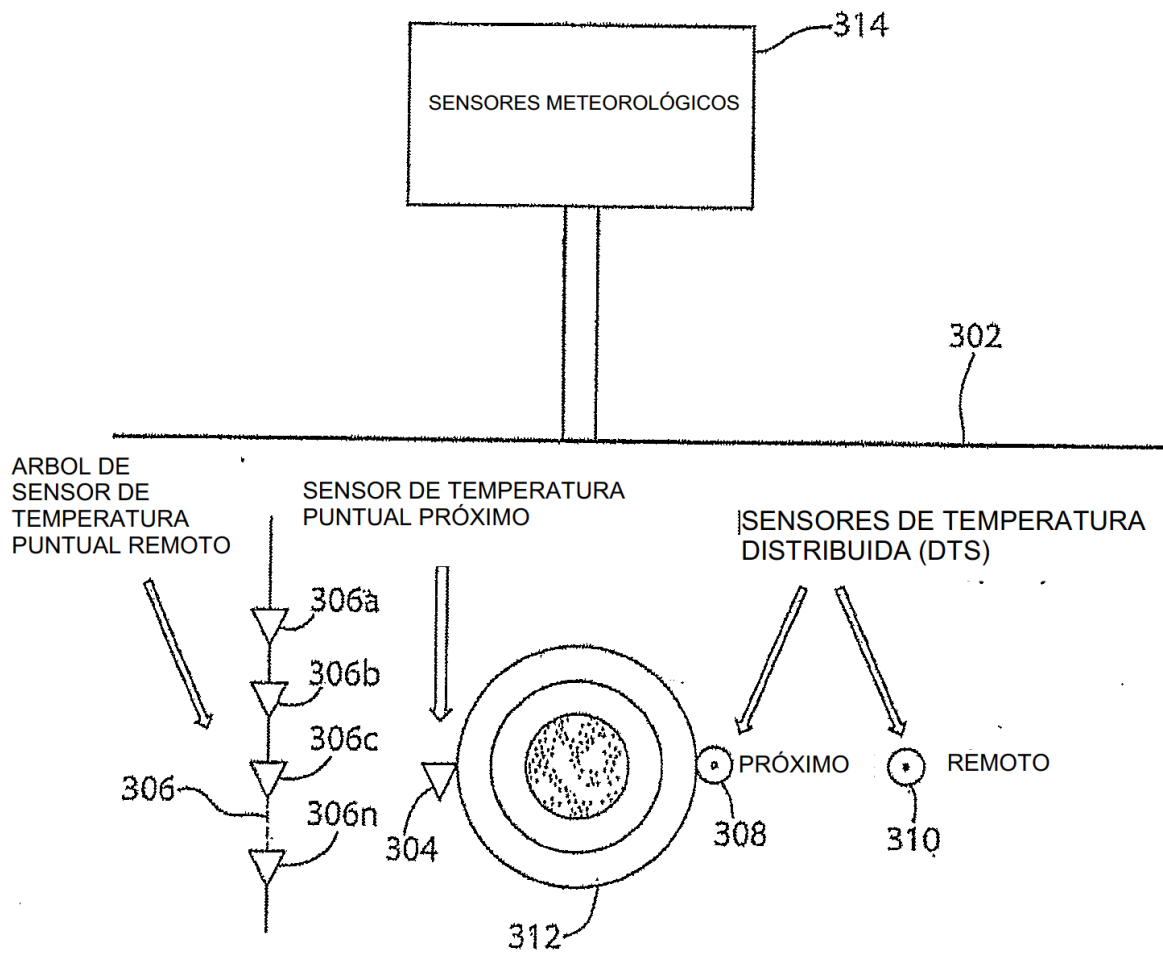


FIG. 3

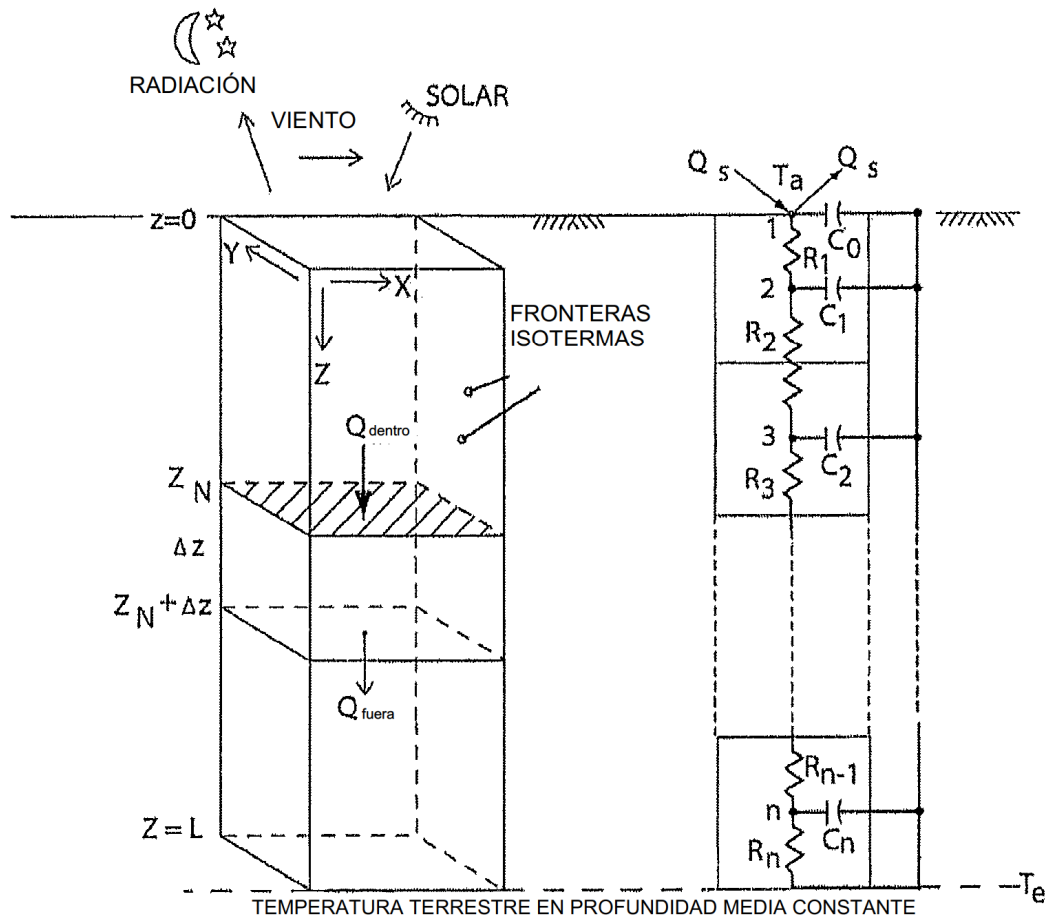


FIG. 4A

FIG. 4B

FIG. 4

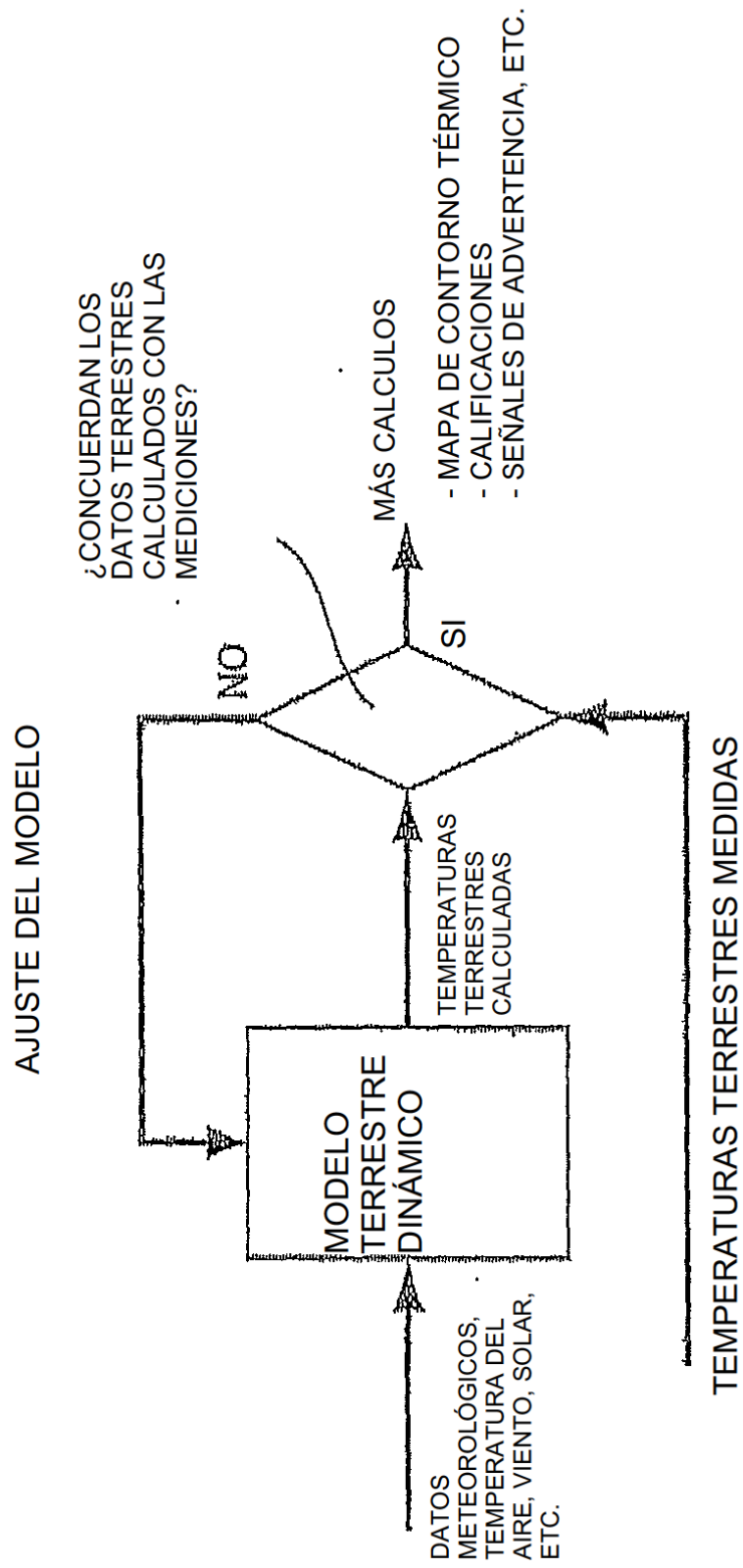


FIG. 5

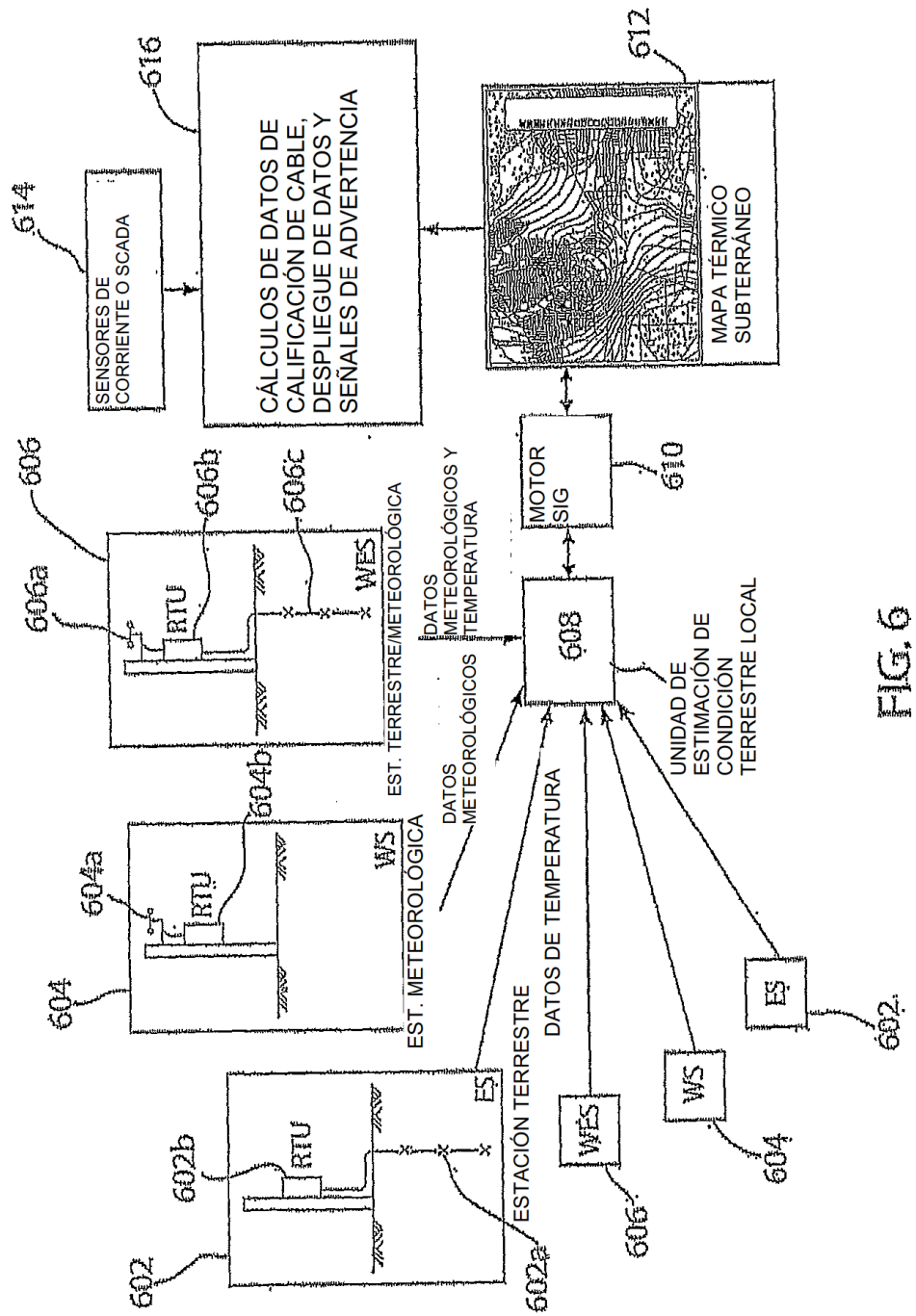


FIG. 6

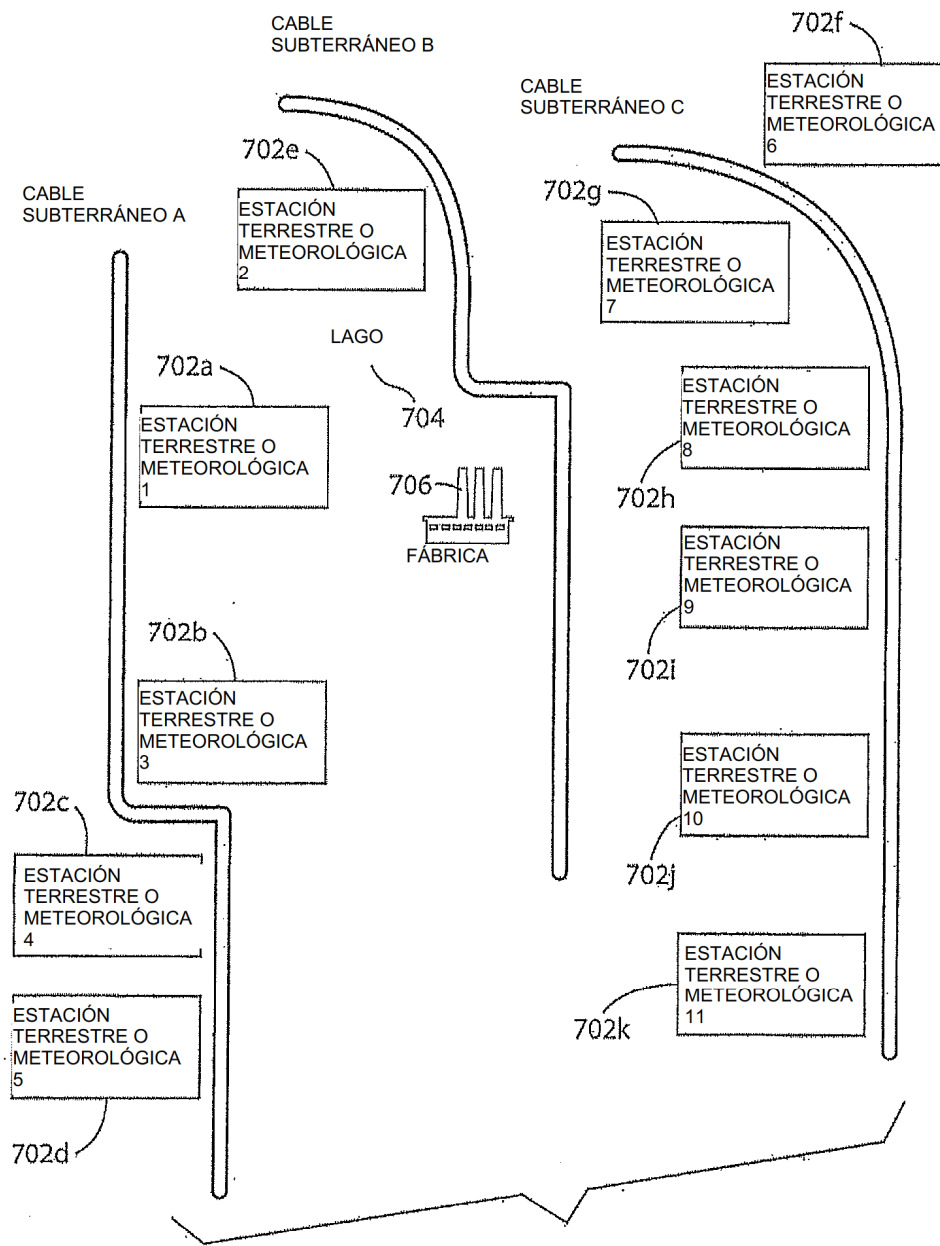


FIG. 7