

MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLORACIÓN A GRAN DISTANCIA DE EXCITACIÓN DE SUPERFICIE QUE UTILIZAN UN ARREGLO CON PUESTA A TIERRA PERSONALIZADO

5

ANTECEDENTES

El mundo depende de los hidrocarburos para resolver muchas de sus necesidades energéticas. Por consiguiente, los operadores de campos de petróleo se esfuerzan por producir y vender
10 hidrocarburos de la forma más eficaz posible. La mayoría del crudo que se obtiene fácilmente ya ha sido producido, por lo que se están desarrollando nuevas técnicas para extraer hidrocarburos que se encuentran menos accesibles. Una técnica tal es el drenaje gravitacional asistido con vapor («SAGD»,
15 por sus siglas en inglés) como se describe en la patente estadounidense 6,257,334, "*Steam-Assisted Gravity Drainage Heavy Oil Recovery Process*" (Proceso de recuperación de petróleo pesado de drenaje gravitacional asistido con vapor). El SAGD utiliza un par de pozos horizontales, espaciados
20 verticalmente de menos de aproximadamente 10 metros de separación.

En funcionamiento, el pozo superior se utiliza para inyectar vapor dentro de la formación. El vapor calienta al petróleo

pesado, aumentando así su movilidad. El petróleo tibio (y vapor condensado) drena dentro del pozo inferior y fluye hasta la superficie. Se utiliza una técnica de filtrado para mantener el pozo inferior completamente inmerso en líquido, «atrapando»
5 así el vapor en la formación. Si el nivel de líquido disminuye demasiado, el vapor fluye directamente desde pozo superior hasta el pozo inferior, reduciendo la eficacia del calentamiento e inhibiendo la producción del petróleo pesado. Dicho flujo directo (denominado «circuito corto») reduce en
10 gran medida el gradiente de presión que conduce al fluido hasta el pozo inferior.

Se puede reducir la vulnerabilidad del circuito corto manteniendo cuidadosamente el espaciamiento entre pozos, es
15 decir, realizando los pozos lo más paralelos posibles. (Los puntos donde el espaciamiento entre pozos es más pequeño que el promedio proporcionan resistencia más baja a los flujos del circuito corto). En ausencia de técnicas de perforación de precisión, se obliga a los perforadores a emplear
20 espaciamientos entre pozos más grandes que lo que sería deseable de otra manera, con el fin de reducir los efectos de las variaciones del espaciamiento entre pozos. También es importante la ubicación precisa de los pozos cercanos en otras aplicaciones, tal como la prevención contra colisiones, la

perforación de pozos de relleno, la ubicación de pozos de observación, la desgasificación del metano en capas de carbón y las intersecciones para el control de pozos.

5 Se han desarrollado soluciones de exploración a gran distancia electromagnéticas (EM) para detectar y medir directamente la distancia entre las tuberías de pozos cercanos a medida que comienza la perforación en este último pozo. Algunas técnicas de exploración a gran distancia EM de múltiples pozos no son
10 rentables ya que implican múltiples equipos para desplegar una o más herramientas con cable eléctrico en un pozo existente, mientras se implementa la adquisición de registros durante la perforación en el pozo nuevo que se está perforando. Mientras tanto, un ejemplo de técnica de exploración a gran distancia
15 EM de un solo pozo único (patente estadounidense n.º 7,812,610) depende de las mediciones del campo magnético absolutas para calcular la distancia, lo cual no genera resultados confiables debido a las variaciones de la corriente en la tubería objetivo.

20

Otra técnica de exploración a gran distancia EM, a la cual se hace referencia en la presente como exploración a gran distancia de excitación de superficie, utiliza una fuente de corriente ubicada en la superficie de la tierra y un pozo

objetivo. Específicamente, se proporciona corriente a partir de la fuente de corriente a una tubería de revestimiento metálica del pozo objetivo, que hace que el pozo objetivo emita campos EM a lo largo de su longitud. Los campos EM emitidos desde el pozo objetivo pueden utilizarse para guiar la perforación de un pozo nuevo cerca del pozo objetivo. Debido a la pérdida de corriente del pozo objetivo dentro de la formación circundante, la exploración a gran distancia de excitación de superficie puede producir campos EM débiles y poca relación de la señal con respecto al ruido (SNR, por sus siglas en inglés) para sensores en pozos profundos. Aumentar la cantidad de corriente inyectada en el pozo objetivo mejoraría la resistencia del campo EM y la SNR disponible para la exploración a gran distancia, pero dichos aumentos en la corriente no son siempre posibles para un suministro de energía dado y puede ser un riesgo para la seguridad de los trabajadores que se encuentran en la superficie terrestre.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

20

Por consiguiente, se describen en la presente métodos y sistemas de exploración a gran distancia de excitación de superficie que emplean un arreglo con puesta a tierra personalizado. En las figuras:

La FIGURA 1 es un diagrama esquemático de un escenario ilustrativo de exploración a gran distancia de excitación de superficie que involucra un arreglo con puesta a tierra personalizado.

5

La FIGURA 2A es un diagrama esquemático que muestra parte del escenario de exploración a gran distancia de excitación de superficie que incluye un primer arreglo con puesta a tierra personalizado.

10

La FIGURA 2B es una gráfica que representa la distribución de la corriente subterránea que se relaciona con el primer arreglo con puesta a tierra personalizado de la FIGURA 2A.

15 La FIGURA 3A es un diagrama esquemático que muestra parte del escenario de exploración a gran distancia de excitación de superficie que incluye un segundo arreglo con puesta a tierra personalizado.

20 La FIGURA 3B es una gráfica que representa la distribución de la corriente subterránea que se relaciona con el segundo arreglo con puesta a tierra personalizado de la FIGURA 3A.

La FIGURA 4A es un diagrama esquemático que muestra parte del

escenario de exploración a gran distancia de excitación de superficie que incluye un tercer arreglo con puesta a tierra personalizado.

- 5 La FIGURA 4B es una gráfica que representa la distribución de la corriente subterránea que se relaciona con el tercer arreglo con puesta a tierra personalizado de la FIGURA 4A.

La FIGURA 5 es una gráfica que muestra las curvas de
10 distribución de corriente normalizada en función de la profundidad medida para distintos arreglos con puesta a tierra personalizados.

La FIGURA 6 es un diagrama de flujo de un método ilustrativo
15 de exploración a gran distancia de excitación de superficie que involucra un arreglo con puesta a tierra personalizado.

No obstante, se debe entender que las modalidades específicas que se proporcionan en las figuras y en la descripción
20 detallada que sigue a continuación no limitan la descripción. Por el contrario, estas proporcionan el fundamento para que un experto en la técnica discierna las formas alternativas, equivalentes y otras modificaciones que se encuentran comprendidas dentro del alcance de las reivindicaciones

adjuntas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

5 Las modalidades descritas se refieren a métodos y sistemas de exploración a gran distancia de excitación de superficie que emplean un arreglo con puesta a tierra personalizado. La exposición de los arreglos con puesta a tierra personalizados en la presente está en relación con un arreglo con puesta a

10 tierra de base que implica estacar uno o más postes terrestres tradicionales en la superficie terrestre, donde cada poste terrestre tradicional tiene un radio de aproximadamente 1 centímetro, una longitud de aproximadamente 1 metro, y una conductividad de aproximadamente 10^6 S/m. Dado que se ha

15 determinado que este arreglo con puesta a tierra de base puede no proporcionar una impedancia lo suficiente baja (se probó que es de aproximadamente 10,61 ohm) para permitir operaciones de exploración a gran distancia de excitación de superficie, uno o más arreglos con puesta a tierra personalizados son

20 propuestos para remplazar o complementar un arreglo con puesta a tierra de base.

En algunas modalidades, un arreglo con puesta a tierra personalizado implica uno o más postes terrestres

personalizados que tienen una mayor longitud y/o un mayor radio con respecto a un poste terrestre tradicional. Además, un arreglo con puesta a tierra personalizado puede implicar un poste terrestre personalizado que tiene un despliegue más profundo y/o un mayor contacto con la tierra en relación con un poste terrestre tradicional. En modalidades diferentes, un agujero descubierto y/o agujero guía puede utilizarse para controlar la profundidad de despliegue de un poste terrestre personalizado y/o la cantidad de contacto entre un poste terrestre personalizado y la tierra. Otras opciones de arreglo con puesta a tierra personalizado implican el uso de una tubería de revestimiento de fondo del pozo o un ancla de equipo de perforación como un tipo de poste terrestre personalizado. En algunas modalidades, se seleccionan o combinan distintas opciones de arreglos con puesta a tierra personalizados hasta que se cumplen los criterios de impedancia y/o los criterios de desempeño de la exploración a gran distancia. Dichos criterios pueden variar, por ejemplo, dependiendo de la longitud de un pozo objetivo particular y/o las propiedades eléctricas (por ejemplo, resistividad, conductividad, permeabilidad) de la formación que rodea al pozo objetivo. Pueden utilizarse los resultados de pruebas anteriores, los resultados de pruebas en curso o circunstancias (por ejemplo, disponibilidad de los componentes, equipamiento o agujeros

descubiertos o tubería de revestimiento de fondo del pozo cercana) para seleccionar las opciones para un arreglo con puesta a tierra personalizado particular.

5 En al menos algunas modalidades, un método de ejemplo de exploración a gran distancia de excitación de superficie incluye instalar un arreglo con puesta a tierra personalizado para un suministro de energía ubicado en la superficie terrestre, donde el arreglo con puesta a tierra personalizado
10 cumple con los criterios de impedancia o los criterios de desempeño de exploración a gran distancia. El método incluye también transportar una salida de corriente eléctrica desde el suministro de energía a lo largo de un pozo objetivo con una tubería de revestimiento metálica. El método incluye también
15 detectar los campos electromagnéticos (EM) emitidos desde el pozo objetivo debido a la corriente eléctrica. El método incluye también el uso de la información sobre la distancia o dirección que se obtuvo de los campos EM detectados para guiar la perforación de un pozo nuevo en relación con el pozo
20 objetivo.

Mientras tanto, un ejemplo de sistema de excitación de superficie incluye un suministro de energía ubicado en la superficie terrestre y un arreglo con puesta a tierra

personalizado para el suministro de energía, donde el arreglo con puesta a tierra personalizado cumple con los criterios de impedancia o los criterios de desempeño de exploración a gran distancia. El sistema incluye también un pozo objetivo con una tubería de revestimiento metálica para transportar una salida de corriente eléctrica desde el suministro de energía a lo largo de su longitud. El sistema incluye también al menos un sensor para detectar los campos EM emitidos desde el pozo objetivo debido a la corriente eléctrica. El sistema incluye también una herramienta de perforación direccional para perforar un pozo nuevo en relación con el pozo objetivo de acuerdo con la información sobre la distancia y la dirección que se obtuvo de los campos EM detectados. En la presente se describen varias opciones de arreglos con puesta a tierra personalizados.

Los métodos y sistemas descritos de exploración a gran distancia de excitación de superficie que emplean un arreglo con puesta a tierra personalizado se entienden de mejor manera cuando se describen en un contexto de uso ilustrativo. La FIGURA 1 muestra un escenario ilustrativo de exploración a gran distancia de excitación de superficie que involucra un arreglo con puesta a tierra personalizado 48. En el escenario 10, se perfora un pozo nuevo 16 en relación con un pozo objetivo

44 que ya se perforó y entubó. El pozo objetivo 44 puede perforarse usando un ensamblaje de perforación 40 y equipos de perforación disponibles. El pozo nuevo 16 se perfora de la misma manera, pero con operaciones de exploración a gran
5 distancia de excitación de superficie para guiar la perforación del pozo nuevo 16 en relación con el pozo objetivo 44. Más específicamente, se perfora el pozo nuevo 16 usando un ensamblaje de perforación 12 que permite que una sarta de perforación 31 descienda para crear un pozo nuevo 16 que
10 penetra las formaciones 19 de la tierra 18. La sarta de perforación 31 se forma, por ejemplo, a partir de un conjunto modular de segmentos de sarta de perforación 32 y posiblemente de adaptadores 33. En el extremo inferior de la sarta de perforación 31, un ensamblaje de fondo de pozo (BHA, por sus
15 siglas en inglés) 34 con una barrena de perforación 35 remueve el material de la tierra 18. Para facilitar la remoción del material, la barrena de perforación 35 puede girar al encender la sarta de perforación 31 con el ensamblaje de perforación 12 y/o por medio del uso de un motor (por ejemplo, motor de lodo)
20 incluido con el BHA 34. Además, puede hacerse circular el fluido de perforación para mover los recortes del pozo nuevo 16. Por ejemplo, dicho fluido de perforación puede bombearse por la sarta de perforación 31, fuera de los orificios en la barrena de perforación 35 y de vuelta la superficie terrestre

a lo largo del espacio anular en el pozo nuevo 16.

El ensamblaje de fondo del pozo 34 incluye también uno o más collares de perforación 37 y una herramienta de adquisición de registros 36 con una o más unidades de sensores del campo EM 38 y/u otros sensores. En algunas modalidades, las unidades de sensores del campo EM 38 corresponden a múltiples bucles inductores orientados en direcciones diferentes. En el escenario de exploración a gran distancia de excitación de superficie 10, las unidades de sensores de campo EM 38 miden los campos EM 46 generados mediante una corriente eléctrica transportada mediante una tubería de revestimiento metálica en el pozo objetivo 44, donde la corriente eléctrica se proporciona al pozo objetivo 44 mediante un suministro de energía 42 en la superficie terrestre. La herramienta de adquisición de registros 36 también puede incluir elementos electrónicos para el almacenamiento de datos, las comunicaciones, etc. Las mediciones del campo EM y/u otras mediciones recopiladas a través de la herramienta de adquisición de registros 36 se trasladan hacia la superficie terrestre y/o se almacenan mediante la herramienta de adquisición de registros 36. En cualquier caso, las mediciones del campo EM puede procesarse (en el fondo del pozo o en la superficie terrestre) para determinar la información de la

distancia o dirección que puede utilizarse para guiar las operaciones de perforación direccionales que determinan la trayectoria del pozo nuevo 16. En al menos algunas modalidades, la información de la distancia o dirección determinada
5 corresponde a la distancia y dirección del BHA 34 (o un punto a lo largo del BHA 34) en relación con el pozo objetivo 44.

Para transportar las mediciones del campo EM u otros tipos de mediciones a la superficie terrestre, la herramienta de
10 adquisición de registros 36 puede utilizar una o más opciones de telemetría tal como la transmisión de pulsos a través del lodo, telemetría acústica, telemetría EM y/o telemetría por cable. En la superficie terrestre, una interfaz 14 recibe mediciones de la herramienta de adquisición de registros 36 y
15 transporta las mediciones a un sistema informático 20. En algunas modalidades, la interfaz de superficie 14 y/o el sistema informático 20 pueden realizar varias operaciones tales como la conversión de señales de un formato a otro, el almacenamiento de mediciones y/o el procesamiento de las
20 mediciones. Como ejemplo, en al menos algunas modalidades, el sistema informático 20 incluye una unidad de procesamiento 22 que determina la información de la distancia y/o dirección de las mediciones del campo EM como se describe en la presente, ejecutando software o instrucciones obtenidas a partir de un

medio legible por computadora no transitorio remoto o local
28. El sistema informático 20 puede incluir también un
dispositivo o dispositivos de entrada 26 (por ejemplo, un
teclado, mouse, tablero táctil, etc.) y un dispositivo o
5 dispositivos de salida 24 (por ejemplo, un monitor, impresora,
etc.). Dichos dispositivo/s de entrada 26 y/o dispositivo/s de
salida 24 proporcionan una interfaz de usuario que permite que
un operador interactúe con la herramienta de adquisición de
registros 36 y/o software ejecutado por la unidad de
10 procesamiento 22. Por ejemplo, el sistema informático 20 puede
permitir que un operador vea las mediciones recopiladas para
ver los resultados del procesamiento, para seleccionar las
opciones de suministro de energía, para seleccionar las
opciones de perforación direccionales y/o para realizar otras
15 tareas relacionadas con el escenario 10.

En el escenario 10, se representa un arreglo con puesta a
tierra personalizado 48 para el suministro de energía 42, donde
el arreglo con puesta a tierra personalizado 48 cumple con los
20 criterios de impedancia o los criterios de desempeño de la
exploración a gran distancia. El suministro de energía 42 puede
conectarse al arreglo con puesta a tierra personalizado 48
mediante el cable aislado 43. En al menos algunas modalidades,
el cable aislado 43 se extiende desde el suministro de energía

42 a una ubicación por debajo de la superficie terrestre para reducir el riesgo a los trabajadores que se encuentran en la superficie terrestre. Como se representa por medio de las líneas punteadas 50, al menos algo de la corriente eléctrica transportada a lo largo del pozo objetivo 44 se filtra dentro de la tierra 18 y vuelve al arreglo con puesta a tierra personalizado 48. Debido al filtrado de corriente dentro de la tierra 18, se atenúa la cantidad de corriente eléctrica que se transporta a lo largo del pozo objetivo 44 a lo largo de la longitud del pozo objetivo 44. Para mejorar la resistencia de los campos EM 46 emitidos por el pozo objetivo 44, se pueden aumentar los niveles de voltaje y/o de salida de corriente desde el suministro de energía 42 (quizás se necesita un suministro de energía con mayor capacidad). Sin embargo, dichos aumentos en los niveles de voltaje y/o de salida de corriente desde el suministro de energía 42 pueden elevar el riesgo de que los trabajadores sufran lesiones en la superficie terrestre, especialmente si los componentes del suministro de energía 42 o el arreglo con puesta a tierra personalizado 48 se encuentra expuesto a la superficie terrestre. En un escenario de exploración a gran distancia de excitación de superficie de ejemplo, el nivel de corriente es de 100 A y el nivel de voltaje se encuentra entre 40-50 V, lo que da como resultado un nivel de energía de 4-5 kW.

Por consiguiente, el arreglo con puesta a tierra personalizado 48 se basa en los criterios de impedancia y/o los criterios de desempeño de exploración a gran distancia que reducen el nivel de riesgo implicado mientras que permite operaciones de exploración a gran distancia a medida que el pozo nuevo 16 se extiende adicionalmente a lo largo con respecto al pozo objetivo 44. Según sea necesario, es posible realizar ajustes al arreglo con puesta a tierra personalizado 48 para reducir la impedancia en respuesta a una o más pruebas. Por ejemplo, la prueba puede medir una impedancia asociada con el arreglo con puesta a tierra personalizado 48 y/o una relación de la señal con respecto al ruido (SNR) de los campos EM 46 en algún punto a lo largo del pozo objetivo 44.

15

Existen varias opciones disponibles para el arreglo con puesta a tierra personalizado 48. La Figura 2A muestra parte de un escenario 10A de exploración a gran distancia de excitación de superficie que incluye un primer arreglo con puesta a tierra personalizado 48A. En el escenario 10A, el pozo objetivo 44 se representa como lleno con lodo de perforación de baja resistividad 45, y el primer arreglo con puesta a tierra personalizado 48A muestra que incluye una tubería de revestimiento de fondo del pozo 60 conectada al suministro de

20

energía 42 mediante un cable aislado 43. La tubería de revestimiento de fondo del pozo 60 puede corresponder a uno o más segmentos de tubería de revestimiento (cada segmento tiene comúnmente una longitud de aproximadamente 30 pies) en contacto con la tierra 18. En algunas modalidades, la tubería de revestimiento de fondo del pozo 60 se instala en respuesta a una prueba (por ejemplo, una prueba de impedancia o prueba SNR). Alternativamente, la tubería de revestimiento de fondo del pozo 60 puede estar disponible dado que otros pozos fueron perforados y entubados previamente. Cuando se encuentre disponible, una tubería de revestimiento de fondo del pozo 60 que está espaciada dentro de un intervalo predeterminado del pozo objetivo 44 puede utilizarse como un poste terrestre personalizado que complementa o reemplaza postes terrestres tradicionales. Una tubería de revestimiento de fondo del pozo 60 como en el escenario 10A de exploración a gran distancia de excitación de superficie puede también complementar o reemplazar las demás opciones de arreglo con puesta a tierra personalizado que se describen en la presente. La impedancia para un arreglo con puesta a tierra personalizado que implica una tubería de revestimiento de fondo del pozo 60 con $\sigma = 10^6 \text{S/m}$, $\mu_r = 100$, radio exterior = 0,1 metros, radio interior = 0,09 metros, y longitud = 30 metros, se ha estimado que es de aproximadamente 0,46 ohm.

La FIGURA 2B es una gráfica 70A que representa una distribución de corriente subterránea que se relaciona con el primer arreglo con puesta a tierra personalizado 48A. En la gráfica 70A, la intensidad de la corriente se representa usando valores de escala de grises, donde el blanco corresponde a la intensidad de corriente más baja y el negro corresponde a la intensidad de corriente más alta. Como se muestra en la gráfica 70A, las regiones de intensidad de corriente más alta en la tierra 18 se encuentran cerca del pozo objetivo 44 y de la tubería de revestimiento de fondo del pozo 60 que se utilizaron en el primer arreglo con puesta a tierra personalizado 48A.

La FIGURA 3A muestra parte de un escenario 10B de exploración a gran distancia de excitación de superficie que incluye un primer arreglo con puesta a tierra personalizado 48B. En el escenario 10B, el pozo objetivo 44 se representa nuevamente como lleno con el lodo de perforación 45. El segundo arreglo con puesta a tierra personalizado 48B muestra que incluye un poste terrestre de fondo del pozo 64 instalado en un agujero descubierto 62 en la tierra 18 y se conecta al suministro de energía 42 mediante un cable aislado 43. El agujero descubierto 62 puede ser un agujero nuevo perforado para instalar el poste terrestre de fondo del pozo 64 o un agujero disponible cerca del pozo objetivo 44. En algunas modalidades, se utiliza un

inserto o tubería de revestimiento de fibra de vidrio para mantener la integridad del agujero descubierto 62. Como opción, el poste terrestre de fondo del pozo 64 puede instalarse usando un agujero guía en vez del agujero descubierto 62 o además de este. El agujero descubierto 62 y/o agujero guía está espaciados dentro de un intervalo predeterminado del pozo objetivo 44. En algunas modalidades, el poste terrestre de fondo del pozo 64 corresponde a una parte expuesta de un cable con puesta a tierra (por ejemplo, se puede usar el cable aislado 43 cuando se expone el extremo del cable aislado 43). En otras modalidades, el poste terrestre de fondo del pozo 64 corresponde a un poste terrestre personalizado que tienen una mayor longitud y/o un mayor radio con respecto a un poste terrestre tradicional. Como ejemplo, el poste terrestre de fondo del pozo 64 puede tener una longitud de al menos 10 metros, donde la mayor parte del poste terrestre de fondo del pozo 64 se encuentra en contacto directo con la tierra 18 una vez que se completa la instalación. En algunas modalidades, el poste terrestre de fondo del pozo 64 se instala en respuesta a una prueba (por ejemplo, una prueba de impedancia o prueba SNR). Un poste terrestre de fondo del pozo 64 como en el escenario 10B de exploración a gran distancia de excitación de superficie puede complementar o remplazar los postes terrestres tradicionales y/u otros arreglos con puesta a tierra

personalizados que se describen en la presente. La impedancia para un arreglo con puesta a tierra personalizado que implica un poste terrestre de fondo del pozo (radio = 1 cm, longitud = 10 metros, y $\sigma = 10^6 \text{S/m}$) instalado en un agujero descubierto con una longitud de 20 metros, se ha estimado que es de aproximadamente 3,09 ohm.

La FIGURA 3B es una gráfica 70B que representa una distribución de corriente subterránea que se relaciona con el segundo arreglo con puesta a tierra personalizado 48B. En la gráfica 70B, la intensidad de la corriente se representa usando valores de escala de grises, donde el blanco corresponde a la intensidad de corriente más baja y el negro corresponde a la intensidad de corriente más alta. Como se muestra en la gráfica 70B, las regiones de intensidad de corriente más alta en la tierra 18 se encuentran cerca del pozo objetivo 44 y del poste terrestre de fondo del pozo 64 que se utilizaron en el segundo arreglo con puesta a tierra personalizado 48B. Como se observa en la gráfica 70B, la región de intensidad de corriente más alta que se asocia con el poste terrestre de fondo del pozo 64 se concentra en el fondo del pozo y no se extiende hasta la superficie terrestre, lo que da como resultado un entorno de trabajo más seguro en la superficie terrestre.

La FIGURA 4A muestra parte de un escenario 10C de exploración a gran distancia de excitación de superficie que incluye un tercer arreglo con puesta a tierra personalizado 48C. En el escenario 10C, el pozo objetivo 44 se representa nuevamente como lleno con el lodo de perforación 45. El tercer arreglo con puesta a tierra personalizado 48C muestra que incluye un poste terrestre alargado 66 que se extiende en la profundidad de la tierra 18. El poste terrestre alargado 66 se conecta al suministro de energía 42 por medio de un cable aislado 43. Para instalar el poste terrestre alargado 66 en la profundidad de la tierra 18 se puede utilizar un agujero guía. Adicionalmente o de manera alternativa, puede emplearse una herramienta o equipo de perforación especializado para empujar o martillar el poste terrestre alargado 66 hacia dentro de la tierra 18 de modo que una parte predeterminada del poste terrestre alargado 66 sea subterránea y esté en contacto con la tierra 18. El poste terrestre alargado 66 tiene una mayor longitud y quizás un mayor radio con respecto a un poste terrestre tradicional. Como ejemplo, el poste terrestre alargado 66 puede tener una longitud de al menos 30 metros, donde la mayor parte del poste terrestre alargado 66 se encuentra en contacto directo con la tierra 18 una vez que se completa la instalación. En algunas modalidades, el poste terrestre alargado 66 se instala en respuesta a una prueba (por ejemplo, una prueba de impedancia

o prueba SNR). Un poste terrestre alargado 66 como en el escenario 10C de exploración a gran distancia de excitación de superficie puede complementar o remplazar los postes terrestres tradicionales y/u otras opciones de arreglos con puesta a tierra personalizados que se describen en la presente. La impedancia para un arreglo con puesta a tierra personalizado que implica un poste terrestre alargado (radio = 1 cm, longitud = 30 metros, y $\sigma = 10^6 \text{S/m}$) donde la mayor parte del poste terrestre alargado se pone en contacto con la tierra, se ha estimado que es de aproximadamente 1,28 ohm.

La FIGURA 4B es una gráfica 70C que representa una distribución de corriente subterránea que se relaciona con el tercer arreglo con puesta a tierra personalizado 48C. En la gráfica 70C, la intensidad de la corriente se representa usando valores de escala de grises, donde el blanco corresponde a la intensidad de corriente más baja y el negro corresponde a la intensidad de corriente más alta. Como se muestra en la gráfica 70C, las regiones de intensidad de corriente más alta se encuentran cerca del pozo objetivo 44 y del poste terrestre alargado 66 que se utilizó en el tercer arreglo con puesta a tierra personalizado 48C. De modo no taxativo, puede preferirse el segundo arreglo con puesta a tierra personalizado 48B por sobre el primer arreglo con puesta a tierra personalizado 48A y el

tercer arreglo con puesta a tierra personalizado 48A, mientras el segundo arreglo con puesta a tierra personalizado 48B concentra la intensidad de corriente por debajo de la superficie terrestre, lo que da como resultado un entorno de trabajo más seguro en la superficie terrestre. Sin embargo, debe apreciarse que todos los arreglos con puesta a tierra personalizados 48A, 48B y 48C proporcionan una mejor seguridad con respecto al arreglo con puesta a tierra de base que se presenta. Otra opción de arreglo con puesta a tierra personalizado implica el uso de un ancla de equipo de perforación como un poste terrestre personalizado.

La FIGURA 5 es una gráfica 80 que muestra las curvas de distribución de corriente normalizada en función de la profundidad medida para distintos arreglos con puesta a tierra personalizados. Como se muestra en la gráfica 80, la atenuación de corriente a lo largo de un pozo objetivo para distintos arreglos con puesta a tierra personalizados es aproximadamente la misma.

20

La FIGURA 6 es un diagrama de flujo 200 de un método ilustrativo 200 de exploración a gran distancia de excitación de superficie que involucra un arreglo con puesta a tierra personalizado. Como se muestra, el método 200 incluye instalar un arreglo con

puesta a tierra personalizado para un suministro de energía ubicado en la superficie terrestre en el bloque 202. El arreglo con puesta a tierra personalizado se basa en los criterios de impedancia o los criterios de desempeño de exploración a gran distancia. Los criterios de impedancia o los criterios de desempeño de la exploración a gran distancia pueden estar basados en las operaciones de prueba para medir una impedancia con puesta a tierra o desempeño de exploración a gran distancia. Dichas operaciones de prueba se pueden llevar a cabo durante las operaciones de exploración a gran distancia o antes de las operaciones de exploración a gran distancia. Además, se puede utilizar la experiencia de proyectos anteriores de exploración a gran distancia de excitación de superficie y arreglos con puesta a tierra personalizados para guiar los proyectos nuevos. Asimismo, los registros nuevos o disponibles relacionados con las propiedades electromagnéticas de la tierra cercana a un pozo objetivo o pozo nuevo se pueden utilizar para seleccionar opciones para el arreglo con puesta a tierra personalizado. Según se desee, las opciones de arreglos con puesta a tierra personalizados se pueden combinar o ajustar (por ejemplo, se pueden utilizar un poste terrestre más grande o una instalación más profunda). Una vez que se completó la instalación del arreglo con puesta a tierra personalizado (o se ajusta en respuesta a una prueba según sea el caso), el

método 200 implica transportar una salida de corriente eléctrica desde el suministro de energía a lo largo de un pozo objetivo con una tubería de revestimiento metálica (bloque 204). En el bloque 206, se miden los campos EM emitidos desde el pozo objetivo debido a la corriente eléctrica. En el bloque 208, se utiliza la información sobre la distancia o dirección que se obtuvo de los campos EM medidos para guiar la perforación de un pozo nuevo en relación con el pozo objetivo.

10 Las modalidades descritas en la presente incluyen:

A: Un método de exploración a gran distancia de excitación de superficie que comprende instalar un arreglo con puesta a tierra personalizado para un suministro de energía ubicado en la superficie terrestre, donde el arreglo con puesta a tierra personalizado cumple con los criterios de impedancia o los criterios de desempeño de exploración a gran distancia. El método también comprende transportar una salida de corriente eléctrica desde el suministro de energía a lo largo de un pozo objetivo con una tubería de revestimiento metálica. El método comprende también detectar los campos EM emitidos desde el pozo objetivo debido a la corriente eléctrica. El método comprende también el uso de la información sobre la distancia o dirección que se obtuvo de los campos EM detectados para guiar la

perforación de un pozo nuevo en relación con el pozo objetivo.

B: Un sistema de exploración a gran distancia de excitación de superficie que comprende un suministro de energía ubicado en la superficie terrestre y un arreglo con puesta a tierra personalizado para el suministro de energía, donde el arreglo con puesta a tierra personalizado cumple con los criterios de impedancia o los criterios de desempeño de exploración a gran distancia. El sistema comprende también un pozo objetivo con una tubería de revestimiento metálica para transportar una salida de corriente eléctrica desde el suministro de energía a lo largo de su longitud. El sistema comprende también al menos un sensor para detectar los campos EM emitidos desde el pozo objetivo debido a la corriente eléctrica. El sistema comprende también una herramienta de perforación direccional para perforar un pozo nuevo en relación con el pozo objetivo de acuerdo con la información sobre la distancia y la dirección que se obtuvo de los campos EM detectados.

Cada una de las modalidades A y B puede tener uno o más de los siguientes elementos adicionales en cualquier combinación:
Elemento 1: donde instalar el arreglo con puesta a tierra personalizado comprende conectar el suministro de energía a una tubería de revestimiento metálica instalada en un pozo

separado del pozo objetivo y el pozo nuevo. Elemento 2: donde instalar el arreglo con puesta a tierra personalizado comprende conectar el suministro de energía a un poste terrestre desplegado completamente por debajo de la superficie terrestre.

5 Elemento 3: que comprende además perforar un agujero descubierto o usar un agujero descubierto disponible para desplegar el poste terrestre completamente por debajo de la superficie terrestre. Elemento 4: que comprende además perforar un agujero guía para desplegar el poste terrestre completamente

10 por debajo de la superficie terrestre. Elemento 5: donde instalar el arreglo con puesta a tierra personalizado comprende conectar el suministro de energía a un poste terrestre alargado con una longitud subterránea que excede un umbral predeterminado. Elemento 6: donde instalar el arreglo con

15 puesta a tierra personalizado comprende conectar el suministro de energía a un cable con puesta a tierra que tiene una parte aislada y una parte expuesta, y donde la parte expuesta se encuentra por debajo de la superficie terrestre. Elemento 7: que comprende además espaciar el arreglo con puesta a tierra

20 personalizado desde el pozo objetivo de acuerdo con criterios de distancia o intervalo predeterminados y extender un cable aislado entre el suministro de energía y una ubicación con puesta a tierra por debajo de la superficie terrestre. Elemento 8: que comprende además ajustar opciones de arreglos con puesta

a tierra personalizados hasta que una impedancia se encuentre por debajo de un umbral asociado con los criterios de impedancia. Elemento 9: que comprende además ajustar las opciones de arreglos con puesta a tierra personalizados hasta
5 que una relación de la señal con respecto al ruido (SNR) de exploración a gran distancia se encuentre por encima de un umbral que se asocia con criterios de desempeño de exploración a gran distancia.

- 10 Elemento 10: donde el arreglo con puesta a tierra personalizado comprende una tubería de revestimiento metálica instalada en un pozo separado del pozo objetivo y el pozo nuevo. Elemento 11: donde el arreglo con puesta a tierra personalizado comprende un poste terrestre desplegado completamente por
15 debajo de la superficie terrestre. Elemento 12: donde el poste terrestre se despliega completamente por debajo de la superficie terrestre usando un agujero descubierto. Elemento 13: donde el poste terrestre se despliega completamente por debajo de la superficie terrestre usando un agujero guía.
- 20 Elemento 14: donde el arreglo con puesta a tierra personalizado comprende un poste terrestre alargado con una longitud subterránea que excede un umbral predeterminado. Elemento 15: donde el arreglo con puesta a tierra personalizado comprende un cable con puesta a tierra con una parte aislada y una parte

expuesta, donde la parte expuesta se encuentra por debajo de la superficie terrestre. Elemento 16: donde el arreglo con puesta a tierra personalizado comprende un cable aislado que se extiende entre el suministro de energía y una ubicación por
5 debajo de la superficie terrestre. Elemento 17: donde el arreglo con puesta a tierra personalizado está espaciado del pozo objetivo de acuerdo con los criterios de distancia o intervalo predeterminados. Elemento 18: que comprende además una herramienta de adquisición para recopilar las mediciones
10 de las propiedades de la formación en uno o más puntos a lo largo del pozo objetivo, donde los criterios de impedancia se basan en las mediciones recopiladas.

Numerosas variaciones y modificaciones adicionales resultarán
15 evidentes para los expertos en la técnica una vez que se tenga en cuenta la descripción que antecede en su totalidad. Por ejemplo, las opciones de arreglos con puesta a tierra personalizados que se describen en la presente se pueden utilizar también para mejorar la seguridad o el rendimiento de
20 las operaciones de monitoreo de producción, operaciones de monitoreo de yacimientos, telemetría EM, y/u otras operaciones que implican un suministro de energía en la superficie terrestre. Se pretende que las siguientes reivindicaciones sean interpretadas como que incluyen todas las variaciones y

modificaciones cuando corresponda.