

Señor

JEFE DIVISIÓN DE NUEVAS CREACIONES  
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

E. S. D.

Expediente (Año-Expediente): **2018-NC2018/0012997**

Respuesta Oficio : **3020**

Nuestra Ref. : **1156-P**

Actuación : RESPUESTA EXAMEN DE FONDO (ART 45 D486)

JHON ALEJANDRO RODRIGUEZ MORALES, con domicilio en esta ciudad, con identificación CC 1032469599 y TP 289,411, abogado titulado en ejercicio, obrando en calidad de apoderado del solicitante UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA UPTC, WILSON JAVIER PEREZ HOLGUIN, JOSIE ESTEBAN RODRIGUEZ CONDIA según poder anexo al trámite administrativo de la referencia.

Encontrándome dentro del término legal comparezco para responder el oficio de Requerimiento del Examen de patentabilidad del expediente del asunto emanado de esa Oficina, con fundamento en el Artículo 45 de la Decisión 486 de 2.000 de C.A.N, en los siguientes términos:

• **Descripción (Art. 28 D486)**

Se aporta una memoria descriptiva corregida resaltando las características novedosas del desarrollo sin ampliar la materia reclamada y dentro del alcance de la memoria descriptiva original.



**COLOMBIA:**

Carrera 13-A No. 28-38 Bufete 230  
Tel (571) 341 9841 / Fax (571) 243 5423  
Parque Central Bavaria  
Bogotá D.C. / Colombia / Sur América

**USA:**

COL 12010 TM Tamayo  
10000 NW 25 Th St Unit 1 L  
33172-2204  
MIAMI / FL, U.S.A.

E-mail: [consultas@tmtamayo.net](mailto:consultas@tmtamayo.net)  
[ip@tmtamayo.com](mailto:ip@tmtamayo.com)

Web: [www.tmtamayo.com](http://www.tmtamayo.com)

- **Resumen (Art. 26 literal e) y 31 D486)**

Se adecua el RESUMEN teniendo en cuenta que el extracto permitirá precisar el objeto de la invención, sus elementos característicos y el campo de aplicación.

- **Reivindicaciones (Art. 30 D486)**

Se presenta un capítulo reivindicatorio corregido, el cual está sustentado en el contenido de la solicitud original presentada y no contienen materia que no haya sido incluida anteriormente. El capítulo reivindicatorio que se aporta, fue corregido para superar los requerimientos realizados por el examinador, es decir, dando claridad a las reivindicaciones, con las aclaraciones al capítulo reivindicatorio, no se amplía la reclamación de la invención tal como fue estudiada y no contienen materia que no haya sido incluida anteriormente.

- Se eliminan las reivindicaciones 4 y 6.
- Se corrige la reivindicación 1 quedando la nueva así:
  1. Un equipo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables caracterizado porque comprende un módulo de transmisión de corriente para niveles de corriente máximos entre 2 a 4 Amperios (A) y voltajes de salida máximo de los transmisores entre 400 y 600 Voltios (V), que provee la energía a nodos reconfigurables de adquisición y transmisión de datos a los que están conectados y que comprenden una unidad de transmisión, un microcontrolador central, una fuente de alimentación, un módulo de almacenamiento, un módulo de adquisición y un módulo de conmutación concertados en circuito, comunicados entre ellos bidireccionalmente a través de un mecanismo de comunicaciones inalámbrico de radiofrecuencia y controlados por un módulo de control con modos de operación manual y automático.



**COLOMBIA:**  
Carrera 13-A No. 28-38 Bufete 230  
Tel (571) 341 9841 / Fax (571) 243 5423  
Parque Central Bavaria  
Bogotá D.C. / Colombia / Sur América

**USA:**  
COL 12010 TM Tamayo  
10000 NW 25 Th St Unit 1 L  
33172-2204  
MIAMI / FL, U.S.A.

E-mail: [consultas@tmtamayo.net](mailto:consultas@tmtamayo.net)  
[ip@tmtamayo.com](mailto:ip@tmtamayo.com)

Web: [www.tmtamayo.com](http://www.tmtamayo.com)

- **Determinación del Estado de la Técnica y Examen de Patentabilidad (Art. 14 D486)**

En relación con los antecedentes mencionados por el señor examinador, según las aseveraciones relacionadas que afectan el NIVEL INVENTIVO, nos permitimos aclarar y precisar lo siguiente:

- **Nivel Inventivo (Art 18 D 486):**

Para mayor claridad, el equipo de la presente invención, es un equipo descentralizado de prospección geoelectrónica de nodos reconfigurables inteligentes que en su manera preferida de ejecución tiene la siguiente configuración, que no se aparta del alcance de la patente tal como fue presentada inicialmente:

(a) uno o más nodos reconfigurables inteligentes que conforman una red de nodos con capacidad para transmitir energía y realizar comunicación bidireccional de datos entre nodos, o entre los nodos y la unidad central. Cada nodo puede ser configurado manualmente o desde la unidad central como sensor o actuador y sincronizado en pares de nodos para transmitir o adquirir señales. Cuando los nodos operan en modo sensor, realizan la adquisición de datos de forma simultánea, llevan a cabo un pre-análisis de la información y transmiten los datos obtenidos a la unidad central. Cada nodo comprende una unidad de transmisión, un microcontrolador central, una fuente de alimentación, un módulo de almacenamiento, un módulo de adquisición diferencial y un módulo de conmutación integrado;

(b) un módulo generador seleccionable de formas de onda y transmisor de corriente por niveles en el rango de 2 a 4 Amperios (A) y voltajes de salida del transmisor en el rango de 20 a 600 Voltios (V), conectado por medio de cables a los nodos reconfigurables inteligentes;



**COLOMBIA:**

Carrera 13-A No. 28-38 Bufete 230  
Tel (571) 341 9841 / Fax (571) 243 5423  
Parque Central Bavaria  
Bogotá D.C. / Colombia / Sur América

**USA:**

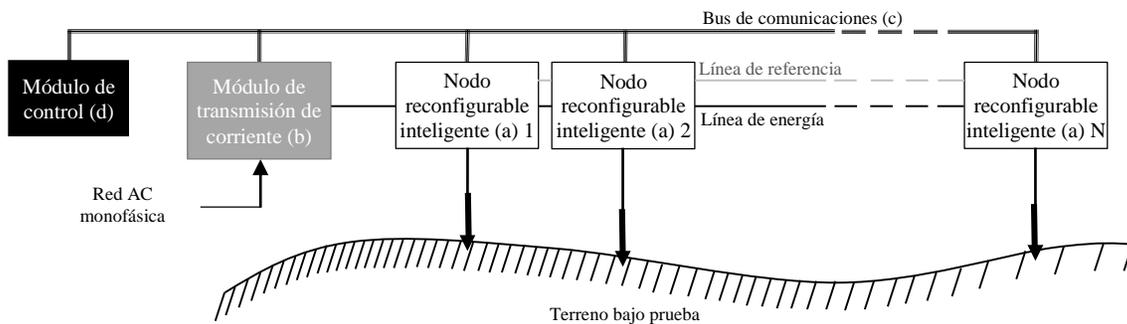
COL 12010 TM Tamayo  
10000 NW 25 Th St Unit 1 L  
33172-2204  
MIAMI / FL, U.S.A.

E-mail: [consultas@tmtamayo.net](mailto:consultas@tmtamayo.net)  
[ip@tmtamayo.com](mailto:ip@tmtamayo.com)

Web: [www.tmtamayo.com](http://www.tmtamayo.com)

(c) una interfaz de comunicaciones usada para transmitir los comandos o datos entre el generador y transmisor de corriente y los nodos reconfigurables inteligentes;

(d) un módulo central de control que configura y sincroniza los nodos reconfigurables inteligentes y el módulo generador seleccionable de formas de onda y transmisor de corriente.



Sin que se pretenda dar ampliación a la materia descrita y reclamada en la solicitud inicial, se presenta también a continuación, la comparación de la solicitud con respecto a los antecedentes D1 y D2:

Los equipos descritos en los antecedentes D1 y D2 son instrumentos de tipo centralizado controlados por una computadora o un controlador principal y conectados mediante cables especiales. Además, queda claro de la descripción de los mencionados equipos que cada electrodo es tan solo una barra metálica que es conectada por medio de un cable al módulo central o a una unidad conmutadora, mientras que en la presente invención, cada nodo está conformado por una barra metálica más un controlador reconfigurable inteligente, basado en un sistema de procesamiento local con capacidad para pre-procesar la información antes de transmitirla a la unidad central.



**COLOMBIA:**  
Carrera 13-A No. 28-38 Bufete 230  
Tel (571) 341 9841 / Fax (571) 243 5423  
Parque Central Bavaria  
Bogotá D.C. / Colombia / Sur América

**USA:**  
COL 12010 TM Tamayo  
10000 NW 25 Th St Unit 1 L  
33172-2204  
MIAMI / FL, U.S.A.

E-mail: [consultas@tmtamayo.net](mailto:consultas@tmtamayo.net)  
[ip@tmtamayo.com](mailto:ip@tmtamayo.com)

Web: [www.tmtamayo.com](http://www.tmtamayo.com)

Por otra parte, el proceso de adquisición del equipo descrito en D1 y D2 es secuencial, mientras que en la presente invención se trata de un proceso paralelo y simultaneo. Por lo tanto, la estructura general del instrumento y el proceso de adquisición y transmisión de la presente invención no es similar la descrita en los antecedente D1 y D2.

Citando el párrafo de la página 5 del Oficio N° 3020 de 2 de marzo de 2020:

*“ La diferencia entre la invención definida en la reivindicación 1 y el aparato divulgado de D1 consiste en un módulo de conmutación. El efecto que se logra al incluir un módulo de conmutación es que permite establecer la conducción de forma ordenada entre los electrodos. Por lo tanto, el problema técnico objetivo que pretende resolver esta invención se puede formular así: ¿Cómo modificar el aparato conocido en D1 con el fin de establecer la conmutación entre los distintos electrodos? ”.*

Citando igualmente lo estipulado en la página 6 de mismo oficio

*“ En consecuencia, la persona normalmente versada en la materia estaría motivada a incluir el módulo de conmutación del documento D2 en el aparato de D1, para así llegar al objeto de la reivindicación 1. Por lo cual se considera obvia. ”*

Se observa que, a partir de lo planteado en los dos párrafos iniciales de la Sección II de este documento, los planteamientos de las páginas 5 y 6 del mencionado oficio, no son correctos ya que:

1. Ni la estructura de la arquitectura general del instrumento descrito en D1, ni el método empleado para adquirir datos (del terreno) son similares a lo propuesto en la presente



COLOMBIA:  
Carrera 13-A No. 28-38 Bufete 230  
Tel (571) 341 9841 / Fax (571) 243 5423  
Parque Central Bavaria  
Bogotá D.C. / Colombia / Sur América

USA:  
COL 12010 TM Tamayo  
10000 NW 25 Th St Unit 1 L  
33172-2204  
MIAMI / FL, U.S.A.

E-mail: [consultas@tmtamayo.net](mailto:consultas@tmtamayo.net)  
[ip@tmtamayo.com](mailto:ip@tmtamayo.com)

Web: [www.tmtamayo.com](http://www.tmtamayo.com)

innovación. Por lo tanto, consideramos que no es comparable la invención presentada en el antecedente D1 con la invención presentada en la actual propuesta. Es posible que, a nivel general, algunos módulos estén presentes en ambos casos, pero el modo en que son usados, la versatilidad y la flexibilidad presentada en la presente innovación, no se encuentran incluidos en los equipos descritos en D1 o D2.

2. Respecto a la unidad de conmutación descrita en D2, esta unidad configura cada electrodo como transmisor o receptor y de forma secuencial permite conmutar y tomar muestras del terreno. Por otra parte, en el diseño propuesto, la primera diferencia es que la unidad de conmutación se encuentra integrada en cada nodo reconfigurable inteligente. Por lo tanto, no es una unidad independiente dentro del instrumento como se describe en D2. Es decir, el instrumento propuesto en este caso, incorpora tantas unidades de conmutación como el número de nodos empleados en el sistema, debido a que cada nodo incluye una unidad de conmutación integrada. Además, esta unidad de conmutación se encarga de configurar de forma simultánea todos los nodos inteligentes como transmisor o receptor, brindando versatilidad al sistema y optimizando el proceso de adquisición de datos de forma paralela. Finalmente, los datos generados en los nodos son transmitidos hacia el controlador central a través de una interfaz de comunicaciones, característica que no se presenta en la unidad descrita en el antecedente D2.

Dado que las reivindicaciones están afectadas por el nivel inventivo, solicitamos el cambio de Patente de Invención a Patente Modelo de Utilidad, para superar esta objeción. Para acatar las recomendaciones presentada por el examinador y superar las objeciones del **Nivel Inventivo, se ha solicitado la conversión de patente de invención a patente de MODELO DE UTILIDAD.** Dado que la presente solicitud es nueva con respecto al estado del arte, al cambiar de modalidad de patente de invención a patente de MODELO DE UTILIDAD, supera la objeción de Nivel Inventivo, **Esta petición de conversión a modelo de utilidad fue**



COLOMBIA:  
Carrera 13-A No. 28-38 Bufete 230  
Tel (571) 341 9841 / Fax (571) 243 5423  
Parque Central Bavaria  
Bogotá D.C. / Colombia / Sur América

USA:  
COL 12010 TM Tamayo  
10000 NW 25 Th St Unit 1 L  
33172-2204  
MIAMI / FL, U.S.A.

E-mail: [consultas@tmtamayo.net](mailto:consultas@tmtamayo.net)  
[ip@tmtamayo.com](mailto:ip@tmtamayo.com)

Web: [www.tmtamayo.com](http://www.tmtamayo.com)

**debidamente radicada a través del sistema SIPI**, debidamente radicado y según lo establecido en el numeral 1.1.6 de la resolución 56451 del 27 de septiembre de 2013, donde manifiesta claramente que “cuando se solicite la conversión de una solicitud en trámite, el peticionario deberá, cuando sea del caso, ajustar al mayor valor correspondiente al trámite de la modalidad a que se haya de convertir su solicitud conforme a las tasas vigentes al momento de la solicitud de la conversión”. (Subrayado para destacar) Por lo tanto para este caso no aplica recibo de pago, ya que la patente de invención presenta mayor valor que el de modelo de utilidad.

Esta conversión de patente de invención a patente de MODELO DE UTILIDAD se hace de acuerdo al artículo 35 de la Decisión 486 de la CAN.

**Artículo 35.-**

(...).

*“La petición de conversión de una solicitud podrá presentarse sólo una vez. La solicitud convertida mantendrá la fecha de presentación de la solicitud inicial.*

*“Las oficinas nacionales competentes podrán sugerir la conversión de la solicitud en cualquier momento del trámite, (...)”*

De acuerdo con el nuevo pliego reivindicatorio y las aclaraciones citadas, la presente solicitud de patente Modelo de utilidad cumple con los requisitos de patentabilidad exigidos en el Art. 81 de la Decisión 486/2000 de la C.A.N, en el sentido de Novedad y Aplicación Industrial; solicito dar por subsanado dicho examen y ordenar lo pertinente con el fin que el expediente en mención siga su curso normal.

Por lo antes expuesto, ruego a usted dar por subsanado dicho requerimiento, sin perjuicio de lo cual desde ya nos acogemos a lo dispuesto por el inciso segundo del artículo 45 de la decisión



**COLOMBIA:**

Carrera 13-A No. 28-38 Bufete 230  
Tel (571) 341 9841 / Fax (571) 243 5423  
Parque Central Bavaria  
Bogotá D.C. / Colombia / Sur América

**USA:**

COL 12010 TM Tamayo  
10000 NW 25 Th St Unit 1 L  
33172-2204  
MIAMI / FL, U.S.A.

E-mail: [consultas@tmtamayo.net](mailto:consultas@tmtamayo.net)  
[ip@tmtamayo.com](mailto:ip@tmtamayo.com)

Web: [www.tmtamayo.com](http://www.tmtamayo.com)

486 de la Comunidad Andina que a la letra dice: “(...) Cuando la oficina nacional competente estimare que ello es necesario para los fines del examen de patentabilidad, podrá notificar al solicitante dos o más veces (...)” (Subrayado para destacar).

## ANEXOS

- Descripción corregida con claridad.
- Reivindicaciones corregidas

Mi poderdante y yo recibiremos notificaciones en la Secretaría de su Despacho o en la Oficina ubicada en la Carrera 13A No. 28-38 Ofc. 230 MZ. 2 Parque Central Bavaria de la ciudad de Bogotá D.C. o al correo electrónico: [tmtamayo@gmail.com](mailto:tmtamayo@gmail.com).

Del señor Jefe,

  
JHON ALEJANDRO RODRIGUEZ MORALES,  
CC 1032469599 y TP 289,411 del C.S.J.



### COLOMBIA:

Carrera 13-A No. 28-38 Bufete 230  
Tel (571) 341 9841 / Fax (571) 243 5423  
Parque Central Bavaria  
Bogotá D.C. / Colombia / Sur América

### USA:

COL 12010 TM Tamayo  
10000 NW 25 Th St Unit 1 L  
33172-2204  
MIAMI / FL, U.S.A.

E-mail: [consultas@tmtamayo.net](mailto:consultas@tmtamayo.net)  
[ip@tmtamayo.com](mailto:ip@tmtamayo.com)

Web: [www.tmtamayo.com](http://www.tmtamayo.com)

## **EQUIPO DESCENTRALIZADO DE PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA DE NODOS RECONFIGURABLES**

### **SECTOR TECNOLÓGICO**

5 La presente invención proporciona un equipo con un mecanismo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables, que tiene aplicación en el campo técnico de la geofísica, en especial en la industria minera y petrolera, en la prospección o detección eléctrica o magnética de masas u objetos.

### **10 ESTADO DE LA TÉCNICA**

Los sistemas de prospección geoelectrica consisten en dispositivos que inyectan corriente en el terreno y miden la diferencia de potencial que se genera. Los cambios en la resistividad calculados permiten modelizar la estructura del subsuelo. Dichos sistemas son muy útiles en especial para la industria minera y la industria petrolera que los utilizan para  
15 descartar o iniciar la explotación de un terreno en especial, además, de mapeos geológicos, exploraciones hidrológicas, localización e identificación de elementos y la caracterización de suelos para propósitos agrícolas o industriales.

Una de las técnicas más empleadas es el método de exploración eléctrica por resistividad.  
20 Como su nombre lo indica, este método busca establecer características de un subsuelo en función al parámetro que presenta mayor sensibilidad a la resistividad del material bajo prueba.

La instrumentación para prospección eléctrica por resistividad emplea un modelo físico  
25 sustentado en la aplicación de un flujo de corriente sobre un terreno. Para aplicaciones prácticas de instrumentación, este flujo puede ser de magnitud contante o variable a muy baja frecuencia. Cuando el flujo de corriente es aplicado al terreno, la incidencia en la distribución de líneas equipotenciales brinda información de la composición interna del suelo.

30 Las técnicas de campo de resistividad eléctrica (ER y ERT) y las técnicas de sondeos verticales de resistividad (VES) son consideradas como una de las principales prácticas en la prospección geoelectrica. Estas presentan ventajas operativas en comparación a otras técnicas de exploración, ya que, requieren de una instrumentación mínima para llevar a  
35 cabo las mediciones.

Un instrumento básico de prospección ER requiere de una fuente de potencial constante, un voltímetro y cuatro electrodos con sus respectivos conductores. Este esquema simple aún es empleado en algunos casos y aplicaciones donde no se cuenta con acceso a

instrumentos especializados o cuando el presupuesto para el diseño del instrumento es limitado. No obstante, este esquema de instrumentación solo es útil si se analizan pequeñas áreas, se desprecian las condiciones logísticas y se dispone del tiempo suficiente para realizar la medición.

5

El uso de la técnica ER en instrumentación ha resurgido principalmente debido a tres factores de orden tecnológico, i) el gran avance en las aplicaciones de software que permiten realizar la interpretación de datos experimentales necesarios para establecer modelos directos, análisis numéricos y simulaciones, ii) los avances en las técnicas de inversión y regresión de datos, y por último iii) el veloz e impresionante avance en los sistemas eléctricos, electrónicos e informáticos para desarrollar instrumentación de campo.

Factores técnicos a considerar en el diseño, prueba y uso de instrumentación para prospección geoelectrica incluyen: la sensibilidad del instrumento de medición, la capacidad de cobertura de datos horizontal, la potencia de la señal emitida, el acople electromagnético, la resolución anómala del arreglo de electrodos, la sensibilidad del arreglo a variaciones verticales u horizontales de resistividad y la profundidad del estudio realizado en el terreno. Los primeros cuatro dependen directamente del instrumento de medición, por lo tanto, para que un instrumento de exploración por ER pueda adaptarse al conjunto de operaciones y aplicaciones debe estar en capacidad de modificar los parámetros de emisión y recepción e integrar una base de configuraciones de los posibles patrones de electrodos.

Existen procedimientos totalmente automatizados que ofrecen soluciones de medición que permiten la variación de los parámetros de operación, con el fin de adaptarse a un amplio rango de aplicaciones como en prospecciones y monitoreo remoto de actividad del subsuelo, durante largos periodos de tiempo en instalaciones fijas, como en la detección de fugas en tanques, diques y presas, en deslizamientos de tierra, en vertederos, en suelos congelados y en el almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el alto costo de la instrumentación automatizada limita su uso de forma masiva; además, el desconocimiento de las características internas de este tipo de equipos limita la posibilidad de extender las aplicaciones o dar un soporte técnico local, lo cual conlleva, muchas veces, a costos adicionales por procesos de reparación, calibración y mantenimiento.

Una composición general interna de un instrumento de ER presenta una serie de bloques con funciones definidas: i) un transmisor de corriente, ii) un receptor de voltaje diferencial, iii) un controlador central, iv) un sistema de almacenamiento, v) un sistema de transmisión de datos a un computador, y vi) un sistema de visualización, interacción e impresión.

El hardware interno en un instrumento de exploración geoelectrica varía según los requerimientos técnicos y las potenciales aplicaciones, sin embargo, es posible definir una serie de elementos funcionales comunes a todo instrumento, de esta forma, se puede afirmar que un equipo está compuesto por un conjunto de bloques funcionales generales.

5

La configuración y los parámetros, de cada bloque interno del instrumento, permiten al equipo adaptarse a las condiciones variables de cada exploración, estas condiciones están dadas en función a las condiciones físicas del terreno; de esta forma, si hay una alta resistividad en el terreno, el instrumento necesita transmitir una mayor intensidad de corriente, dando como resultado, una recepción y adquisición de datos con mejor resolución; Sin embargo, en aplicaciones reales es difícil diseñar o encontrar en el mercado un instrumento de prospección que se adapte y se use bajo cualquier condición del terreno, esta es una tarea compleja tanto para el diseñador del sistema, como para el usuario del instrumento.

15

Conceptualmente, se definen dos filosofías de diseño para un sistema de exploración geofísico por ER, la topología centralizada y la distribuida. En la configuración básica de un sistema con arquitectura centralizada, el instrumento mantiene un solo canal activo mediante la selección de cuatro electrodos disponibles en campo, un par de electrodos es usado para realizar la transmisión de corriente al terreno, con los dos electrodos restantes, el sistema realiza la recepción del potencial de voltaje. Un esquema más avanzado de la topología centralizada agrega la posibilidad de habilitar más de un canal de medición durante la operación del instrumento. Esta clase de instrumentos tiene la capacidad de realizar exploraciones y monitoreo fijos ER e IP en áreas remotas durante largos periodos de tiempo o cuando la composición del terreno (hielo o permafrost) no permite a otras configuraciones de instrumentos obtener los resultados esperados; sin embargo, requieren de sistemas de alimentación de larga duración y de bajo mantenimiento, como por ejemplo, celdas de combustible, paneles solares y baterías, de la misma forma, se requiere de sistemas de comunicación de largo alcance para la transmisión de datos.

25

En el estado de la técnica se presentan varios tipos de sistemas o equipos que tratan el tema:

30

La solicitud de patente colombiana 01043631 divulga métodos y sistemas para combinar mediciones con herramientas de inducción y mediciones con herramientas laterolog para indicar que la resistividad de la formación es anisotrópica y estimar el componente vertical de resistividad aun en presencia de invasión. Un aspecto de la invención provee un método para determinar una característica de una formación subsuperficial de tierra alrededor de un pozo. El método consiste en calcular, al menos, un parámetro representativo de una

propiedad de la formación utilizando datos del registro obtenidos con una primera herramienta de pozo colocada dentro del pozo, modelar los datos del registro de al menos un parámetro calculado, y comparar los datos del registro obtenidos con una segunda herramienta de pozo colocada dentro del pozo contra los datos del registro modelados para  
5 determinar la característica de la formación.

La solicitud de patente colombiana 13224427 se refiere a un método de prospección sísmica dinámica, aplicada a la prospección sísmica en los trabajos de exploración petrolífera y/o de gas natural, basado en el tratamiento del comportamiento de las reflexiones de las ondas sísmicas o sónicas en las capas geológicas del subsuelo, de acuerdo con la teoría de Fresnel, con la finalidad de mejorar y superar problemas y limitaciones de la metodología actual y que consta de aspectos novedosos como la adquisición de los datos sísmicos de campo, usando mallas y líneas sísmicas en 2D y 3D, con menor densidad de puntos de disparo y geófonos, en función de los diámetros de Fresnel, lo cual determina un ahorro sustancial de tiempo y costo de los trabajos en la exploración sísmica. Se emplea un procedimiento geométrico que permite obtener una imagen más aproximada a la configuración real de la estructura geológica en estudio, con lo cual, se evitan errores en la ubicación de fallas geológicas, de perforación de pozos secos, estructuras de menor rango no detectadas, etc., con las consiguientes pérdidas económicas y de recursos naturales no explotados por el incorrecto abandono de los yacimientos.  
10  
15  
20

La solicitud de patente RU0002581768 trata un método que utiliza dos conexiones de tierra fijas, la primera de las cuales se refiere al "infinito" práctico y está conectada a una fuente de energía, la segunda se coloca en el perfil de observación y está conectada a un medidor de voltaje, a igual distancia de la segunda conexión de tierra fija a lo largo de dos conexiones de tierra móviles. Una de las conexiones a tierra móviles se conecta al medidor y se mide otra fuente de corriente y caída de tensión. Después de dos mediciones con una posición de conexiones de tierra extremas móviles, se mueven a una distancia igual especificada de la conexión de puesta a tierra fija central y se repite el proceso de medición. Dichas operaciones se realizan en todas las posiciones preestablecidas de conexiones móviles de puesta a tierra. Luego, en cada punto de observación para el espaciamiento especificado a lo largo de dos diferencias de potencial medidas entre ellos, así como la resistencia eléctrica aparente promedio y los valores calculados al centro del aparato, se realizan cálculos para todas las separaciones y se construyen secciones de resistividad aparente y diferencia de potencial promedio, según su distribución determinante presencia y ubicación en sección de irregularidades geoelectricas.  
25  
30  
35

En el documento de patente RU2527322 se presenta un método para la exploración geofísica de depósitos de hidrocarburos que incluye realizar vibraciones elásticas de excitación durante la excitación repetida de un campo electromagnético, medir el campo electromagnético en múltiples puntos en la proximidad de una fuente de campo electromagnético antes, durante y después de la excitación elástica; y utilizando los datos obtenidos se construye una serie de secciones geoeléctricas que reflejen la relajación de la resistividad causada por la acción elástica; además, utilizando los datos se construye una imagen 3D de un área de prospección, seleccionando zonas anómalas con relajación de resistencia en la sección, y se determina la presencia y propiedades de depósitos de hidrocarburos a partir del valor del efecto anómalo y naturaleza de dicha relajación.

Otros sistemas usan una topología fija de electrodos, son conocidos como sistemas de prospección móviles (on-to-go sensors). Estos son usados en aplicaciones marítimas y terrestres donde se requieren exploraciones profundas sin elevar el costo del sistema. La estructura general de un instrumento móvil, también llamado cuadripolo móvil, se basa en un transmisor de corriente diferencial mediante un par de electrodos y uno o más canales de electrodos de recepción, que son desplazados en conjunto por un operador o un vehículo sobre la zona de exploración. Generalmente se usa un conjunto limitado de canales de recepción, comúnmente 2 o 3; múltiples canales se agregan dependiendo la profundidad deseada en la exploración.

Otro sistema móvil de prospección, el denominado MSP40, es desplazado por un operario y presenta una estructura formada por cuatro ruedas dentadas con un patrón dipolo-dipolo ecuatorial paralelo. Este sistema es una integración de resistivímetros, dataloggers y unidades de conmutación comercializadas por el fabricante. Los procedimientos de adquisición pueden ser llevados a cabo por la unidad de control y sincronizados de forma interna por un temporizador, o mediante una señal externa proveniente de un "encoder" óptico acoplado a una de las ruedas dentadas

Otros desarrollos presentan un sistema móvil compuesto por un canal de recepción, el cual emplea una plataforma con electrodos en forma de disco para realizar prospección por conductividad eléctrica (EC) a una frecuencia de 25Hz. En la plataforma se puede cambiar la distancia entre los electrodos de transmisión y recepción, de esta forma, se varían los parámetros de patrón de electrodos dipolo-dipolo ecuatorial. Sobre la plataforma y para cada adquisición, un sensor ultrasónico mide la distancia a reemplazar en el cálculo del patrón geométrico

Otros diseños de sistema móviles usan el método de exploración capacitiva resistiva (CR). Este método es el más usado en los sistemas móviles. Bajo ciertas consideraciones

experimentales, las mediciones con el método CR y ER son equivalentes, por lo tanto, es posible aplicar los mismos métodos de análisis e interpretación. El CR es aplicado en áreas que presentan superficies con alta resistividad o donde el acoplamiento galvánico no es fácil de realizar, como en suelos secos, suelos helados, superficies pavimentadas y en roca dura

El uso de electrodos configurables era una solución planteada al problema de instrumentación y a las características no prácticas para realizar exploraciones sobre grandes áreas, las dificultades en la enorme cantidad de datos de campo y la necesidad de mover los electrodos de única función. Esta configuración utiliza un mismo electrodo, en diferentes instantes de tiempo, como conductor para los propósitos de emisión de corriente y recepción de voltaje. La unidad central configura cada electrodo durante la prospección de un terreno; una unidad de conmutación controlable se incluye para lograr esta funcionalidad en los electrodos. Esta unidad puede estar integrada al sistema, con los sistemas de control y recepción o puede ser externa como un instrumento adicional. La unidad de conmutación establece la conducción de forma ordenada entre los electrodos y el instrumento. Normalmente, en esta configuración se usa un canal de medición y se seleccionan cuatro de los electrodos, se realiza la medición y se hace una conmutación para habilitar otros electrodos, de acuerdo al patrón de electrodos seleccionado. Un esquema avanzado del sistema modifica la unidad de conmutación y plantea una división para integrarlo a cada electrodo. Con esta distribución, la funcionalidad de un electrodo se habilita de forma remota, pero un medio de comunicación es requerido entre el controlador central y cada sistema de conmutación. En algunos diseños se incluyen cables multiconductores para este fin. Sin embargo, la división en el sistema de conmutación acarrea contrariedades adicionales como el mayor número de conmutadores presentes en todo el sistema, y la necesidad de una interfaz de comunicaciones y control, entre el controlador principal y cada electrodo. Adicionalmente, en el diseño de un sistema con esta arquitectura, se deben tener en cuenta los métodos para suplir energía a cada controlador local de los electrodos.

También se han propuesto electrodos configurables mediante un conjunto de direcciones de software únicas para cada electrodo, donde cada electrodo integra una unidad de conmutación y en función al comando enviado se cambia su configuración. La ubicación de cada electrodo es conocida en la red por la dirección, lo cual permite usar esta tecnología eficientemente en prospección de grandes áreas y establecer cualquier patrón de electrodos. Sin embargo, esta tecnología presenta problemas cuando se emplean múltiples redes en una exploración. Los electrodos en cada red tienen las mismas direcciones y se requiere de unidades de control y software especial para identificarlas por separado. Otro

problema ocurre cuando se presentan fallas en una unidad, la unidad de reemplazo debe mantener la misma dirección lo cual hace más complejo el cambio.

5 La tecnología de Electrodo Inteligente usa electrodos configurables de forma remota para aplicaciones de ER. Este sistema mantiene una topología centralizada, pero incluye electrodos con unidades de conmutación integradas y configurables por un protocolo de comunicación serial digital. Un conjunto de comandos dependientes de la ubicación del electrodo en la red que son enviados desde el controlador central para programar los electrodos antes de cada procedimiento de exploración, de esta forma, se logra la formación  
10 de cualquier patrón de electrodos. Como desventaja técnica del sistema, si uno de los elementos de conmutación, internos a cada electrodo, falla, todo el sistema puede quedar inutilizable. Hasta que el electrodo dañado sea cambiado, el sistema no puede continuar con su ejecución, lo cual, representa problemas si se emplea en proyectos de exploración de grandes áreas.

15

La topología distribuida es una técnica experimental y emergente de diseño de instrumentos para prospección geoelectrica. Esta topología resuelve el problema del número de canales de recepción en una exploración y propone el uso de cada electrodo disponible en campo. En una adquisición multicanal, muy común en topologías distribuidas, grandes redes de  
20 sensores adquieren datos de forma rápida y además evitan problemas de ruido. Estos sensores evitan el uso de múltiples conductores y se evitan los problemas de acople capacitivo. En esta topología, se completa la idea de dividir cada unidad funcional y asociarla a los electrodos así, los electrodos integran sistemas de conmutación, digitalización, pre-procesamiento de datos, almacenamiento de datos y una interfaz de comunicaciones, es decir, los electrodos son dotados de inteligencia mediante un sistema embebido asociado. Cada unidad es también llamada nodo, unidad de adquisición de datos (DAU), unidad remota (RU) o módulos de adquisición (AM). A nivel de diseño, esta topología es la más costosa de implementar y la que más desarrollo a nivel de software conlleva, principalmente, por la interacción entre las DAUs y la interfaz de control del  
25 instrumento a nivel de red, sin embargo, esta topología ofrece una alta flexibilidad, mejor variabilidad y una versatilidad superior que otras topologías.

30

Aunque la investigación de sistemas distribuidos en los últimos años ha aumentado, apoyada por el avance en componentes electrónicos y su bajo costo, algunos de los  
35 grandes fabricantes de instrumentación no incluyen, entre sus productos, sistemas de estas características. El principal obstáculo en la investigación y desarrollo es la adjudicación de contratos basados principalmente en el precio y no en la calidad de los datos. Los sistemas centralizados ofrecen un menor costo por día, comparado con la tecnología distribuida, la cual, requiere un aumento en la tasa de gastos diarios

Entre las ventajas que posee un sistema distribuido se destaca la adquisición paralela de datos, ya que, cada DAU que no es usado para transmitir corriente al terreno puede funcionar como un receptor de voltaje, lo cual, a su vez reduce los tiempos para llevar a cabo una exploración. Al realizar una adquisición y digitalización en cada electrodo se insensibiliza el instrumento y como consecuencia se reducen los efectos de ruido ambiental externo e interferencia electromagnética, además, se evita el uso, costo y mantenimiento de cables blindados multiconductores para evitar el ruido.

En el caso de redes inalámbricas, se prevé que, a futuro, estas sean usadas de forma masiva en sistemas de ER o IP formando redes de sensores para aplicaciones fijas. La principal desventaja de los sistemas que emplean redes inalámbricas es el requerimiento de mediciones respecto a un nivel de tierra común para cada DAU, de esta forma, al menos se necesita de un conductor para transmitir un nivel de referencia durante una medición. Además, como las unidades de potencia no se encuentran integradas en las DAUs, los cables de potencia, entre cada unidad, son necesarios. Otras desventajas de las tecnologías inalámbricas incluyen un alto consumo de potencia por DAU, la distancia entre DAUs, que depende de la cobertura máxima del medio de comunicación, la línea de vista de la antena, la eficiencia en la adquisición, que es restringida por los límites en el ancho de banda para transmitir información y mantener el control en tiempo real, sin embargo, las ventajas de una red inalámbrica permiten reducir los costos logísticos.

Como se presenta en el estado de la técnica las topologías centralizadas poseen una flexibilidad limitada y requieren de conductores especiales, pero el diseño del controlador del mecanismo es más simple. Por otra parte, la topología distribuida configurable presenta una mejor flexibilidad y no se requiere de conductores especiales, sin embargo, el diseño del controlador del mecanismo es mucho más complejo y elaborado, pero el mecanismo tiene la posibilidad de adaptarse a otras aplicaciones.

De acuerdo a lo encontrado en el estado de la técnica, se presenta la necesidad de contar con mecanismos de prospección geoelectricos para el análisis de grandes áreas, cuya operación no sea dispendiosa, con capacidad de adaptación a diferentes configuraciones de los parámetros de operación, a un costo de operación inferior a los equipos automatizados, de sencilla calibración, reparación y mantenimiento, que sea eficiente energéticamente y que permita una recepción y adquisición de datos con buena resolución y de forma rápida y segura.

**Breve descripción de la invención**

La presente invención soluciona los problemas técnicos planteados anteriormente al proporcionar un equipo con un mecanismo descentralizado de prospección geoelectrónica de nodos reconfigurables.

5

El mecanismo comprende un mecanismo de comunicaciones, un módulo de transmisión de corriente, un nodo de adquisición y transmisión de datos y un módulo de control.

La selección del mecanismo de comunicaciones afecta la conformación y la selección de tecnologías para los demás módulos del mecanismo, esta presenta una topología tipo bus USB, con un protocolo industrial y un circuito puente.

10

El módulo de transmisión de corriente está normalmente comprendido por un módulo de comunicaciones, un transformador y rectificador, un controlador de nivel, un controlador del transmisor de corriente, un rectificador controlado monofásico y un sensor de corriente, opcionalmente un convertidor análogo-digital.

15

El nodo de adquisición y transmisión de datos comprende una unidad de transmisión, un microcontrolador central, una fuente de alimentación, un módulo de almacenamiento, un módulo de adquisición y un módulo de conmutación.

20

El módulo de control es una aplicación de software cuyas funciones son configurar, calibrar y operar el mecanismo.

25

**Breve descripción de figuras**

Las figuras que acompañan la descripción ilustran, a modo de ejemplo, realizaciones de la presente invención, no buscan ser limitantes de esta:

30

**La figura 1** presenta un esquema general del circuito controlador puente del mecanismo de comunicaciones.

**La figura 2** presenta una Implementación del circuito controlador de puente entre las interfaces CAN y USB.

**La figura 3** presenta el esquema general del transmisor de corriente.

35

**La figura 4** presenta formas de onda empleadas en prospección por resistividad, IP y SIP. Monopolar o Bipolar (a), Bipolar con estado en cero (b), Cuadrada variante en frecuencia (c), Sinusoidal (d) y Variante en frecuencia (e).

**La figura 5** presenta los diagramas de estados de los algoritmos empleados en la unidad de control. Izquierda: Cambio de nivel de amplitud, Derecha: Formación de ondas.

La figura 6 presenta el diagrama de flujo de la secuencia de procedimientos requeridos para la ejecución del modo de operación automático.

La figura 7 presenta una tabla de operación para cuatro unidades DAU

5

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención soluciona los problemas técnicos planteados anteriormente al proporcionar un mecanismo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables comprende un mecanismo de comunicaciones, un módulo de transmisión de corriente, un nodo de adquisición y transmisión de datos y un módulo de control.

10

El mecanismo de comunicaciones es una interfaz alámbrica CAN (siglas del inglés Controller Area Network) que posee cobertura de hasta 1600 metros, ancho de banda máximo de 1Mbps y es escalable hasta 127 o 255 elementos conectados a la red. La selección de la interfaz CAN, implica el diseño de un circuito controlador de puente (**Figura 1**), ya que, el módulo de control es una aplicación de software en un computador personal. Adicionalmente, el circuito requiere de una memoria temporal para almacenar conjuntos de datos para labores de calibración, configuración o extracción de datos a los nodos del mecanismo.

15

El desarrollo de las tareas de operación del circuito tiene en cuenta que la prioridad en la recepción de datos proviene del módulo de control; como se trata de un mecanismo distribuido, un bus USB presenta mayor prioridad para el circuito controlador, de esta forma, en el software del circuito se emplea una interrupción de alta prioridad para la atención a la llegada de datos provenientes del módulo de control. Las demás tareas ejecutadas son ordenadas empleando un patrón de encuesta. La aplicación de prospección no tiene restricciones temporales en los procedimientos de configuración y calibración, además la baja frecuencia de muestreo evita la presencia de latencias en la trasmisión y recepción de datos entre el módulo de control y los elementos de la red CAN. Cabe resaltar que el microcontrolador del circuito opera a una frecuencia interna de 16Mhz y la interfaz CAN está configurada a 500Kbps.

20

25

Algunos elementos de visualización luminosa son agregados con el objetivo de conocer el estado de operación del circuito y las interfaces CAN y USB, ver **Figura 2**.

30

Como opción para el mecanismo de comunicaciones se tienen los transceptores inalámbricos de radiofrecuencia con una cobertura de hasta 3200 metros y ancho de banda de 250Kbps.

35

Las características técnicas del módulo transmisor de corriente, ver **Figura 3**, se toman de los fabricantes de instrumentación para prospección por métodos eléctricos, donde el transmisor que es empleado en resistividad también puede ser empleado en prospección por IP. Los niveles de corriente máximos están entre 2 a 4 A. De hecho, un promedio muestra que la corriente máxima es de 3 A. De la misma forma, el voltaje de salida máximo de los transmisores esta entre 400 y 600 V. Un promedio a los datos en la tabla muestra un voltaje máximo de salida de 424 V.

Para el transmisor de corriente se seleccionó la generación de formas de onda cuadradas, ver **Figura 4** (a) y (b), debido a que la generación es simple, requiere de un número limitado de componentes y son ampliamente usadas en instrumentación, además, estas son empleadas en aplicaciones de prospección por IP. Para este tipo de ondas, tres factores son relevantes en la formación: la frecuencia, la amplitud y la forma de onda.

Tomando en consideración aspectos de eficiencia energética y formación de ondas cuadradas para resistividad e IP, se selecciona una combinación entre las topologías de rectificador controlado monofásico y un transformador con múltiples derivaciones secundarias. Con el rectificador monofásico se pueden controlar las variables de forma de onda y frecuencia de la señal de corriente, por otra parte, el transformador con derivaciones secundarias permite cambiar el nivel de amplitud de la señal de salida. Cabe resaltar que, este método de control del nivel de amplitud no permite cambios proporcionales y continuos, sin embargo, es empleado en algunos instrumentos y es una solución aceptable de control de amplitud. Un sensor de corriente es agregado al diseño, con el fin de obtener información de la corriente transmitida por la unidad, también, el sensor se usa para limitar la intensidad máxima de corriente transmitida y proteger el mecanismo.

El controlador de nivel es básicamente un multiplexor formado por conmutadores de potencia que permiten el paso de un nivel discreto de voltaje a la siguiente etapa cuando está habilitado. Por las características presentadas, los relevos de estado sólido son la mejor opción en la selección de los conmutadores para el multiplexor del controlador de nivel. Sin embargo, la resistencia de salida debe ser tomada en cuenta para evitar consumo de energía en el conmutador.

El rectificador controlado monofásico emplea la topología básica de un circuito puente H. En este, cuatro conmutadores son activados para generar las formas de onda cuadradas empleando el diagrama de estados presentado en la **Figura 5**.

La selección de los conmutadores está basada en los niveles de corriente y voltaje que requiere la carga. Entre las tecnologías disponibles para conmutadores se seleccionan

IGBTs por incluir las ventajas de control por voltaje, como los Mosfets. Además, estos dispositivos soportan altos niveles de corriente y voltaje, lo cual, los hace ampliamente usados en aplicaciones de potencia. Sin embargo, los IGBTs no pueden ser disparados directamente desde un circuito digital, y en configuración de puente H, hay voltajes flotantes para efectuar el control de los dispositivos, de esta forma, se requiere de un controlador de activación del IGBT. Cabe resaltar que el circuito de control de los IGBTs se diseñada para trabajar a media y alta frecuencia, por lo cual es necesario incluir capacitores de 330uF para mantener la habilitación de los IGBTs a baja frecuencia. De la misma forma, se requiere incluir una red snubber RC para cada IGBT, como protección de los semiconductores.

El sensor de corriente para el transmisor se selecciona de acuerdo a los requerimientos de corriente máxima. Inicialmente, en el diseño se plantea una corriente de 2A., sin embargo, este rango es extendido al igual que el de los compontes hasta 5A. Entre las diferentes tecnologías de sensado y componentes de medición de corriente, se selecciona un sensor con salida analógica y rangos de entrada entre  $\pm 5A$ . Este sensor emplea el principio de efecto Hall para realizar la medición, lo cual, brinda un aislamiento, de mínimo 2.1KV<sub>RMS</sub>, entre el circuito de medición y el circuito de potencia.

El controlador del transmisor de corriente es seleccionado para manejar los módulos de control de nivel y formación de ondas, mediante el rectificador controlado monofásico. A su vez, este módulo es el encargado del monitoreo del sensor de corriente y de la transmisión sobre la red CAN. Teniendo en cuenta las acondiciones anteriores se selecciona un microcontrolador que posea los puertos y periféricos requeridos para la aplicación requerida. El controlador es configurado a una frecuencia por instrucción de 16MHz, lo cual, permite configurar el bus CAN a la misma tasa de transmisión del circuito controlador puente. Una interrupción por puerto serial es agregada con objetivos de depuración, sin embargo, durante la operación del transmisor de corriente esta es deshabilitada.

Adicionalmente, se selecciona un conversor analógico-digital para el transmisor de corriente. Como los tiempos de muestreo de la aplicación son de baja frecuencia (<100Hz), se selecciona el mismo conversor empleado en el prototipo de monitoreo. El conversor tiene una resolución efectiva de 21 bits y puede ajustarse a los niveles de salida del sensor de corriente. Un circuito de acondicionamiento para el sensor es empleado para acoplar los dos componentes.

Se establece la necesidad de emplear tres fuentes de alimentación diferentes, una que alimente el circuito de control, otra que polarice el controlador del rectificador controlado y, por último, una fuente para los diferentes niveles de amplitud.

El nodo de adquisición y transmisión de datos depende de la topología distribuida configurable. Este esquema incluye un microcontrolador central, una fuente de alimentación, un módulo de almacenamiento, un módulo de adquisición y un módulo de conmutación. Un elemento opcional es un mecanismo de calibración.

El microcontrolador central del nodo es el encargado de habilitar las funciones de adquisición o permitir el paso de las señales del transmisor de corriente. Este configura el modo de operación del nodo por medio de los comandos recibidos por el módulo de comunicaciones. Se selecciona una FPGA como microcontrolador central, esta tecnología cuenta con la posibilidad de programar, entre el arreglo, un núcleo de procesador, descrito en un lenguaje de descripción de hardware. Este núcleo puede incluir los periféricos que se requieran para la aplicación. Además, la FPGA permite incluir hardware digital personalizado, así como cambiar el programa del núcleo procesador.

En el módulo de control se debería incluir el módulo de comunicaciones, sin embargo, al seleccionar un módulo de control sin periféricos de comunicaciones, es necesario seleccionar un componente que incluya un controlador de interfaz CAN y un transceptor de comunicaciones.

Las tareas que debe desarrollar el controlador del nodo incluyen la selección del modo de operación del nodo, la recepción de datos desde la interfaz CAN y la tarea de adquisición. La tarea de recepción del periférico CAN integra la decodificación de comandos provenientes del controlador del instrumento. Las tareas de adquisición y muestreo solo son ejecutadas en un nodo configurado como receptor activo.

Debido a que cada nodo va a trabajar sin la posibilidad de una fuente de alimentación disponible, la fuente de alimentación del nodo debe ser una batería. La batería debe tener una capacidad de al menos 600mAh. Las baterías de ion de litio, o de polímero de litio, son la mejor opción para aplicaciones móviles, no obstante, para brindar flexibilidad al mecanismo, se incluye un regulador de voltaje lineal Low Drop Out (LDO) para otras fuentes de alimentación externa, como baterías por ácido de plomo. El mecanismo presenta la posibilidad de conectar cualquiera de las dos tecnologías de baterías anteriores.

Cada nodo requiere de un módulo de almacenamiento para almacenar los datos de configuración inicial del mecanismo, así mismo, almacenar temporalmente los datos adquiridos durante la prueba de prospección. Un mecanismo de almacenamiento comprendido por una memoria volátil, de alta capacidad, y una memoria de estado sólido, de baja capacidad, pueden cumplir con esta característica para el nodo.

Para la adquisición de datos, provenientes del terreno, el módulo de adquisición debe adaptarse a la amplitud de la señal de entrada. Esta señal de medición depende de factores relacionados con el instrumento y el terreno como la distancia entre el transmisor y los receptores, la intensidad de corriente aplicada y la resistividad del suelo. Adicionalmente, este mecanismo debe incluir un mecanismo de ajuste de rangos a partir de un amplificador de ganancia variable (PGA), debido a que ocupa menos área y esta propenso a menores fallas y ruidos externos.

El módulo de conmutación es un multiplexor 4 a 1. Donde dos de las entradas corresponden a las terminales del transmisor de corriente y las restantes dos entradas corresponden a la referencia de adquisición y a la conexión con el mecanismo de adquisición del nodo. Se presentan dos tipos de relevos de estado sólido para los conmutadores y conmutadores de paso para los terminales del transmisor. Estos deben soportar una corriente superior a 2A. y un voltaje de hasta 400V. Por precaución, un disipador se agrega a cada relevo con el fin de protegerlo si la corriente supera los 2A.

Los conmutadores de paso de las referencias de medición y de medición directa, requieren soportar un voltaje de hasta 100 V, de esta forma, se seleccionan aquellos relevos de estado sólido que soporten una corriente de 1 A y hasta 100 V entre los terminales. La ventaja de estos componentes en la adecuación con la unidad de control es que no requieren de componentes externos, solo resistencias para controlar la corriente emitida desde el controlador del nodo.

Adicionalmente, se selecciona un relevo para el mecanismo de adquisición, encargado de las funciones de selector. Se emplea un relevo electromecánico DPDT diseñado para una vida útil de 100.000 conmutaciones en aplicaciones de instrumentación y bajo consumo de potencia, suficiente para la aplicación.

El módulo de control se encarga de las labores de configuración, calibración y operación del mecanismo, mediante una aplicación de software de control sobre un computador de campo. La selección de la aplicación de control implica una conexión, por medio del bus de campo, entre los módulos de transición de corriente, los nodos y el computador, así que, en función al mecanismo de comunicación seleccionado, es posible que se requiera de un circuito adicional de puente entre las interfaces del computador y las unidades externas.

El controlador del mecanismo debe incluir dos modos de operación; el primero, manual, con fines de prueba individual de cada elemento y de realizar pruebas de operación interna, comprobar conexión, configuración, calibración y operación individual a cada elemento

conectado a la red CAN. El segundo modo de operación, automático, está relacionado con la operación completa del mecanismo donde se realiza la prospección por resistividad en el equipo; en este modo se incluyen los parámetros de configuración, carga, sondeo de elementos conectados en la red, y operación de cada elemento.

5

En el modo manual, cada elemento que compone el mecanismo opera de forma independiente, de tal forma que, es posible asignar los parámetros de configuración e iniciar la operación independiente de la unidad de transmisión de corriente y de los nodos (unidades de adquisición DAU); de esta forma, el usuario prueba el funcionamiento de cada submecanismo con la ayuda de la aplicación de software. En este modo, la aplicación de software envía una serie de paquetes para configurar los parámetros de cada submecanismo y es posible iniciar la ejecución de cada elemento, de la misma forma, la aplicación puede adquirir los datos correspondientes a los valores actuales de configuración y los obtenidos por mediciones en campo.

10

Por otra parte, en el modo de operación automático, los submecanismos operan en conjunto a la aplicación de software para establecer de forma ordenada los datos de corriente y voltaje sobre un terreno bajo estudio. La operación del mecanismo en modo automático requiere la correcta interacción entre la unidad de transmisión de corriente (UTx), los nodos DAUs y la aplicación de software de control para establecer los parámetros de resistividad aparente a un medio bajo estudio. Para realizar la ejecución en modo automático se presenta una secuencia de procedimientos. La **Figura 6** representa el diagrama de flujo de la ejecución del modo de operación automático.

15

En el diagrama, la unidad de control adquiere los parámetros de configuración de la UTx y de los DAUs. Estos parámetros son extraídos del mecanismo de comunicación de usuario de configuración. Luego de activar el procedimiento de sondeo, la unidad de control envía un comando de reconocimiento global al controlador puente de la interfaz USB-CAN. A su vez, esta envía sobre la red CAN el comando de inicio de sondeo; el cual, establece las unidades conectadas al bus. Cada unidad, ya sea UTx o DAU, reconoce el comando de sondeo y envía un paquete a la unidad USB-CAN con la información de dirección ID sobre el bus. Para el procedimiento de reconocimiento o sondeo, la unidad USB-CAN destina un tiempo límite de un segundo, una vez superado este tiempo, la unidad USB-CAN reenvía las direcciones ID recolectadas a la aplicación de control del mecanismo.

25

30

35

Posteriormente, la aplicación de control organiza las direcciones ID de cada elemento conectado al bus y procede a generar unas tablas de configuración de las DAUs conectadas. Las tablas se generan o se importan, a partir del diseño de exploración seleccionado en el mecanismo de comunicación. Los métodos clásicos Wenner,

Schlumberger y dipolo-dipolo, monocanal, están disponibles desde la configuración del mecanismo de comunicaciones. Otros métodos, monocanal o multicanal, se pueden seleccionar mediante la importación de un archivo. El formato de importación de tablas es simple y puede ser escrito en un archivo de texto plano.

5

Las tablas de operación de las DAUs se emplean para reducir el tiempo y simplificar el procedimiento de reconfiguración de cada unidad, de esta forma, los cambios requeridos en el modo de operación de las DAUs, durante la exploración por resistividad, no requieren de la transmisión excesiva de paquetes entre la aplicación de control y cada DAU; así, se reduce latencia en el proceso de reconfiguración del mecanismo. Una serie de comandos básicos se envían desde la aplicación de control para realizan los cambios en los modos de operación de todas las unidades.

10

Las tablas se configuran para cada nodo DAU y son precargadas antes de iniciar el procedimiento de exploración, lo cual resuelven la latencia presente entre los procedimientos de adquisición del dato, la posterior reconfiguración y el reinicio de la exploración. La precarga de tablas de configuración, que luego se convierten en tablas de operación, es en realidad, una adaptación de las tablas de ruteo empleadas en routers, para redes de computadoras, y de las tablas *hash* en mecanismos distribuidos. Estas tablas son un conjunto de reglas y están orientadas para facilitar el envío y recepción de paquetes de datos en redes de computadores o dispositivos, de tal forma que, disminuyen el tiempo requerido para identificar el destino de cada paquete.

15

20

El procedimiento de envío de la tabla de configuración a un DAU se explica a continuación. Primero, la aplicación de control genera o importa la tabla de configuración, ver **Figura 7**. Luego se envían los datos, correspondientes a la tabla de configuración de un DAU, hacia la unidad USB-CAN. Posteriormente, la unidad USB-CAN transmite hasta 5 modos de operación en cada paquete enviado hacia la DAU particular, este procedimiento se repite hasta que la totalidad de los datos de operación han sido transmitidos y recibidos por la unidad DAU. Una vez, finaliza la recepción de la tabla de configuración por parte de la DAU, esta envía un comando de reconocimiento y aceptación. La aplicación de control realiza el mismo procedimiento con los DAUs restantes.

25

30

Cuando cada DAU tiene cargada una tabla de operación, las DAUs quedan configuradas con el primer modo de operación procedente de la tabla. A continuación, la aplicación de software de control envía un comando de calibración a las unidades conectadas al bus USB. Con este comando, la UTx inicia la transmisión de la forma de corriente configurada, de la misma forma, las DAUs configuradas como sensor activo inician el proceso de

35

calibración de ADC y ajustan la ganancia, las restantes DAUs inician operación en el modo respectivo.

5 La calibración del mecanismo se realiza para cada cambio en el patrón de electrodos, descrito por la tabla de operación; de esta forma, antes de iniciar cada medición, luego de la reconfiguración, el mecanismo desarrolla el procedimiento de ajuste a las DAU. Una vez finaliza la calibración, la operación de adquisición de datos inicia con un comando global. Con este comando, las unidades conectadas al bus inician la operación. La aplicación de control es la encargada de generar este comando de inicio. A su vez, la aplicación activa  
10 un temporizador interno encargado de calcular el tiempo real del intervalo de adquisición, cuando el temporizador expire, la aplicación envía el comando global de solicitud de la adquisición, así, las DAUs en modo sensor activo y la UTx envían los datos correspondientes al nivel de potencial y corriente, respectivamente.

15 Los datos adquiridos, por el mecanismo, son almacenados en la aplicación de control. Luego, la aplicación envía un comando global para desplazar el apuntador de la tabla de operación en cada DAU; así, Los DAUs seleccionan un nuevo modo de operación, proveniente del nuevo valor direccionado en la tabla de operación. Los DAUs quedan en modo inactivo hasta que un nuevo comando de calibración es enviado.

20 Luego de cada reconfiguración, la aplicación de control testea el límite total de configuraciones requeridas para la exploración  $T$ , si  $T$  no ha superado su límite, el mecanismo reinicia la operación de calibración y medición. Por otra parte, si  $T$  ya se encuentra en la última configuración de la exploración, la aplicación de control finaliza la  
25 exploración y procede a almacenar los datos adquiridos durante toda la exploración en un archivo de texto, para su posterior análisis. Cabe resaltar que, durante el bucle de temporización, adquisición y reconfiguración de las DAUs, el mecanismo incluye un procedimiento de sincronización. El método empleado para sincronizar las unidades se detalla a continuación.

30 Un factor relevante en la operación del mecanismo, incluye el proceso de sincronización. Este proceso evita mediciones erróneas de voltaje y corriente en las unidades de adquisición y transmisión de corriente. Las mediciones erróneas son producidas por desfases entre las operaciones de los módulos de trasmisión y recepción. Este mecanismo  
35 también puede ser empleado como disparador para los submecanismos del equipo y determina los datos a almacenar por la unidad de control, es decir, el controlador envía una serie de comandos, a cada submecanismo del instrumento, para garantizar una operación sincrónica de cada unidad.

Los métodos de sincronización del mecanismo dependen en mayor medida de la topología o arquitectura empleada por el instrumento, ya que, en algunos de estos mecanismos el procedimiento de sincronización es simple. Otros factores también afectan el proceso de sincronización así, el hardware y las tecnologías empleadas por el mecanismo alteran el método empleado para la ejecución de una sincronización del mecanismo.

Las operaciones de configuración, operación y calibración del mecanismo son procedimientos que se deben llevar a cabo antes de iniciar una prueba de prospección. La calibración de los nodos se debe efectuar antes de cada operación y ante cada cambio en el patrón de electrodos.

Las descripciones anteriores, de elementos y realizaciones específicas de la presente invención se han presentado con fines de ilustración y descripción. Estas no pretenden ser exhaustivas o limitar la invención a las formas precisas descritas en los ejemplos. Las modificaciones y variaciones son posibles a la luz de las enseñanzas anteriores. Las realizaciones se eligieron y describieron con el fin de explicar mejor los principios de la invención y su aplicación práctica, para permitir a otros expertos en la técnica utilizar mejor la invención y hacer modificaciones que sean adecuadas para un uso particular.

**REIVINDICACIONES**

1. Un equipo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables **caracterizado porque** comprende un módulo de transmisión de corriente para niveles de corriente máximos entre 2 a 4 Amperios (A) y voltajes de salida máximo de los transmisores entre 400 y 600 Voltios (V), que provee la energía a nodos reconfigurables de adquisición y transmisión de datos a los que están conectados y que comprenden una unidad de transmisión, un microcontrolador central, una fuente de alimentación, un módulo de almacenamiento, un módulo de adquisición y un módulo de conmutación concertados en circuito, comunicados entre ellos bidireccionalmente a través de un mecanismo de comunicaciones inalámbrico de radiofrecuencia y controlados por un módulo de control con modos de operación manual y automático.
2. Equipo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables de la reivindicación 1 **caracterizado porque** el mecanismo de comunicaciones es una interfaz alámbrica CAN (siglas del inglés Controller Area Network) con cobertura de hasta 1600 metros, ancho de banda máximo de 1Mbps y escalable hasta 127 o 255 elementos conectados a la red.
3. Equipo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables de la reivindicación 1 **caracterizado porque** el mecanismo de comunicaciones es un transceptor inalámbrico de radiofrecuencia con una cobertura de hasta 3200 metros y ancho de banda de 250Kbps.
4. Equipo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables de la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo de transmisión de corriente está comprendido por un módulo de comunicaciones, un transformador y rectificador, un controlador de nivel, un controlador del transmisor de corriente, un rectificador controlado monofásico y un sensor de corriente.
5. Equipo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables de la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo de transmisión de corriente comprende un conversor analógico-digital.
6. Equipo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables de la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo de almacenamiento del nodo de adquisición y transmisión de datos está comprendido por una memoria volátil, de alta capacidad, y una memoria de estado sólido, de baja capacidad.
7. Equipo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables de la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo de adquisición del nodo de adquisición y transmisión de datos incluye un amplificador de ganancia variable (PGA).
8. Equipo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables de la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo de conmutación del nodo de adquisición y transmisión de datos es un multiplexor 4 a 1, donde dos de las entradas corresponden a

las terminales del transmisor de corriente y las restantes dos entradas corresponden a la referencia de adquisición y a la conexión con el mecanismo de adquisición del nodo.

**RESUMEN**

La presente invención proporciona un equipo con un mecanismo descentralizado de prospección geoelectrica de nodos reconfigurables comprende una mecanismo de comunicaciones, un módulo de transmisión de corriente, un nodo de adquisición y 5 transmisión de datos y un módulo de control, que tiene aplicación en el campo técnico de la geofísica, en especial en la industria minera y petrolera, en la prospección o detección eléctrica o magnética de masas u objetos, además, de mapeos geológicos, exploraciones hidrológicas, localización e identificación de elementos y la caracterización de suelos para propósitos agrícolas o industriales.