

G01V 3/100 P.- 46.613
File: 20-1499

SECCION TECNICA	
CLASIFICACION I. P. C.	
CLASE	G 01
SUBCLASE	R

28 DIC 1965



Memoria descriptiva

386865

para solicitar PATENTE DE INVENCION por 20 años

a nombre de SOCIÉTÉ DE PROSPECTION ELECTRIQUE SCHLUMBERGER

entidad / ~~de nacionalidad~~ francesa

con domicilio en 42 Rue Saint Dominique, París, Francia

por: "UN METODO Y UN APARATO PARA OBTENER INDICACIONES CARAC
TERISTICAS DE UNA FORMACION DE TIERRA ATRAVESADA POR
UN POZO DE SONDEO" (Clase Internacional G01V)



De conformidad con una modalidad ilustrativa de la presente invención, se dan a conocer métodos y aparatos para medir la conductividad y heterogeneidad promedio de las formaciones que rodean un pozo de sondeo. Para lograr ésto, ciertos componentes de fase de la señal eléctrica producida mediante una herramienta de registro de inducción, se miden y se combinan de acuerdo con las relaciones matemáticas determinadas para producir indicaciones de la conductividad y heterogeneidad promedio de una formación. Además, las indicaciones de conductividad y heterogeneidad promedio pueden a su vez combinarse para proporcionar indicaciones de la conductividad de las regiones radiales diferentes de la formación que se está investigando. Asimismo, para medir estos componentes de fase, se da a conocer una técnica para eliminar el acoplamiento mutuo entre las bobinas del transmisor y del receptor de una herramienta de registro de inducción. En esta técnica, la bobina (bobinas) del transmisor, se excitan a dos frecuencias diferentes y el componente de acoplamiento mutuo del voltaje inducido en la bobina (bobinas) del receptor a la frecuencia menor se usa para cancelar el componente de acoplamiento mutuo a la frecuencia más elevada.

Los componentes de fase usados para fines de cálculo se miden luego a la frecuencia más elevada.

Esta invención se relaciona con métodos y aparatos eléctricos para investigar las formaciones terrestres de subsuperficie atravesadas por un pozo de son-

386865

28 JUL 1970



deo y, particularmente con las técnicas de registro de inducción.

Las investigaciones de registro de inducción de un pozo de sondeo perforado en la tierra, se hacen moviendo un sistema de bobina apropiado a través del pozo de sondeo. Dicho sistema de bobina, comúnmente incluye una o más bobinas del transmisor y una o más bobinas del receptor estando las bobinas montadas en un miembro de soporte apropiado en una relación espacial fija una con respecto a la otra. La bobina del transmisor o las bobinas del transmisor se energizan con una corriente alterna para inducir un flujo de corriente secundaria en el material de la formación adyacente. El campo electromagnético resulta de este flujo de corriente secundaria e induce una señal de voltaje en la bobina o bobinas del receptor. Esta señal de voltaje varía de acuerdo con el valor de conductividad del material de la formación. En los sistemas de registro de inducción usados en la actualidad, sólo aquella porción del voltaje del receptor que está en fase con la corriente del transmisor se mide a fin de proporcionar una indicación de la conductividad de la formación.

Los sistemas de registro de inducción de este tipo se discuten en mayor detalle en un documento técnico de H. G. Doll denominado "Introducción al Registro de Inducción y Aplicación al Registro de Puntos Perforados con Lodo a Base de Petróleo" que apareció en el número de junio de 1.949, del Diario de Tecnología de Petróleo. Como se discute en este documento técnico, si se toman las precauciones apropiadas, entonces la señal



de salida del sistema de bobinas es directa y linealmente
proporcional a la conductividad eléctrica del material de
la formación a través de la mayoría de la escala de los
valores de conductividad de la formación que se encuentran
5 usualmente.

Sin embargo, ciertos efectos no lineales,
bajo las condiciones apropiadas, pueden hacerse de una
magnitud suficiente como para afectar perceptiblemente
la señal de salida del sistema de bobinas y ocasionar que
10 dicha señal varíe de una manera no lineal con respecto a
los valores de la conductividad de la formación. Estos
efectos no lineales se ocasionan mediante el fenómeno eléc-
trico llamado "efecto Kelvin o superficial". La magnitud
de este fenómeno de efecto superficial, aumenta a medida
15 que aumenta la frecuencia de funcionamiento del sistema
de bobinas. Es este el mismo tipo de fenómeno que se ha
encontrado anteriormente en el funcionamiento a alta fre-
cuencia de otros tipos de circuitos y dispositivos eléc-
tricos.

Se han propuesto varias técnicas en el pa-
sado para corregir las medidas de conductividad hechas
por los sistemas de registro de inducción para esta no li-
nealidad de efecto superficial. En uno de dichos sistemas,
un circuito formador de funciones corrige la señal de
25 conductividad aparente derivada de la herramienta de re-
gistro de inducción, de acuerdo con una función predeter-
minada. Un sistema de este tipo puede encontrarse en la
patente Norteamericana Número 3,226,663, concedida a
W. P. Schneider el 28 de Diciembre de 1.965. En otro sis-
30 tema, el componente de la cuadratura de fase de la señal

386865

28613



inducida en la bobina del receptor se añade al componente de señal en fase usual, para producir una señal de conductividad corregida para el efecto superficial. Este sistema, depende del principio de que la señal de formación de cuadratura de fase es aproximadamente igual al componente de efecto superficial de la señal de formación en fase a través de una escala determinada de valores de conductividad y de frecuencia. Un sistema de este tipo se encuentra en la patente Norteamericana Número 3,147,429, concedida a James H. Moran el primero de Septiembre de 1.964.

Siempre y cuando la frecuencia de funcionamiento del sistema y la conductividad de la formación adyacente no sean demasiado grandes, estos sistemas del arte anterior, proporcionarán medidas extremadamente precisas de la conductividad de la formación para prácticamente todas las condiciones de la formación. Sin embargo, cuando el resultado de la frecuencia y conductividad de la formación se convierte en demasiado grande, se hace difícil obtener una medida precisa de la conductividad de la formación, debido al efecto superficial muy significativo. Además, si la formación investigada es heterogénea y el resultado de la frecuencia y de la conductividad es al mismo tiempo grande, se complican los problemas para obtener una medida precisa de la conductividad de la formación.

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar métodos y aparatos de registro de inducción nuevos y mejorados que permitan una medida precisa de la conductividad de la formación, bajo prácticamente todas las condiciones de la formación y para



una escala considerable de frecuencias de funcionamiento.

La mayoría de las formaciones investigadas mediante el dispositivo de registro de inducción están constituidas de una pluralidad de regiones que tienen con

5 ductividades diferentes. Dichas formaciones son llamadas heterogéneas en contraste con una formación que tiene solamente un valor de conductividad, a la cual se hace referencia como una formación homogénea. Puesto que cualquier dispositivo de registro de inducción sencillo, que

10 se usa en la actualidad produce sólo una señal de salida representativa de la conductividad de la formación, en cuanto se refiere a esta señal, Puede sólo suponerse que toda la región de la formación investigada mediante el dispositivo de registro de inducción, es homogénea.

15 La heterogeneidad de las formaciones puede determinarse hasta cierto grado utilizando una pluralidad de dispositivos de investigación diferentes que investigan las regiones de formación radiales diferentes. Uno de dichos sistemas se muestra en la patente Norteamericana Número 3,329,889 concedida a D. R. Tanguy el 4

20 de Julio de 1.967. Además, los efectos de los lechos de la formación adyacentes al lecho específico que se está investigando, en los valores de conductividad medidos, puede compensarse hasta cierto grado mediante las técnicas de cálculo tales como aquella que se muestra en la

25 patente Norteamericana Número 3,166,709 concedida a H. G. Doll el 19 de Enero de 1.965. En este sistema de Doll, las medidas de conductividad hechas a través de un intervalo de formación vertical determinado se memorizan

30 y las medidas memorizadas se combinan de manera tal que

386865

28-10



el efecto de las regiones de la formación verticales que no sean la región que se está tomando en cuenta se ignoran prácticamente.

5 Aún cuando estas técnicas del arte anterior han demostrado ser satisfactorias en el pasado para medir y/o compensar por la heterogeneidad de la formación bajo la mayoría de las condiciones de la formación, sin embargo sería deseable proporcionar una medida más precisa de la heterogeneidad de la formación. Adicionalmente sería
10 deseable lograr esto sin usar más de un dispositivo medidor y sin requerir sistemas de memoria y de cálculo complicados.

 Por lo tanto, otro objeto de la presente invención es proporcionar métodos y aparatos de registro de inducción nuevos y mejorados para medir la heterogeneidad
15 de la formación.

 Un objeto adicional de la presente invención es producir indicaciones múltiples características de una formación terrestre, a partir de una señal inducida en un aparato de registro de inducción, por lo menos una de las
20 cuales es la conductividad.

 De conformidad con la presente invención, se establece un campo electromagnético y se induce una señal que tiene una amplitud y fase con relación a una
25 referencia que depende de la conductividad y heterogeneidad de la formación terrestre. Se producen señales desde donde pueden derivarse tanto la amplitud como las relaciones en fase de la señal inducida, se combinan datos representativos de las señales producidas, para efectuar
30 una transformación de los datos y se obtienen dos o más



indicaciones características de la formación terrestre por lo menos siendo una de las indicaciones la conductividad de la formación. La segunda indicación puede ser la heterogeneidad de la formación o puede obtenerse otra
5 indicación de conductividad, dependiendo de la heterogeneidad de la formación.

Para una mejor comprensión de la presente invención, junto con otros objetos, así como objetos adicionales de la misma, debe hacerse referencia a la siguiente descripción que se toma junto con los dibujos que se acompañan, señalándose el alcance de la invención en las cláusulas anexas.

Haciendo referencia a los dibujos:

La FIGURA 1 ilustra de una manera parcialmente esquemática, una modalidad representativa del aparato construido de conformidad con la presente invención;

Las FIGURAS 2 y 3 son trazos de los componentes en fase y de cuadratura de fase del voltaje inducido en la bobina del receptor de un sistema de registro de inducción para varios valores de conductividad en una formación homogénea.

La FIGURA 3A es un trazo de ciertos parámetros calculados como una función de la conductividad en fase y de cuadratura de fase;

La FIGURA 4 muestra la sección calculadora del aparato de la FIGURA 1, en mayor detalle;

La FIGURA 5 ilustra un diagrama de flujo que podría usarse para programar una computadora digital para fines generales a fin de calcular ciertos parámetros de la formación;

386865

28 LIC. 48



Las FIGURAS 6 y 7 muestran una herramienta en un pozo de sondeo junto con representaciones de la respuesta de una herramienta, a una formación para varios parámetros calculados que se producen mediante el aparato de la FIGURA 1, de conformidad con la presente invención;

La FIGURA 8 muestra ejemplos típicos de formaciones terrestres, junto con una representación lado a lado de los registros de los parámetros calculados por el aparato de la presente invención, para cada una de estas formaciones terrestres típicas;

Las FIGURAS 9 y 10 muestran trazos de la respuesta relativa, versus la distancia radial desde un pozo de sondeo para ciertos parámetros calculados que se obtienen de acuerdo con la presente invención para fines de explicar otras particularidades de la presente invención;

La FIGURA 11 es una representación del aparato construido para llevar a la práctica las técnicas ilustradas en las FIGURAS 9 y 10.

Haciendo referencia a la figura 1 de los dibujos, se muestra una modalidad representativa de un aparato de registro de inducción construido de conformidad con la presente invención para investigar formaciones terrestres 10 atravesadas por un pozo de sondeo 11. El pozo de sondeo 11, usualmente se llena con un líquido o lodo de perforación 12. Las porciones del fondo del pozo del aparato de registro de inducción, incluyen un sistema de bobinas 13, adaptado para moverse a través del pozo de sondeo 11. El aparato que se introduce en el fondo del pozo incluye también un alojamiento para un instrumento

386865



hermético al fluido 14, fijado mecánicamente en el extremo superior del sistema de bobinas 13, para contener los circuitos eléctricos que hacen funcionar el sistema de bobinas 13. El alojamiento del instrumento 14, a su vez se suspende desde la superficie de la tierra, mediante un cable de conductores múltiples blindado 15. Un mecanismo de tambor y malacate apropiado (no ilustrado) se coloca en la superficie de la tierra para levantar y bajar el aparato de investigación del fondo del pozo a través del pozo de sondeo. Colocado asimismo en la superficie de la tierra hay un abastecimiento de energía (no ilustrado) para suministrar energía eléctrica a través del cable 15 hacia el equipo del fondo del pozo.

El sistema de bobinas 13 incluye una bobina del transmisor T y una bobina del receptor R. Ambas de estas bobinas se enrollan alrededor de un miembro de soporte no magnético no conductor 16, de manera que sus ejes centrales quedan alineados uno con el otro y por lo general paralelos al eje longitudinal del pozo de sondeo 11. Los puntos intermedios longitudinales de esta bobina se separan mediante una distancia "L".

Dentro del alojamiento hermético al fluido 14 hay un generador de señales 18 que suministra corriente alterna I a la bobina del transmisor T. El flujo de esta corriente alterna I en la bobina del transmisor T sirve para inducir una señal de voltaje en la formación del receptor R que depende de las características eléctricas del material de la formación adyacente. Además del componente de voltaje, que depende de la formación, se induce también en la bobina del receptor R un compo-

386865

28 JUL 1970



nente de voltaje adicional que resulta del acoplamiento de flujo directo entre las bobinas del transmisor y del receptor. Consecuentemente, el aparato de la Figura 1 incluye medios para cancelar el componente de voltaje de la bobina del receptor que resulta de este acoplamiento mutuo directo entre las bobinas del transmisor y del receptor. Consecuentemente, el aparato de la Figura 1 incluye medios para cancelar el componente de voltaje de la bobina del receptor que resulta de este acoplamiento mutuo directo entre las bobinas del transmisor y del receptor. Este medio incluye un transformador 19 que tiene un enrollamiento primario 20 conectado en serie en la trayectoria de corriente de energización del transmisor y un enrollamiento secundario 21, conectado en serie con la bobina del receptor R. El transformador 19 se conecta de manera que el voltaje inducido en el enrollamiento secundario 21 sea de polaridad opuesta al componente de voltaje de acoplamiento directo inducido en la bobina del receptor R. La relación de vueltas para el transformador 19 se selecciona de manera que este voltaje del enrollamiento secundario sea igual en magnitud al componente de voltaje de acoplamiento directo de la bobina del receptor R. Cualquier ajuste necesario del transformador 21, se hace convenientemente con el aparato para el fondo del pozo suspendido en el aire en la superficie de la tierra y removido de cualesquiera de los cuerpos magnéticos conductores significativos próximos. De esta manera, la señal de voltaje aplicado al amplificador 22 será representativa de sólo el voltaje inducido en la bobina del receptor R que resulta del flujo de las corrientes parási-

386865

280



tas en la formación 10.

El aparato para el fondo del pozo de la Figura 1, incluye un amplificador 22 que recibe el voltaje desde la bobina del receptor R y el enrollamiento secundario 21. El aparato para el fondo del pozo incluye asimismo un primer detector sensible a la fase 23 para desarrollar una señal de salida unidireccional proporcional a aquel componente de la señal de voltaje desde el amplificador 22 que está en fase con la corriente transmitida I. Para desarrollar esta señal de salida, se aplica una señal de referencia de fase desarrollada a través de una resistencia 24 en la trayectoria de corriente del transmisor al detector sensible en fase 23 para este fin. El aparato de la Figura 1 incluye asimismo un segundo detector sensible en fase 25 para producir una señal de salida unidireccional que es proporcional a aquel componente de la señal de voltaje desde el amplificador 22 que está en cuadratura de fase con la corriente del transmisor I. Para lograr ésto, el detector sensible en fase 25 deriva una señal de referencia en fase desarrollada a través del inductor 26. Los voltajes componentes en fase y de cuadratura de fase, designados V_p y V_x , producidos respectivamente mediante los detectores sensibles en fase 23 y 25, se aplican a un circuito amplificador de salida e impulsor de cable apropiado 27 para transmitirse hacia la superficie a través de los conductores en el cable de conductores múltiples 15.

Relacionado ahora con el funcionamiento de las porciones del fondo del pozo del aparato de la Figura 1, el generador de señales 18 energiza la bobina del

386865

26



transmisor T, a una frecuencia constante. El flujo de la corriente en los enrollamientos de la bobina del transmisor T produce un campo de flujo electromagnético alterno en las regiones que rodean la bobina del transmisor y que se extienden a distancia considerable hacia el material de la formación adyacente. Este campo de flujo alterno a su vez, sirve para inducir un flujo de corriente secundaria en el material de la formación. Esta corriente secundaria, por lo general fluye alrededor del miembro de soporte 13 en circuitos circulares que son coaxiales con el eje central de la bobina del transmisor T y por lo tanto generalmente coaxiales con el eje central del pozo de sondeo 11. La magnitud de este flujo de la corriente secundaria depende de la impedancia eléctrica efectiva del material de la formación adyacente. Este flujo de corriente, por lo general contiene componentes tanto resistivos como reactivos.

El flujo de la corriente secundaria en el material de la formación adyacente, produce un campo electromagnético acompañante que se enlaza con la bobina del receptor R y sirve para inducir, en la bobina del receptor, un componente de voltaje, correspondiente, que depende de características eléctricas del material de la formación adyacente. Se induce también en la bobina del receptor R un segundo componente de voltaje ocasionado mediante el acoplamiento de flujo directo entre las bobinas del transmisor y del receptor. Este acoplamiento directo en el componente de voltaje, no depende de las propiedades de conducción del material de la formación adyacente y consecuentemente permanece casi constante a través de



la investigación de las formaciones que rodean el pozo de sondeo 11. En la configuración de la Figura 1, este componente mutuo se cancela mediante el transformador 19.

De la teoría del campo electromagnético y, en particular de la teoría relacionada con los dipolos magnéticos puede demostrarse, para un par de bobinas coaxiales colocadas en un medio isotrópico homogéneo, y separadas mediante una distancia mayor que las dimensiones de la bobina, que la relación del voltaje de bobina del receptor V con respecto a la corriente de la bobina del transmisor, puede expresarse como:

$$V = \frac{-j\omega\mu A_t A_r}{2\pi L^3} (1 - j\gamma L) e^{j\gamma L} \quad (1)$$

15

en donde

μ es la permeabilidad del medio,

ω es la frecuencia pulsatoria ($2\pi f$ en donde f es la frecuencia) de la corriente del transmisor,

20

A_t es el resultado del área de sección transversal por el número de vueltas de la bobina para la bobina del transmisor,

A_r es el resultado del área de sección transversal por el número de vueltas de la bobina para la bobina del receptor,

25

L es la separación entre los centros de la bobina, y

γ es la constante de propagación del medio que rodea las bobinas.

30

386865

28



Cuando el medio circundante es de una naturaleza conductora, como en el caso presente, la constante de propagación puede describirse mediante la relación:

5
$$\gamma = \sqrt{j\omega\sigma\mu} \quad (2)$$

en donde σ es la conductividad eléctrica del medio adyacente. La Ecuación (2) puede volverse a escribir como:

10
$$\gamma = \frac{1 + j1}{\delta} \quad (3)$$

en donde δ es la profundidad superficial del medio que se está investigando. La profundidad superficial δ representa la profundidad de penetración efectiva del campo electromagnético y se define como:

15

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu}} \quad (4)$$

- 20 Expandingo la Ecuación (1) por medio de una serie de potencias y substituyendo el valor de γ proporcionado por la ecuación (3) da por resultado la expresión:

25
$$V = \frac{-j\omega\mu IA_t Ar}{2\pi L^3} \left[1 + j \left(\frac{L}{\delta}\right)^2 - 2(1+j) \frac{L}{\delta} \right]^3$$

30

386865

28



$$\left. + \frac{1}{2} \left(\frac{I}{\delta} \right)^4 - \frac{2}{15} (1 - j) \left(\frac{I}{\delta} \right)^5 + \dots \right] \quad (5)$$

5

Se verá que la ecuación (5) contiene términos tanto reales como imaginarios. Consecuentemente, la ecuación (5) está en la forma de:

10

$$V = V_r + jV_x \quad (6)$$

15

V_r representa los términos reales de la ecuación (5) y por lo tanto representa los componentes de voltaje de la bobina del receptor en fase con la corriente de energización I de la bobina del transmisor. Estos componentes en fase resultan del componente resistivo de la impedancia de la formación. V_x corresponde a los términos imaginarios de la ecuación (5) y representa los componentes de voltaje inducidos en la bobina del receptor R , que están en cuadratura de fase con la corriente I de la bobina del transmisor. Estos componentes en fase de cuadratura resultan tanto del acoplamiento de flujo directo de las bobinas del transmisor y del receptor, como del componente reactivo de la impedancia de la formación.

20

25

Recogiendo los términos reales de la ecuación (5) se verá que:

30

386865

28010.52



5

$$V_r = \frac{\sigma \omega 2 \mu^2 I A_t A_r}{4 \gamma L} \left[1 - \frac{2}{3} \left(\frac{L}{\delta} \right) + \frac{2}{15} \left(\frac{L}{\delta} \right)^3 - \dots \right] \quad (7)$$

La relación para el voltaje resistivo o en fase se proporcionado mediante la ecuación (7) está en la forma de:

10

$$V_r = V_g - V_s \quad (8)$$

en donde

15

$$V_g = \frac{\sigma \omega 2 \mu^2 I A_t A_r}{4 \gamma L} \quad (9)$$

20

$$V_s = V_g \left[\frac{2}{3} \left(\frac{L}{\delta} \right) - \frac{2}{15} \left(\frac{L}{\delta} \right)^3 + \dots \right] \quad (10)$$

25

El término V_g proporcionado mediante la ecuación (9) representa la señal llamada "factor geométrico" que se predice mediante la teoría lineal dada a conocer en el documento técnico anteriormente mencionado por H. G. Doll. Como se indica mediante la ecuación (9) la única variable es el factor de conductividad de la formación σ . De esta manera, esta señal de factor

30



geométrico V_g es directa y linealmente proporcional a la conductividad σ del material de la formación adyacente.

Los términos restantes de la ecuación (7) representan componentes en fase no lineales y se representan mediante el símbolo V_g proporcionados mediante la ecuación (10). Puede verse de la ecuación (7) que este término de efecto superficial desmerece de la señal V_r total de una manera no lineal con relación al valor de la conductividad de la formación.

Tomando ahora en cuenta el componente de fase en cuadratura o reactivo de la señal total de la ecuación (5), estos componentes se representan mediante los términos imaginarios de la ecuación (7). Recogiendo estos términos imaginarios se proporcionan:

$$V_x = \frac{\omega \mu I A_t A_r}{2 \pi L^3} \left[-1 + \frac{2}{3} \left(\frac{L}{\delta} \right)^3 - \frac{1}{2} \left(\frac{L}{\delta} \right)^4 + \frac{2}{15} \left(\frac{L}{\delta} \right)^5 - \dots \right] \quad (11)$$

La ecuación (11) está en la forma de:

$$V_x = V_m + V_x', \quad (12)$$

en donde,

$$V_m = \frac{\omega \mu I A_t A_r}{2 \pi L^3} \quad (13)$$

386865

28 DIC 1944



$$V_{x'} = \frac{\omega \mu I A_t A_r}{2 \pi L^3} \left[\frac{2}{3} \left(\frac{L}{\delta} \right)^3 - \frac{1}{2} \left(\frac{L}{\delta} \right)^4 + \frac{2}{15} \left(\frac{L}{\delta} \right)^5 - \dots \right] \quad (14)$$

5

El término V_m representa el componente de voltaje que resulta del acoplamiento de flujo directo entre las bobinas del transmisor y del receptor, tal y como se indica mediante la ecuación (13) no dependiendo de la conductividad del material de la formación adyacente. En el aparato de la Figura 1, este componente de acoplamiento directo V_m se cancela a través de la acción del transformador 19 y no necesita considerarse adicionalmente.

10

15

El término $V_{x'}$, de la ecuación (12) representa el componente de cuadratura que resulta del componente reactivo del flujo de la corriente secundaria en el material de la formación adyacente. Como se indica mediante los factores δ de la ecuación (14), su magnitud depende de la conductividad del material de la formación.

20

Combinando las ecuaciones (7) y (14) el voltaje del receptor V_x , después de que se cancela el componente mutuo V_m , es:

25

$$V = V_r + jV_{x'} = \frac{\sigma \omega^2 \mu^2 I A_t A_r}{4 \pi L} \left(1 - \frac{2}{3} \left(\frac{L}{\delta} \right) - \frac{2}{15} \left(\frac{L}{\delta} \right)^3 + \dots \right)$$

30



$$+ j \left[\frac{\omega \mu I A_t A_r}{2 \pi L^3} \left(\frac{2}{3} \left(\frac{L}{\delta} \right)^3 - \frac{1}{2} \left(\frac{L}{\delta} \right)^4 + \frac{2}{15} \left(\frac{L}{\delta} \right)^5 - \dots \right) \right] \quad (15)$$

5

Volviendo ahora a la Figura 2, se muestra un trazo de V_r versus V_x , para una formación de dos bobinas en una formación homogénea a través de una escala de valores de conductividad. En la Figura 2, los valores de conductividad aumentan en una dirección levógiara a lo largo de la curva de línea sólida 30 de la Figura 2.

10

Inicialmente, el equipo de registro de inducción se hizo funcionar a una frecuencia tan baja que para la mayoría de los valores de conductividad de interés, el voltaje V recibido era proporcional a la conductividad. El porqué esto es así, puede verse inspeccionando las ecuaciones (4), (9), (10), y (14). De la ecuación (4) puede verse que cuando la frecuencia pulsatoria ω es baja, la profundidad superficial δ será grande y por lo tanto, el componente de voltaje de efecto superficial V_s proporcionado mediante la ecuación (10) y el componente de cuadratura de la formación V_x , proporcionado mediante la ecuación (14) ambos serán insignificantes dejando sólo el componente de voltaje de factor geométrico V_g de la ecuación (9). Mirando la Figura 2, el efecto de disminuir la frecuencia es comprimir toda la curva 30 suponiendo que las escalas de V_r y V_x , permanecen iguales. Sin embargo, suponiendo por el momento que las escalas de V_r y V_x , se expanden hasta el punto en donde la nueva curva de conductividad traslapa la curva original 30, el punto de conductividad 34 se moverá hacia la

15

20

25

30

386865



nueva posición 31. Puede verse que con esta frecuencia ^{28 Dic} más baja, la mayoría de los valores de conductividad de interés quedarán en aquella porción de la curva cerca del eje V_r .

5 Sin embargo, cuando se utiliza dicha frecuencia de funcionamiento baja, la relación de señal a ruido disminuye mediante un factor considerable. Esto puede verse de la ecuación (9) puesto que el componente del voltaje inducido V_g es proporcional al cuadrado de la
10 frecuencia ω . Consecuentemente, si se aumenta la frecuencia de funcionamiento hasta un nivel que haría que fuera importante el voltaje de efecto superficial en fase V_s y el componente de voltaje de formación de cuadratura en fase V_x , resultaría una curva semejante a la curva
15 30 de la Figura 2. Para producir una medida precisa de la conductividad de la formación a estas frecuencias de funcionamiento relativamente altas, se ha encontrado necesario introducir una corrección del efecto superficial en el voltaje V_r de la bobina del receptor en fase, para
20 que llegue a valores precisos de conductividad de la formación σ . Esta corrección adopta la forma de refuerzo del nivel del voltaje V_r del receptor en fase mediante una cantidad precisa para valores determinados de este voltaje V_r . Puesto que el efecto superficial afecta el
25 voltaje V_r recibido de una manera no lineal, como puede verse de las ecuaciones (10) y (14), esta corrección del efecto superficial adopta la forma de un refuerzo no lineal del componente de voltaje V_r del receptor en fase para llegar a valores de conductividad corregidos. Se
30 ha encontrado que la conductividad medida mediante dicho



sistema con la corrección del efecto superficial, es razonablemente precisa para una gran cantidad de valores de conductividad de la formación.

5 Sin embargo, consideremos el caso en donde la conductividad de la formación es tan elevada que los cambios significativos en la conductividad producirán poco o ningún cambio en el componente del voltaje en fase V_r , tal y como se representa mediante el punto 32 en la curva de conductividad 30 de la Figura 2. Puesto que en
10 los sistemas de registro de inducción usados en la actualidad, sólo se mide el componente en fase V_r del voltaje del receptor, se medirá el mismo valor de conductividad, para todos los valores de conductividad de la formación reales a lo largo de la porción vertical de la curva 30.
15 Sin embargo, a medida que aumenta la conductividad de la formación más allá de esta porción vertical de la curva 30, se efectúa una ambigüedad, ya que resultará el mismo valor del voltaje del receptor en fase V_r a partir de los valores diferentes de la conductividad de la formación.
20 De esta manera, cuando se mide justamente el componente en fase del voltaje del receptor, se limita la escala de conductividades de la formación que pueden medirse.

Como se ha manifestado anteriormente, la mayoría de las formaciones no son de naturaleza homogénea y por lo tanto en la Figura 2, los valores de la conductividad de la formación para dichas formaciones heterogéneas quedarían en la curva de conductividad de la formación homogénea 30. Para valores de conductividad de formación relativamente bajos, esta diferencia sería demasiado importante, puesto que la inclinación de la curva
25
30

386865

28 DIC 1970



30 a dichos valores de conductividad bajos es razonable-
mente próxima a cero. Sin embargo, tomemos en cuenta la si-
tuación en donde una formación heterogénea determinada
tiene valores de V_r y V_x , tales como para proporcionar el
5 punto 33 en la Figura 2. En los sistemas del arte ante-
rior, puesto que solamente se mide el componente de volta-
je en fase V_r se supondría que el valor de la conductivi-
dad de la formación medido es la proyección vertical de
este punto 33 hacia la curva de conductividad homogénea
10 30. En realidad un valor más representativo de la conduc-
tividad de la formación promedio sería el valor de con-
ductividad en la curva 30 que queda más próxima al punto
trazado 33, tal como el punto 34. Como se ha manifestado
anteriormente, las imprecisiones que se suscitan de las
15 formaciones heterogéneas pueden corregirse hasta cierto
grado usando dispositivos medidores múltiples y técnicas
de cálculo complicadas.

De conformidad con la presente invención,
los valores tanto del componente en fase V_r como del com-
20 ponente de cuadratura de fase V_x , del voltaje del recep-
tor se miden y se utilizan para obtener medidas que no
solamente son más exactamente indicativas de la conduc-
tividad de la formación para la mayoría de los casos, si-
no que también son indicativas del grado de la heteroge-
25 neidad de la formación. Para lograr ésto, de conformidad
con la presente invención, se supondrá que el parámetro
de la conductividad de la formación σ que se usa en la
ecuación (1) (tal y como se combina con la ecuación (2))
es un número complejo que tiene componentes tanto reales
30 como imaginarios. Estos componentes de conductividad rea-



les e imaginarios se designan σ_u y σ_v respectivamente de manera tal que la conductividad compleja σ_c puede representarse como:

$$5 \quad \sigma_c = \sigma_u + j \sigma_v \quad (16)$$

Combinando las ecuaciones (1), (2) y (16):

$$10 \quad V = V_r + jV_x = \frac{-j\omega I \mu A_t A_r}{2 \pi L^3} \left(1 - jL \sqrt{j\omega \mu (\sigma_u + j \sigma_v)} \right. \\ \left. e^{jL \sqrt{j\omega \mu (\sigma_u + j \sigma_v)}} \right) \quad (17)$$

15 Haciendo referencia a la Figura 3, se muestra en la misma, la curva 30 de la Figura 2, reproducida para fines de explicar lo que σ_u y σ_v representan. A este respecto sería mejor tomar ciertos ejemplos específicos. Por lo tanto, supongamos que los valores de V_r y

20 V_x son de manera tal como para proporcionar el punto trazado 36 hacia el punto más próximo al mismo en la curva 30), (y por lo tanto perpendicular a la curva 30), y la distancia entre el punto 36 y la curva 30 es representativa del valor de σ_v y por lo tanto puede calibrarse en términos de valores de σ_v . La distancia entre el punto

25 inicial de la curva 30 en V_r , $V_x = 0$ con respecto al punto de intersección 37 es representativa del valor de σ_u y por lo tanto puede calibrarse en términos de σ_u .

De lo que antecede, puede verse que el valor

30 elegido de σ_u es el punto en la curva de conductividad

386865

28 JUL 70



30 que queda más próximo al punto trazado 36. De esta manera, σ_u será representativa del valor promedio de la conductividad de la formación de la región de la formación que se está investigando. De esta manera la conductividad promedio σ_u , tal como el término se usa en la presente, representa la conductividad de aquella formación homogénea que corresponde más estrechamente con la formación que se está investigando, que cualquier otra formación homogénea.

Con relación a la importancia de σ_v , si el punto trazado proporcionado por los valores de V_r y V_x , queda dentro de la curva de conductividad 30 tal y como se representa mediante el punto 36, σ_v es positivo y el valor de la conductividad de la formación cerca del conjunto de bobinas es menor que la conductividad en aquellas regiones más alejadas del conjunto de bobinas. A la inversa, si σ_v queda fuera de la curva de conductividad homogénea 30 tal y como se representa mediante el punto 38, σ_v es negativo y la conductividad de la región próxima es mayor que la conductividad de la región distante. De esta manera, la polaridad σ_v indica la distribución de conductividad en la formación. Debe también ser evidente que la distancia entre el punto 38 y el punto más cercano en la curva de conductividad homogénea 30 es representativo del grado de heterogeneidad. De esta manera, con σ_v , es posible determinar la heterogeneidad, es decir, las conductividades relativas de las regiones de la formación, próximas y distantes (vertical y radialmente) observando la magnitud y la polaridad del parámetro calculado σ_v .

En las formaciones homogéneas, el valor σ_v sería igual a cero, puesto que los valores de V_r y V_x , proporcionarían un punto que queda en la curva de conductividad homogénea y el valor de σ_u se determinará mediante la distancia o la longitud de la curva desde el origen ($V_r = V_x, - 0$) hasta el punto trazado σ_v .

La discusión hasta este punto se ha relacionado con un conjunto o formación de dos bobinas sencillo. Es bien sabido que utilizando una pluralidad de bobinas del transmisor y del receptor, puede obtenerse una respuesta mejorada de la formación de bobinas con respecto al material de la formación adyacente, es decir, pueden obtenerse factores geométricos radiales y verticales mejorados. Las técnicas de la presente invención pueden también aplicarse a las señales derivadas de dichas formaciones de bobinas múltiples.

Para evaluar dicha formación de bobinas múltiples sólo es necesario examinar cada par de bobinas del transmisor y del receptor como una formación de dos bobinas individual y combinar la respuesta de cada una de dichas formaciones de dos bobinas. De esta manera, volviendo a escribir la ecuación (17) para una formación de bobinas múltiples:

$$V_r + jV_x = \sum = \frac{j\omega I \mu A_t A_r}{2\pi L_{mn}^3} e^{j\sqrt{L_{mn}}} (1 - j\sqrt{L_{mn}}) \quad (18)$$

en donde

386865

2801



A_{t_m} es el resultado del área de sección transversal y el número de vueltas de bobina para la bobina del transmisor m^{ava} ,

A_{r_n} es el resultado del área en sección transversal y el número de vueltas de la bobina para la bobina del receptor n^{ava} ,

L_{m_n} es la separación entre los centros de la bobina de la bobina del transmisor m^{ava} y la bobina del receptor n^{ava} , y

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu(\sigma_u + j\sigma_v)}$$

Si la ecuación (18) se ha vuelto a escribir para conductividad σ en vez del voltaje del receptor V , el lado a mano derecha de la ecuación (18) debe dividirse entre

$$\sum \frac{I\omega^2\mu^2}{4\pi} \frac{A_{t_m} A_{r_n}}{L_{mn}}$$

para normalizar la expresión. De esta manera se puede escribir

$$\sigma = \sigma_r + j\sigma_x = \frac{\sum \frac{A_{t_m} A_{r_n}}{L_{mn}} \frac{2}{\omega\mu L_{mn}^2} e^{j\gamma L_{mn}} (1 - j\gamma L_{mn})}{\sum \frac{A_{t_m} A_{r_n}}{L_{mn}}}$$

$$\sum \frac{A_{t_m} A_{r_n}}{L_{mn}} \quad (19)$$

(Nota: Para simplificar, la anotación de la prima se

ha dejado caer desde σ_x , pero sin embargo, σ_x correspon
 de a V_x .). Las Ecuaciones (18) y (19) pueden entonces re
 solverse para σ_u y σ_v de la misma manera que la ecua
 ción (1) se resolvió para los mismos parámetros de una
 5 disposición de dos bobinas. Las ecuaciones (18) y (19)
 son expresiones generalizadas y están relacionadas con
 las formaciones de todas las bobinas, incluyendo una for
 mación de dos bobinas.

La Ecuación (19) puede usarse para producir
 10 una rejilla que proporciona valores de σ_u y σ_v como
 una función de σ_r y σ_x . Esto puede lograrse, por ejem
 plo, seleccionando los valores de σ_u y σ_v y resolviendo
 los valores correspondientes de σ_r y σ_x . Una reji
 lla típica producida mediante dichos cálculos se muestra
 15 en la Figura 3A. La Figura 3A es un trazo de σ_r versus
 σ_x para una formación de bobinas múltiples.

De una inspección de la Figura 3A en rela
 ción con lo que antecede, puede verse que cuando se trans
 forman los valores de V_r y V_x , (ó σ_r y σ_x) en valores
 20 de σ_u y σ_v , las familias de curvas ortogonales en un
 sistema rectangular de ejes se transforman en familias
 correspondientes de curvas ortogonales en un sistema de
 ejes en donde las familias de curvas son curvilíneas con
 relación al sistema rectangular de ejes. De esta manera
 25 en las Figuras 3 ó 3A, los ejes $\sigma_r = 0$, $\sigma_x = 0$ son rec
 tangulares en todas las curvas (σ_r y $\sigma_x =$ cualquier
 valor) son también rectangulares. Además, las curvas que
 definen σ_u y σ_v son ortogonales y ambas son curvilí
 neas cuando se refieren al sistema de los ejes para σ_r
 30 y σ_x .

386865

2861613

Al usar las enseñanzas de la presente invención en la práctica, σ_r y σ_x se medirán con un dispositivo de exploración que se baja dentro del pozo de sondeo y debe emplearse cierta técnica para obtener σ_u y σ_v de dichos valores medidos de σ_r y σ_x . Dicha técnica de conversión puede ser tan complicada o tan sencilla como se desee. Por ejemplo, los valores medidos de V_r y V_x , podrían usarse junto con la rejilla de la Figura 3A para obtener los valores de σ_u y σ_v . Alternativamente, una rejilla semejante a la rejilla de la Figura 3A aplicada a cualquier dispositivo de exploración podría usarse para construir un cuadro de valores de σ_u y σ_v para cualesquiera de los valores determinados de σ_r y σ_x . Dicho cuadro podría usarse manualmente o usarse para escribir un programa de computadora de averiguación de cuadro. (La manera de implementar un programa de computadora de averiguación de cuadro, es bien conocida).

Como una alternativa, podría utilizarse una técnica de ajuste de curva para rendir expresiones que se aproximan a la ecuación (19). Dependiendo del grado al cual se aproxime a la ecuación (19), las expresiones pueden ser tan complicadas o tan sencillas como se desee. Se ha encontrado que las siguientes expresiones se aproximan hasta un grado razonable a los valores de σ_u como una función de V_r y V_x :

$$\begin{aligned} \text{Log } \sigma_u &= C + A \text{ Log } \sigma_1 + B \sigma_1 + D \sigma_1^2 + \dots \\ &+ A_1 \text{ Log } \sigma_1' + B_1 \sigma_1' + D_1 (\sigma_1')^2 + \dots \end{aligned} \quad (20)$$



en donde

2800

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= aV_r + bV_x' \text{ y} \\ \sigma_{1'} &= a'V_r + b'V_x'\end{aligned}\quad (21)$$

5

La expresión para σ_v es:

$$\text{Log } \sigma_2 = C' + A' \text{Log } \sigma_1 + B' \sigma_1 + D' \sigma_1^2 + \dots$$

10

$$+ A_1' \text{Log } \sigma_{1'} + B_1' \sigma_{1'} + D_1' (\sigma_{1'})^2 + \dots \quad (22)$$

$$\sigma_v = eV_x' - d\sigma_2 \quad (23)$$

15

Los factores a , e , A , B , C , D , A' , B' , C' , D' , A_1' , B_1' , D_1' , son constantes relacionadas con el diseño de la formación de bobinas y que se determinan en el procedimiento de ajuste de curvas.

20

Volviendo ahora a la Figura 4, se muestra un ejemplo típico en la manera en que puede construirse la computadora 46 de σ_u y σ_v de la Figura 1. En la computadora de la Figura 4, se toman en cuenta solamente los tres términos de las ecuaciones (20) y (22). Sin embargo, debe quedar comprendido que la computadora podría construirse para acomodar la cantidad de términos deseable o necesario. Las señales de V_r y V_x' derivadas del aparato de investigación del fondo del pozo se aplican a un circuito de suma 50 a través de los circuitos pesadores 48a y 48b que proporcionan los factores de peso de "a" y "b". El circuito de suma 50 combina estas dos cantidades "aV_r" y "bV_x'" para producir una señal de salida designada

30

386865

28-10-70



σ_1 de conformidad con la ecuación (21). La señal de salida σ_1 se aplica a un convertidor logarítmico 51, para producir una señal de salida proporcional al logaritmo de σ_1 . Esta señal de salida desde el convertidor logarítmico 51, se aplica a un circuito pesador 52, que aplica el factor de multiplicación "A" de la ecuación (18) a la cantidad "log σ_1 " para producir una señal de salida proporcional a "A Log σ_1 ". Esta señal de salida desde el circuito pesador 52 junto con una señal proporcional a la constante "C" de la ecuación (20) y un factor "B σ_1 ", se aplican a un circuito de suma 54, que produce una señal de salida proporcional a Log σ_u de acuerdo con la ecuación (20). La cantidad B σ_1 se deriva de un circuito pesador 53 que recibe la señal proporcional a σ_1 desde el circuito de suma 50 y la pesa mediante el factor de "B". La función Log σ_u puede también convertirse en una función lineal de σ_u utilizando un circuito anti-log 55.

Para producir la función σ_v , la función Log σ_1 se pesa mediante el factor "A" en un circuito pesador 56 y se aplica a un circuito de suma 57. Además, la función σ_1 , se pesa mediante el factor "B" en un circuito pesador 57 y luego se aplica al circuito de suma 57. El factor "C" también se aplica al circuito de suma 57 de manera tal que la señal de salida desde el circuito de suma 57 sea proporcional a Log σ_2 de acuerdo con la ecuación (23). La función Log σ_2 se convierte en σ_2 mediante un circuito antilogarítmico 58 y se aplica a la entrada de resta de un amplificador diferencial 59. La señal de formación de cuadratura de fase V_x' se aplica a



la entrada positiva del amplificador diferencial 59, de manera tal que la señal de salida del mismo sea proporcional a σ_v de acuerdo con la ecuación (22). Si se desea, el término heterogeneidad podría normalizarse para ser responsable de las variaciones en la conductividad de la formación σ_u . Para lograr esto, σ_v podría dividirse entre σ_u , o mejor aún, entre $\sigma_u + \sigma_v$ tal y como se representa mediante el circuito 60 en la Figura 4.

Alternativamente, las ecuaciones (17) ó (19) podrían resolverse mediante una computadora digital para cada valor medido de V_r y V_x' ó σ_r y σ_x producidos por las ecuaciones (17) ó (19) es igual a los valores medidos de V_r V_x' ó σ_r y σ_x .

Para este fin, volviendo a la Figura 5, se muestra un diagrama de flujo que representa un programa de la computadora que resuelve para σ_u y σ_v como una función de σ_r y σ_x . Después de la "iniciación" del programa, los parámetros de conductividad medidos para un nivel de profundidad así como las constantes de la herramienta de registro se leen en la computadora, tal y como se representa mediante los bloques de procesado 80 y 81, respectivamente. Luego, como una primera aproximación, σ_u se ajusta igual a σ_r y σ_v se ajusta igual a cero tal y como se representa mediante el bloque de procesado 82. Esta primera aproximación por lo tanto adopta una formación homogénea. Luego, la ecuación (19) se resuelve para σ_r y σ_x usando estos valores supuestos de σ_u y σ_v , tal y como se representa mediante el bloque de procesado 83.

Se puedan llevar a cabo cualquier número de

386865

28010



pruebas para determinar si σ_u y σ_v son razonablemente precisos. Una de dichas pruebas es para determinar la diferencia entre una o ambas de las cantidades medidas σ_r y/o σ_x y los valores calculados de los mismos, que se hacen usando los valores supuestos para σ_u y σ_v . En este caso, tal y como se representa mediante el bloque de decisión 84, se efectúa una prueba para determinar si el nuevo valor calculado σ_r^n difiere del valor anterior de σ_r (designado σ_r^{n-1} que es inicialmente el valor medido de σ_r) por un factor menor que una cantidad seleccionada C. Si la contestación es si, los valores supuestos de σ_u y σ_v se imprimen y el programa regresa a la "iniciación" para tomar en cuenta el siguiente nivel de profundidad, tal y como se representa mediante los elementos 85 y 86. Si no se llena la prueba del bloque de decisión 84, se seleccionan nuevos valores de σ_u y σ_v y se lleva a cabo el mismo proceso nuevamente, tal y como se representa mediante el bloque de procesado 87 y su salida hacia la entrada del bloque depositado 83. Durante la segunda repetición, el valor actualmente calculado de σ_r , designado σ_r^n , se comparará con el valor finalmente calculado del mismo que se designa σ_r^{n-1} . De esta manera, el elemento de decisión 84 comprueba para determinar si los valores calculados de σ_r están cambiando significativamente desde una repetición a la siguiente, o si no lo están haciendo, los valores seleccionados finalmente de σ_u y σ_v se presentan como los valores finales.

Para determinar cuáles serán los nuevos valores de σ_u y σ_v , la relación del valor medido de

$\sigma_r + j \sigma_x$ con respecto al valor calculado de los mismos, se calcula y se multiplica por los valores finales supuestos de σ_u y σ_v . La ecuación que expresa esta selección de nuevos valores de σ_u y σ_v es:

5

$$\sigma_u^{(n+1)} + j \sigma_v^{(n+1)} = \frac{\sigma_r + j \sigma_x}{\sigma_r^n + j \sigma_x^n} (\sigma_u^n + j \sigma_v^n) \quad (24)$$

10

en donde la designación $n+1$ se refiere a un nuevo parámetro que va a usarse en el siguiente cálculo y la designación n se refiere a un parámetro justamente calculado. La ecuación que expresa la función llevada a cabo por el bloque de decisión 84 es:

15

$$\sigma_r^n - \sigma_r^{(n-1)} \leq C \quad (25)$$

20

en donde $n-1$ representa el valor de σ_r que se obtiene antes del cálculo presente n (inicialmente representa el valor medido de σ_r), y C es cualquier cantidad deseada.

25

Resumiendo esta operación, los valores de σ_r y σ_x se leen a en cada nivel de profundidad y σ_u y σ_v inicialmente se ajustan iguales a σ_r y cero, respectivamente. La ecuación (19) se resuelve luego para σ_r y σ_x . Si este valor calculado de σ_r , es decir, σ_r^n no lleva la ecuación (25), el programa calcula nuevos valores para σ_u y σ_v de acuerdo con la ecuación (24). Estos nuevos valores de σ_u y σ_v luego se usan para calcular nuevos valores de σ_r y σ_x y el nuevo valor calculado de σ_r (y/o σ_x), se comprueba contra

30

386865

28 DEC 1971



el último valor calculado de σ_r (y/o σ_x) de acuerdo con la ecuación (25). De nuevo, si la ecuación (25) no se
 5 lleha, se calculan otra vez los nuevos valores de σ_u y σ_v de acuerdo con la ecuación (24) y este proceso se repite por si. Este proceso continúa una y otra vez hasta que se lleha finalmente la ecuación (25) en cuyo momento se imprimen los últimos valores calculados de σ_u y σ_v y el programa avanza hasta el siguiente nivel de profundidad.

10 En el documento de Doll anteriormente mencionado, la respuesta de una herramienta de registro de inducción se describió en términos de la teoría llamada "factor geométrico".

15 El mismo razonamiento que se discute en este documento de Doll para llegar a factores geométricos radiales y verticales, para un sistema de registro de inducción convencional, se aplica asimismo, al sistema de registro de inducción de la presente invención. Sin embargo, el factor geométrico aplicado a la invención
 20 presente estará en la forma de un número complejo. Para una formación de dos bobinas, los factores geométricos g_u y g_v relacionados con la medida de σ_u y σ_v pueden expresarse como:

25

$$g_u + jg_v = g(r, z) \frac{e^{j\gamma\rho_T} (1 - j\gamma\rho_T) e^{j\gamma\rho_R} (1 - j\gamma\rho_R)}{e^{j\gamma L}} \quad (26)$$

30 en donde



$g(r, z)$ es el factor geométrico proporcionado en el documento de Doll anteriormente mencionado,

ρ_T es la distancia entre la bobina del transmisor y el circuito de tierra de la unidad,
y

ρ_R es la distancia entre la bobina del receptor y el circuito de tierra de la unidad.

Se muestran en la Figura 9 representaciones de las dimensiones ρ_T y ρ_R .

Desintegramos la ecuación (26) en expresiones separadas para g_u y g_v , tenemos:

$$g_u = g_0 e^{xs} \left[(1 - xs + VP) \cos(ys) + (ys + uP) \sin(ys) \right] \quad (27)$$

y

$$g_v = g_0 e^{xs} \left[(1 - xs + VP) \sin(ys) - (ys + uP) \cos(ys) \right] \quad (28)$$

en donde

$$g_0 = \frac{L}{2} \frac{r^3}{\rho_T^3 \rho_R^3}$$

$$s = \rho_T + \rho_R$$

386865

28 UIC



$$\rho = \rho_T - \rho_R$$

$$u = \omega \mu \sigma_u$$

$$v = \omega \mu \sigma_v$$

$$x = \sqrt{\frac{\sqrt{u^2 + v^2} + v}{2}}$$

$$y = \sqrt{\frac{\sqrt{u^2 + v^2} - v}{2}}$$

g_u t g_v para una formación de bobinas múltiples, puede también expresarse tomando en cuenta las dimensiones, separación, etc., de todas las bobinas.

Los factores geométricos radiales y verticales de los factores geométricos unitarios g_u y g_v pueden derivarse. El factor geométrico radial para el factor geométrico unitario g_u es:

$$G_{ur} = \frac{1}{2} g_u d_z \quad (29)$$



y el factor geométrico radial para el factor geométrico unitario g_v es:

$$G_{vr} = \int_{-2a}^{+2a} g_v dz \quad (30)$$

El factor geométrico vertical para el factor geométrico unitario g_u es:

$$G_{uz} = \int_0^{2a} g_u dr \quad (31)$$

y el factor geométrico vertical para el factor geométrico unitario g_v es:

$$G_{vz} = \int_0^{2a} g_v dr \quad (32)$$

Los factores geométricos radiales G_{ur} y G_{vr} para una formación o conjunto de dos bobinas se muestran en la Figura 6. De la Figura 6 puede verse que las áreas negativa y positiva debajo de la curva del factor geométrico radial G_{vr} , que se designan K y L respectivamente son iguales de manera que en un medio homogéneo, la respuesta total para G_{vr} será de cero. Por otra parte, si la región más próxima a las bobinas es de mayor conductividad que la región radialmente distante, la respuesta será ne-

386865

28612



gativa. A la inversa, si las regiones radialmente distantes son de mayor conducción, la respuesta proporcionada mediante G_{vr} será positiva. El factor geométrico radial G_{ur} es muy parecido al factor geométrico radial, proporcionado mediante la teoría del factor geométrico dado a conocer en el documento de Doll anteriormente mencionado.

Volviendo ahora a la Figura 7, se muestra un trazo de los factores geométricos verticales G_{uz} y G_{vz} para un conjunto de dos bobinas. El factor geométrico vertical G_{vz} se muestra en el lado a mano izquierda de la perforación del pozo. Al igual que el factor geométrico radial G_{vz} , las áreas positiva y negativa debajo de la curva para el factor geométrico vertical G_{vz} son iguales de manera que en un medio homogéneo la respuesta total proporcionada por el factor geométrico vertical G_{vz} será de cero. En la Figura 7, la región central de respuesta negativa se designa H y las regiones de respuesta positivas superior e inferior se designan I y J respectivamente. Si el lecho de la formación que se está investigando es de mayor conducción que los lechos de la formación adyacente, es decir, si la conductividad en la región H es mayor que en las regiones I y J, la respuesta proporcionada por el factor geométrico vertical G_{vz} será negativa y a la inversa si los lechos adyacentes son más conductores, la respuesta será positiva.

El factor geométrico vertical G_{uz} de la Figura 7 es semejante al factor geométrico para un conjunto de dos bobinas proporcionado por la teoría del factor geométrico dado a conocer en el documento anteriormente

386865

28/10/70



mencionado de Doll. Por lo tanto, el valor de conductividad σ_u será algo semejante a la conductividad usual medida por la herramienta de registro de inducción usual.

5 Debe mencionarse aquí que los factores geométricos varían como una función de la conductividad tal y como puede verse de las ecuaciones (27) y (28). Las curvas mostradas en las Figuras 6 y 7 son para una situación típica.

10 Aún cuando los factores geométricos radial y vertical G_{ur} , G_{vr} , G_{uz} y G_{vz} se muestran para un conjunto de dos bobinas, pueden derivarse para cualquier conjunto de bobinas y pueden usarse como una ayuda para interpretar las medidas de σ_u y σ_v que se producen mediante cualquier conjunto de bobinas.

15 Volviendo ahora a la Figura 8, se muestran logaritmos de σ_u y σ_v que se producen cuando un conjunto de bobinas investiga la formación mostrada en el lado a mano izquierda de la Figura 8. Hay tres formaciones homogéneas que tiene conductividades σ_1 y σ_2 y σ_3 que se muestran en la porción superior de la Figura 8.

20 La conductividad σ_2 es mayor que la conductividad σ_1 y la conductividad σ_2 es mayor que σ_3 . El logaritmo de σ_u producido cuando se investigan estas formaciones será algo semejante al logaritmo de conductividad que se produce mediante el aparato de registro de inducción usual.

25 Sin embargo, el logaritmo σ_v será completamente diferente de cualesquier logaritmo anteriormente registrado. En la Figura 8, el dispositivo de exploración se considera como moviéndose desde la parte superior hacia la parte inferior.

30 De la Figura 8 puede verse que cuando el

386865

28012



conjunto de bobinas pasa desde la formación σ_1 hasta la
formación de mayor conducción σ_2 , σ_v será el primero
que se desvíe de una dirección positiva a medida que el
conjunto de bobinas se aproxima al límite del lecho y
5 luego se desvía en una dirección negativa a medida que el
conjunto de bobinas se aproxima al límite del lecho y lue-
go se desvía en una dirección negativa a medida que el con-
junto de bobinas pasa a través del límite del lecho. σ_v
eventualmente regresará a cero cuando la respuesta total
10 del conjunto de bobinas es suministrada mediante la forma-
ción σ_4 exclusivamente. La razón para ésto puede verse
haciendo referencia al factor geométrico vertical G_{vz} de
la Figura 7. De la Figura 7, puede verse que cuando el
conjunto de bobinas se coloca de manera tal que las porcio-
15 nes positivas I ó J del factor geométrico son opuestas a
una formación que es de mayor conductividad que la forma-
ción opuesta a la porción central H, los componentes de
la señal positiva excederán los componentes de la señal
negativa. A la inversa, cuando la porción central H es
20 opuesta al lecho de la formación de mayor conductividad
 σ_2 , los componentes de la señal negativa excederán los
componentes de la señal positiva. De esta manera puede
verse el porqué σ_v tiene una desviación positiva segui-
da por una desviación negativa a medida que el conjunto
25 de bobinas atraviesa el límite del lecho desde la formación
 σ_1 hasta la formación σ_2 .

Quando el conjunto de bobinas pasa desde el
lecho de la formación σ_2 al lecho de la formación de me-
nor conducción, σ_3 , la curva σ_v se desviará en una di-
30 rección negativa y luego se desviará en una dirección po-



sitiva puesto que la porción H del factor geométrico será opuesta a la formación de mayor conductividad a medida que el conjunto de bobinas se mueve hacia el límite del lecho. Luego, a medida que el conjunto de bobinas se mueve alejándose del límite del lecho, la porción H del factor geométrico será opuesta a la formación σ_3 , de menor conductividad produciendo de esta manera una desviación positiva. Estas desviaciones proporcionan una definición nítida o precisa de los límites del lecho.

Consideremos ahora lo que sucede cuando el conjunto de bobinas investiga formaciones que tienen zonas invadidas con el lodo de perforación conductor. Dichas formaciones se representan en la Figura 8 como formaciones de conductividades $\sigma_{t4} - \sigma_{x4}$ y $\sigma_{t6} - \sigma_{x6}$. Los lechos de la formación 4 y 6 se separan mediante un lecho de conductividad σ_5 . σ_{t4} es mayor que σ_{x4} y σ_{x6} es mayor que σ_{t6} . Para los lechos 4 y 6, el registro σ_u proporcionará la conductividad promedio de cada lecho de la formación. La curva σ_v sin embargo mostrará una desviación positiva opuesta al lecho 4 debido a que la región próxima al conjunto de bobinas (σ_{x4}) es de menor conductividad que la zona no invadida radialmente distante (σ_{t4}). La razón por la cual la desviación será positiva, puede verse haciendo referencia a la Figura 6, en donde se muestra que el factor geométrico radial G_{vr} tiene una porción K de respuesta negativa radialmente próxima al conjunto de bobinas y una porción L de respuesta positiva radialmente distante del conjunto de bobinas. De esta manera, si la conductividad de la zona inundada σ_{x4} es menor que la conductividad de la zona no

386865

28 DIC.



invasión σ_{t4} , la porción de respuesta positiva de la curva de factor geométrico de la Figura 6, aportará considerablemente más a la señal que la porción de respuesta negativa.

5 Continuando, a medida que el conjunto de bobinas se aproxima al límite del lecho entre los lechos de la formación 4 y 5, el registro σ_u mostrará una conductividad disminuida para reflejar una disminución en la

10 conductividad promedio entre los dos lechos de la formación. El logaritmo σ_v , por otra parte permanecerá positivo a medida que el conjunto de bobinas se aproxima a este límite de lecho puesto que la conductividad promedio

15 σ_5 del lecho número 5 es mayor que aquella del lecho número 4. A medida que el conjunto de bobinas se mueve hacia el lecho número 5, el logaritmo σ_v , no mostrará desviación de nuevo puesto que el lecho número 5 es homogéneo. Luego a medida que el conjunto de bobinas se mueve

20 más próximo al límite del lecho entre los lechos 5 y 6 y por lo tanto será influenciado mucho más por el lecho número 6, el logaritmo σ_v eventualmente se moverá hacia una desviación negativa para indicar el lecho de que la conductividad de la zona inundada σ_{x6} es mayor que la conductividad de la zona no invadida σ_{t6} . La razón para esta desviación negativa es que la conductividad en

25 la porción K de respuesta negativa de la curva del factor geométrico de la Figura 6 es mayor que la conductividad en la porción L de respuesta positiva de la misma. Luego, a medida que el conjunto de bobinas se mueve hacia el límite de lecho entre los lechos números 6 y 7, el logaritmo

30 σ_v se hará positivo puesto que σ_7 es mayor



que la conductividad promedio del lecho número 6. Luego a medida que el conjunto de bobinas se mueve alejándose del límite del lecho, el logaritmo σ_v se desviará hacia el estado negativo debido a la razón opuesta y eventualmente se estabilizará en cero, debido a que el lecho número 7 es homogéneo.

Además al logaritmo σ_u y σ_v para obtener logaritmos que proporcionan la conductividad y heterogeneidad promedio de una formación, es asimismo posible combinar σ_u y σ_v de manera que proporcionen una información relacionada con la conductividad de las regiones radiales diferentes de una formación.

Volviendo ahora a la Figura 9, se muestra un trazo de la respuesta relativa versus distancia radial, desde la perforación del pozo (es decir un trazo del factor geométrico radial) para fines de explicar la manera en que σ_u y σ_v pueden combinarse para proporcionar dicha información. La curva de línea sólida g_u en la Figura 9 es un trazo del factor geométrico radial g_u para un conjunto de bobinas múltiples, tal como aquel que se muestra en la patente de Tanguy anteriormente mencionada. La curva de línea sólida $a_2 g_v$ es un trazo del factor geométrico radial g_v pesado mediante el factor

a_2 . Combinando estas dos curvas de factor geométrico g_u y $a_2 g_v$, puede obtenerse un factor geométrico resultante $g_u + a_2 g_v$ que corresponde a la investigación radialmente más profunda. Esto puede verse haciendo referencia a la Figura 10 que es una proyección vertical de los factores geométricos combinados de la Figura 9. La curva de línea sólida en la Figura 10 es un factor geomé-

386865

28010.970



5 trico que resulta de la combinación de g_u con $a_2 g_v$. Com
parando este factor geométrico $g_u + a_2 g_v$ de la Figura
10 con el factor geométrico g_u de la Figura 9, puede ver-
se que $g_u + a_2 g_v$ proporciona una investigación radial
más profunda que g_u . El factor geométrico $g_u + a_2 g_v$ co-
rresponde a la combinación de σ_u y σ_v de acuerdo con
la expresión $\sigma_u + a_2 \sigma_v$.

10 Una investigación radial relativamente me-
nos profunda, puede lograrse, restando el factor geomé-
trico g_v por un factor pesador seleccionado a_1 a partir
de g_u . Por lo tanto en la Figura 9, añadiendo el trazo
de línea de guiones $- a_1 g_v$ a la curva del factor geomé-
trico g_u , se obtiene el factor geométrico radial $g_u - a_1 g_v$
de la Figura 10. Mediante comparación puede verse que g_u
15 $- a_1 g_v$ proporciona una investigación menos profunda que
 g_u . En términos de señales, esta operación corresponde a
la resta de $a_1 \sigma_v$ a partir de σ_u .

20 Volviendo ahora a la Figura 11, se muestra
un aparato para combinar σ_u y σ_v de acuerdo con la
discusión anteriormente dada, para proporcionar señales
que representan individualmente la conductividad de re-
giones radiales diferentes de una formación. La señal σ_v
se pesa mediante los factores $+ a_2$ y $- a_1$ en los circui-
tos pesadores 101 y 102, respectivamente, y se aplica a
25 los circuitos de suma 103 y 104, respectivamente. La se-
ñal σ_u se aplica también a los circuitos de suma 103 y
104 de manera tal que estos circuitos proporcionarán las
señales de salida $\sigma_u + a_2 \sigma_v$ y $\sigma_u - a_1 \sigma_v$ res-
pectivamente. Los circuitos pesadores 101 y 102 y sus
30 circuitos de suma correspondientes 103 y 104, podrían com-



prender individualmente un amplificador de funcionamiento ^{28.11.70}
 y resistencias de entrada asociadas, con los valores rela
 tivos de estas resistencias de entrada y la elección de
 la conexión con la entrada de más o de menos del amplifi
 cador determinando los factores pesadores $\pm a_2$ y $- a_1$.
 Las señales σ_u y σ_v pueden también registrarse.

De esta manera puede verse que a través de
 la práctica de la presente invención, puede obtenerse una
 medida precisa de la conductividad promedio de los medios
 que rodean el conjunto de bobinas sin que resulten erro
 res de las formaciones heterogéneas y del efecto superfi
 cial. Además puede obtenerse un logaritmo de la heterogé
 neidad del medio que rodea el conjunto de bobinas. Asimis
 mo, estas medidas pueden obtenerse a través del uso de so
 lamente un conjunto de bobinas.

Debe señalarse que aún cuando los dos compo
 nentes de fase del voltaje de la bobina del receptor se
 han medido y utilizado para producir σ_u y σ_v , es asi
 mismo posible medir otros parámetros para producir σ_u
 y σ_v . Por lo tanto la amplitud del voltaje de la bobina
 del receptor y su ángulo de fase podría medirse para pro
 ducir los mismos resultados. Para un ejemplo de ésto, ha
 ciendo referencia a la Figura 3 y suponiendo que el punto
 36, represente las medidas hechas por el conjunto de bobi
 nas, podrían usarse medidas de la longitud del vector en
 tre este punto y el origen ($V_r = V_x' = 0$) y el ángulo en
 tre este vector y 2ya sea el eje V_r ó el eje V_x' (ó ver
 siones transformadas de los mismos) a fin de encontrar el
 punto 36 relativo a la curva 30. Los valores que represen
 tan la conductividad y heterogeneidad de las formaciones

386865

28 DIC 1970



investigadas, podrían obtenerse luego. En realidad, aún las señales del componente de fase V_r y V_x' , dependen funcionalmente de la amplitud y de la fase del voltaje inducido en la bobina del receptor que, a su vez, es proporcional a la amplitud y a la fase del campo electro-

5 magnético establecido en las formaciones adyacentes.

Debe señalarse asimismo que aún cuando se han mostrado modalidades que funcionan para proyectar el punto V_r , V_x , medido (v. gr., el punto 36 en la Figura 3) de una manera perpendicular con respecto a la curva 30 (Figura 5) y en paralelo al eje de V_x' hacia la curva 30 (Figura 17), serán fácilmente evidentes otras modalidades que proyectan el punto V_r , V_x , medido de otras maneras hacia la curva 30 para aquellas personas expertas en el arte, y se destinan a quedar dentro del alcance de la presente invención.

10

15

Además, aún cuando el modelo de la formación elegido como la mejor manera para llevar a la práctica la presente invención ha sido una formación homogénea proporcionada mediante la curva 30, puede apreciarse que podrían usarse asimismo otros modelos de formación. Por ejemplo, podría usarse igualmente bien otra curva paralela a, pero desplazada desde la curva 30.

20

Aún cuando se han descrito lo que se considera en la actualidad como siendo las modalidades preferidas de esta invención, será evidente para aquellas personas expertas en el arte, que pueden hacerse en la misma varios cambios y modificaciones, sin desviarse de la invención y por lo tanto, se pretende amparar todos los citados cambios y modificaciones que queden dentro del ver-

25

30

386865



dadero espíritu y alcance de la invención.

La presente solicitud, que corresponde a la presentada en los Estados Unidos de América, el 29 de Diciembre de 1.969, bajo el Nº 888239, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

10

REIVINDICACIONES

15

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

20

1.- Un método para obtener indicaciones características de una formación de tierra atravesada por un pozo de sondeo en el que se establece un campo electromagnético y se induce una señal que tiene una amplitud y una fase con relación a una referencia que dependen de la conductividad y de la heterogeneidad de la

25

11-5-73

- 48 -

AME

386865



5 formación, caracterizado por producir señales a partir
de las que pueden derivarse las relaciones de amplitud
y de fase de dicha señal inducida y combinar datos re-
presentativos de dichas señales producidas para efectuar
una transformación de dichos datos en al menos una indi-
cación de la conductividad de la formación de tierra que
no está relacionada linealmente con dichas señales pro-
ducidas, o en dos o más indicaciones características de
la formación de tierra, al menos una de las cuales es
10 una indicación de su conductividad.

2.- El método de conformidad con lo rei-
vindicado en la reivindicación 1, caracterizado en que
una de las indicaciones es una indicación de la hetero-
geneidad de la formación.

15 3.- El método de conformidad con lo rei-
vindicado en la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por
obtener una segunda indicación de conductividad que de-
pende de la heterogeneidad de la formación.

20 4.- El método de conformidad con lo rei-
vindicado en la reivindicación 2, caracterizado porque
dicha indicación de la heterogeneidad de la formación
no está relacionada linealmente con dichas señales pro-
ducidas.

25 5.- El método de conformidad con lo rei-
vindicado en cualesquiera de las reivindicaciones 1 a 4,
en donde las señales producidas, representan los componen-
tes mutuos de fase de cuadratura de la señal inducida, que
está caracterizado en que el dato representa los valores
coordinados respectivos de los componentes mutuos de fa-
se de cuadratura con relación a un sistema coordinado rec
20

386865

2806



tangular y que el dato combinado se transforma mediante el sistema coordinado rectangular en un sistema coordinado que es el que representa los valores de la conductividad y heterogeneidad promedio, la cual es curvilínea al aplicarse al sistema coordinado rectangular.

5

6.- El método de conformidad con lo reivindicado en cualesquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde las señales producidas representan componentes mutuos de fase de cuadratura de la señal inducida, caracterizado por combinar el dato representativo para obtener un primer dato, efectuar una transformación no lineal del primer dato para producir un segundo dato, el primer dato y el segundo dato se combinan para obtener por lo menos una indicación de la conductividad promedio de la formación terrestre.

10

15

7.- El método de conformidad con lo reivindicado en cualesquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde las señales producidas, representan componentes mutuos de fase de cuadratura de la señal inducida, caracterizado por combinar el dato representativo para obtener un primer dato, efectuar una transformación no lineal del primer dato para producir un segundo dato, el primer dato y el segundo dato se combinan para producir un tercer dato y el tercer dato se combina con el dato representativo de una de las señales del componente de fase, para obtener indicaciones de la heterogeneidad de la formación terrestre.

20

25

8.- El método de conformidad con lo reivindicado en cualesquiera de las reivindicaciones que anteceden, caracterizado porque la señal inducida es un vol-

30

23-12-70

ME

386865

28014



taje producido en las bobinas receptoras de un conjunto de bobinas de inducción, haciendo pasar una corriente alterna en las bobinas del transmisor del mismo, expresándose el voltaje mediante la relación:

5

$$V = V_r + jV_x' = \sum \frac{A_{t_m} A_{r_n}}{L_{mn}} \frac{2}{\omega \mu L_{mn}^2} e^{j\gamma L_{mn}} (1 - j\gamma L_{mn})$$

10

en donde

A_{t_m} es el resultado del área de sección transversal y el número de vueltas para la bobina del transmisor n^{ava} ,

15

A_{r_n} es el resultado del área de sección transversal y el número de vueltas de la bobina del receptor n^{ava} ,

L_{mn} es la separación entre los centros de la bobina de la bobina del transmisor m^{ava} y la bobina del receptor n^{ava} ,

20

ω es la frecuencia pulsatoria de la corriente de la bobina del transmisor

μ es la permeabilidad magnética de la región de respuesta de las bobinas,

25

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu(\sigma_u + j\sigma_v)}, y$$

30

V_r y V_x' son los componentes en fase y de cuadratura de fase respectivamente del voltaje induci-

MCE



280.000

do; y aquel dato representativo de los componentes en fase y de cuadratura de fase de la señal de voltaje inducido se combinan para efectuar la transformación del dato representativo en los parámetros σ_u y σ_v o ambos, siendo el parámetro σ_u representativo de la conductividad promedio del medio que rodea el conjunto de bobina y siendo el parámetro σ_v representativo de la heterogeneidad del medio que rodea el conjunto de bobinas.

5

9.- El método de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 8, que incluye la etapa de obtener ambos parámetros σ_u y σ_v , caracterizado en que la etapa de combinación incluye las etapas de seleccionar los valores de σ_u y σ_v y resolver la expresión del voltaje inducido para valores representativos de V_r y V_x' , probar los valores calculados de V_r y V_x' a fin de determinar si son los valores correctos.

10

15

10.- El método de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 8, caracterizado en que la etapa de combinar incluye las etapas de adoptar inicialmente un juego de valores para σ_u y σ_v , calcular los valores de V_r y V_x' , usando los valores inicialmente supuestos de σ_u y σ_v , comparar la relación de una función seleccionada de los valores calculados de V_r ó V_x' , o ambos, con una función seleccionada de los valores medidos de V_r ó V_x' o ambos, a fin de determinar si la función de los valores calculados de V_r ó V_x o ambos es correcta, calcular nuevos valores de σ_u y σ_v de acuerdo con la relación de las funciones de los valores calculados y medidos de V_r ó V_x' , o ambos si los valores calculados de V_r ó de V_x' o ambos, no están correctos, repetir

20

25

30

23-12-70

ME

386865

28 JUN 1970



5 las etapas de comparar y calcular nuevos valores de V_r y V_x' hasta que se encuentren los valores correctos y usar como los valores finales de σ_u y σ_v aquellos valores que proporcionan un valor aceptablemente correcto de la función seleccionada de V_r ó de V_x , o ambas.

10 11.- El método de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 2, que está además caracterizado por la etapa de combinar las indicaciones de conductividad y heterogeneidad para producir medidas individuales de la conductividad de porciones de la formación a distancias radiales diferentes desde el pozo de sondeo.

15 12.- El método de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 2, en donde las indicaciones, son la conductividad promedio σ_u y la heterogeneidad σ_v , que está además caracterizado por la etapa de (1) combinar aditivamente por lo menos una porción de σ_v con por lo menos una porción de σ_u para obtener indicaciones de la conductividad de una primera porción de la formación ó (2) combinar a manera de restar por lo menos una porción de σ_v con por lo menos una porción de σ_u para obtener indicaciones de la conductividad de una segunda porción de la formación o tanto de (1) como de (2) para obtener indicaciones de la conductividad de la primera y segunda porciones a distancias radiales diferentes desde el pozo de sondeo.

25 13.- El método de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 2, caracterizado en que la etapa de combinar el dato representativo de las señales producidas incluye las etapas de producir un dato que

386865



representa aproximadamente los valores de la conductivi
dad y heterogeneidad de la formación terrestre, derivar
el dato representativo de la señal que depende de la am
plitud y de la fase que sería inducido mediante una for
5 mación que tiene dichos valores de conductividad y hete
rogeneidad, comparar el dato derivado con el dato produ
cido a fin de obtener un dato representativo de una re-
lación entre los mismos, ajustar repetidamente los valo
res aproximados de la conductividad y de la heterogenei
10 dad y derivar el dato representativo de la señal que de
pende de la amplitud y de la fase que corresponde a los
valores aproximados ajustados para recompararse con el
dato representativo de las señales producidas hasta que
el dato obtenido que representa la relación logra un va
15 lor deseado, las indicaciones que se obtienen siendo los
valores ajustados al último de la conductividad y hete
rogeneidad representativos de la conductividad y hetero
geneidad verdaderos de la formación.

14.- Un aparato para determinar las carac
20 terísticas de una formación de tierra atravesada por un
pozo de sondeo en el que se establece un campo electro-
magnético y se induce una señal que tiene una amplitud
y una fase con relación a una referencia que dependen
de la conductividad y la heterogeneidad de la formación,
25 caracterizado por medios para producir señales a partir

11-5-73

- 54 -

ME

386865



de las que pueden derivarse las relaciones de amplitud y de fase de dicha señal inducida y medios para combinar datos representativos de dichas señales producidas para efectuar una transformación de dichos datos en al menos una indicación de la conductividad de la formación de tierra que no está relacionada linealmente con dichas señales producidas, o en dos o más indicaciones características de la formación de tierra, al menos una de las cuales es una indicación de su conductividad.

5

10

15.- El aparato de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 14, caracterizado porque el medio de indicación proporciona también una indicación de la heterogeneidad de la formación o una segunda indicación de conductividad que depende de la heterogeneidad de la formación.

15

20

16.- El aparato de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 14 ó 15, en donde las señales producidas representan componentes de fase de cuadratura mutuas de la señal del receptor, y el medio de combinación incluye medios que responden a las señales del componente de fase para derivar el dato transformando los valores representativos de la conductividad y heterogeneidad promedio de la formación.

25

17.- El aparato de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 16, caracterizado en que

11-5-73

- 55 -

MGE

386865



5 el medio de combinación transforma el dato que representa valores ortogonalmente relacionados de los componentes de fase de cuadratura en el sistema coordinado rectangular en valores ortogonalmente relacionados de conductividad y heterogeneidad promedio en un sistema coordinado que es curvilíneo cuando se aplica al sistema coordinado rectangular.

10 18.- El aparato de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 16, caracterizado en que el medio para combinar incluye medios para combinar las señales componentes de fase para producir una primera función no lineal de la primera señal a fin de producir una segunda señal y medios para combinar la primera y
15 segunda señales para producir una señal de salida representativa de la conductividad promedio de una formación terrestre.

20 19.- El aparato de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 16, caracterizado en que el medio para combinar incluye un medio para combinar las señales componentes de fase para producir una primera señal, un medio formador de función para formar una función no lineal de la primera señal a fin de producir una segunda señal, un medio para combinar la primera y
25 segunda señales para producir una tercera señal, un me-

MCE

386865



dio para combinar la tercera señal con una de las señales componentes de fase para producir una señal de salida representativa de la heterogeneidad de una formación terrestre.

5 20.- El aparato de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 17, que está además caracterizado porque incluye medios para combinar los valores ortogonalmente relacionados de la conductividad promedio (σ_u) y la heterogeneidad (σ_v) a fin de obtener indicaciones respectivas de la conductividad de las diferentes porciones radiales de la formación con el medio de indicación.

15 21.- El aparato de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 20, caracterizado en que el medio para combinar los valores ortogonalmente relacionados de σ_u y σ_v incluyen medios para combinar aditivamente por lo menos una porción de σ_v con por lo menos una porción de σ_u para obtener una representación de la conductividad de una primera porción radial de la formación y un medio para combinar a manera de restar, por lo menos una porción de σ_v con por lo menos una porción de σ_u para obtener una representación de la conductividad de una segunda porción radial de la formación.

25 22.- El aparato de conformidad con lo reivindicado en la reivindicación 21, caracterizado en que el medio para combinar los valores ortogonalmente relacionados de σ_u y σ_v incluyen medios para combinar aditivamente por lo menos una porción de σ_v con por lo menos una porción de σ_u para obtener una representación de la conductividad de una primera porción radial de la formación y un medio para combinar a manera de restar, por lo menos una porción de σ_v con por lo menos una porción de σ_u para obtener una representación de la conductividad de una segunda porción radial de la formación.

11-5-73

ME

386805



vindicado en cualquiera de las reivindicaciones 14 a
21, caracterizado porque comprende además una disposi-
ción de bobinas destinada a moverse a través del pozo
de sondeo y que incluye al menos una bobina transmisora
5 y por lo menos una bobina receptora, y medios para
activar la bobina transmisora con corriente alterna pa-
ra establecer tal campo electromagnético en la forma-
ción que induzca en la bobina receptora una señal tal
que tenga una amplitud y una fase con relación a dicha
10 corriente alterna que dependan de la conductividad y de
la heterogeneidad de la formación, estando acoplada di-
cha bobina receptora con dichos medios productores de
señales.

23.- Un método y un aparato para obtener
15 indicaciones características de una formación de tierra
atravesada por un pozo de sondeo.

Tal y como se ha descrito en la Memoria
que antecede, representado en los dibujos que se acom-
pañan y con los fines que se han especificado.

20 Esta Memoria consta de cincuenta y ocho
hojas escritas a máquina por una sola cara.

16 MAYO 1973

Madrid,

P.A.

25

RMM
11-5-73

ME

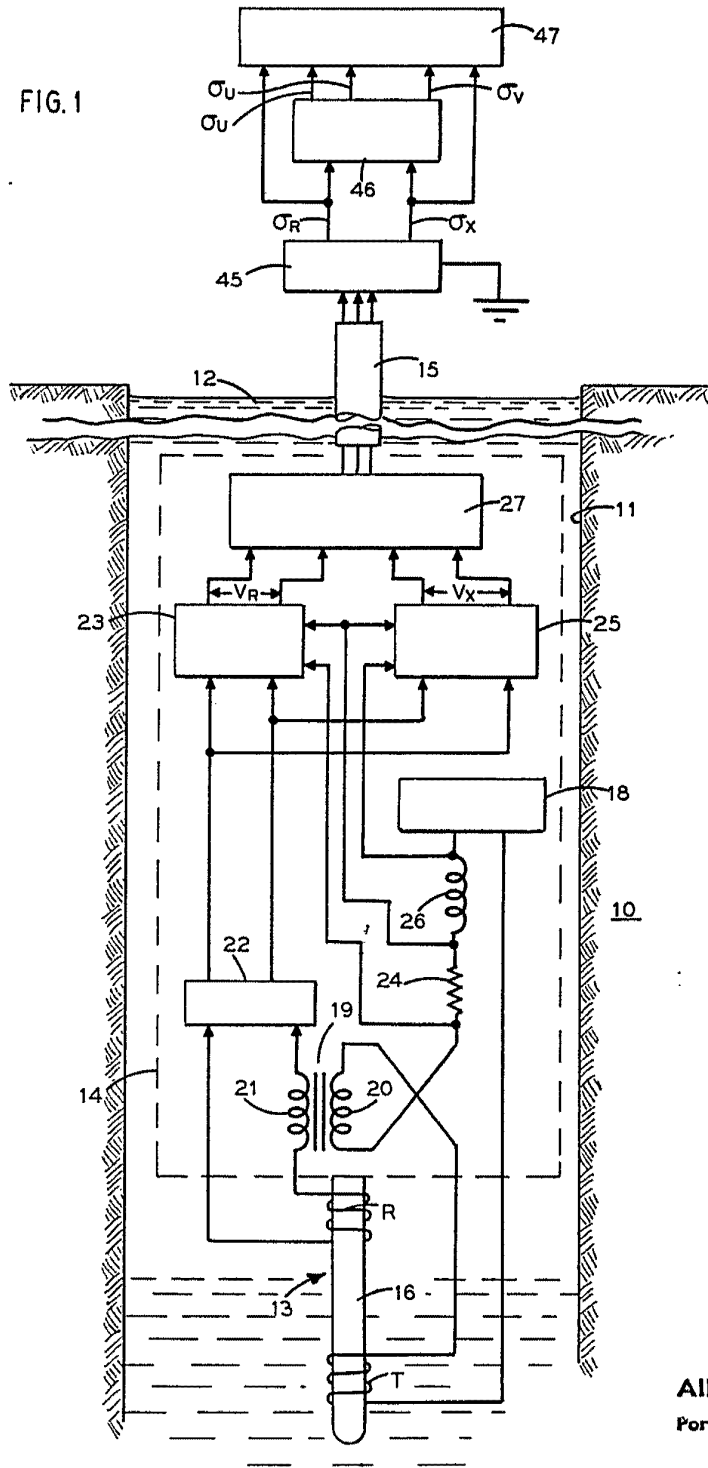
- 58 -

[Handwritten signature]

386865 28 DEC 1972



FIG. 1



Alberto de Elzabur
Por Focher

386865

28 DEC 1951



FIG. 2

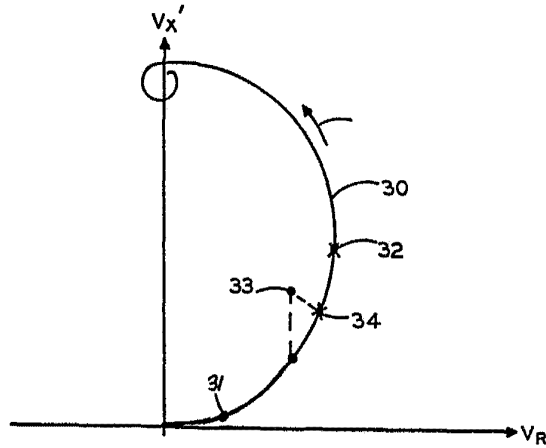


FIG. 3

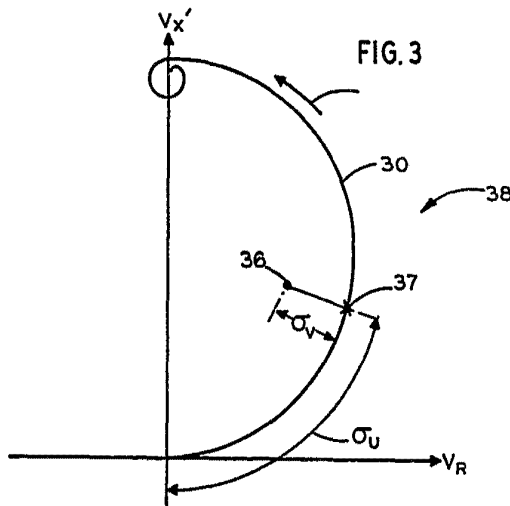
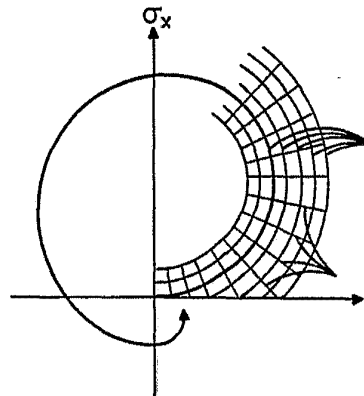


FIG. 3A



Alberic
For Found

386865

28 DEC 1972



FIG. 4

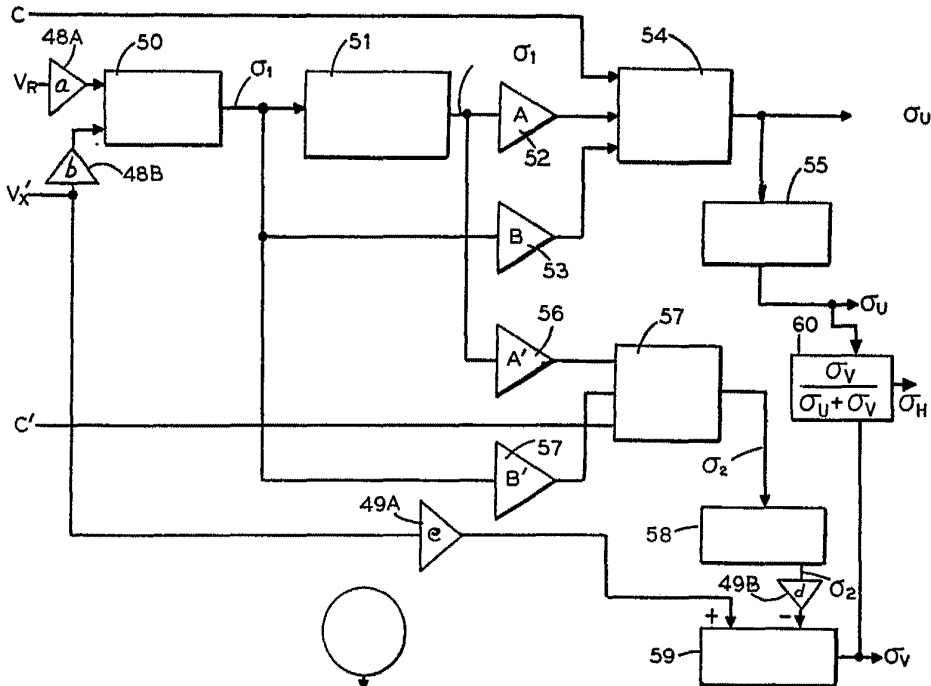
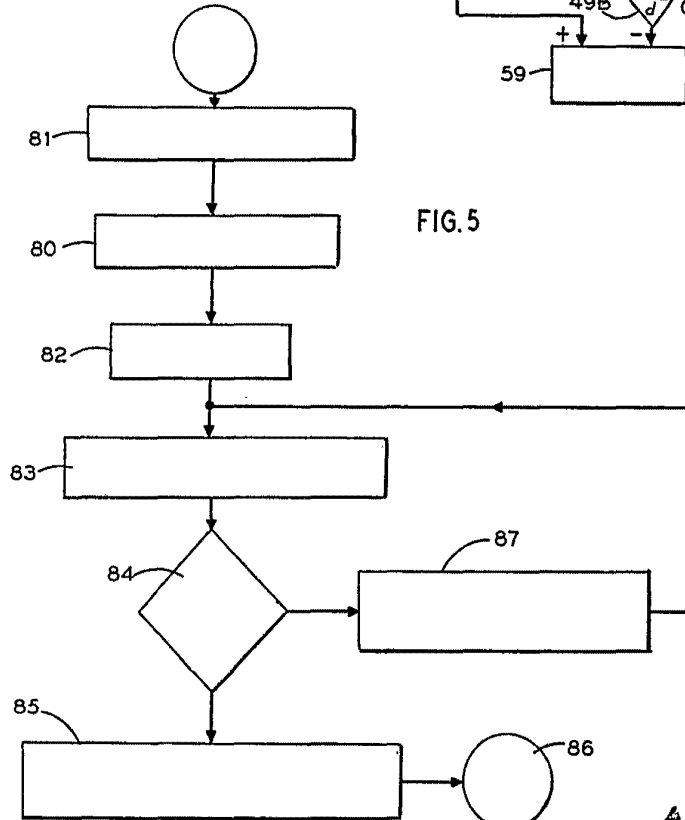


FIG. 5



Alberro
 For Pours

446613

386865

28012



FIG. 6

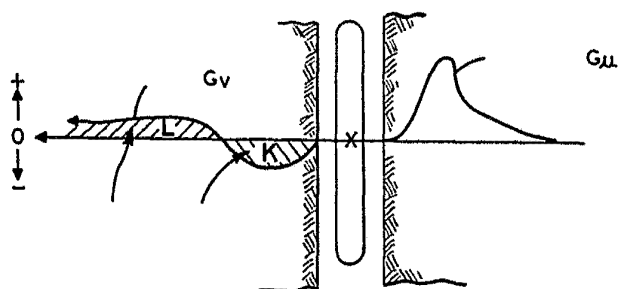
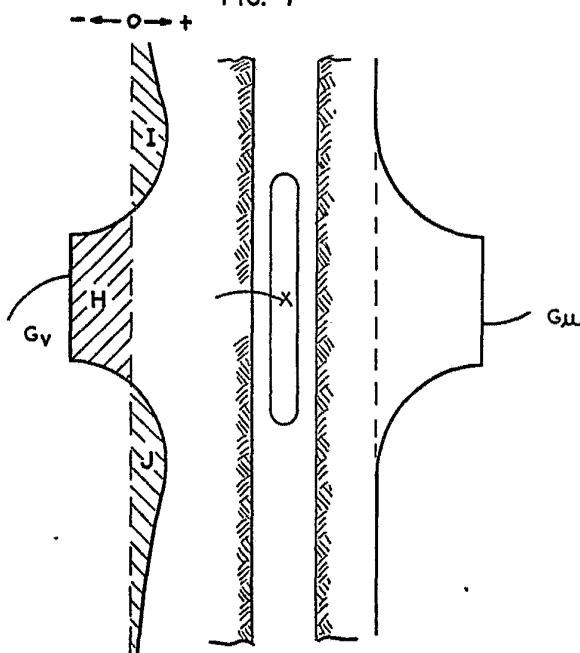


FIG. 7



Alberto de Elcano
Por Pedro

386865



FIG. 11

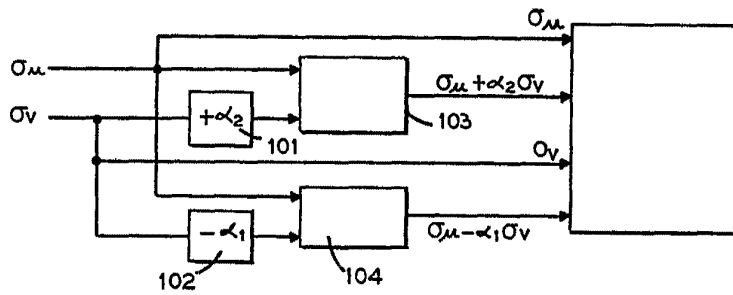
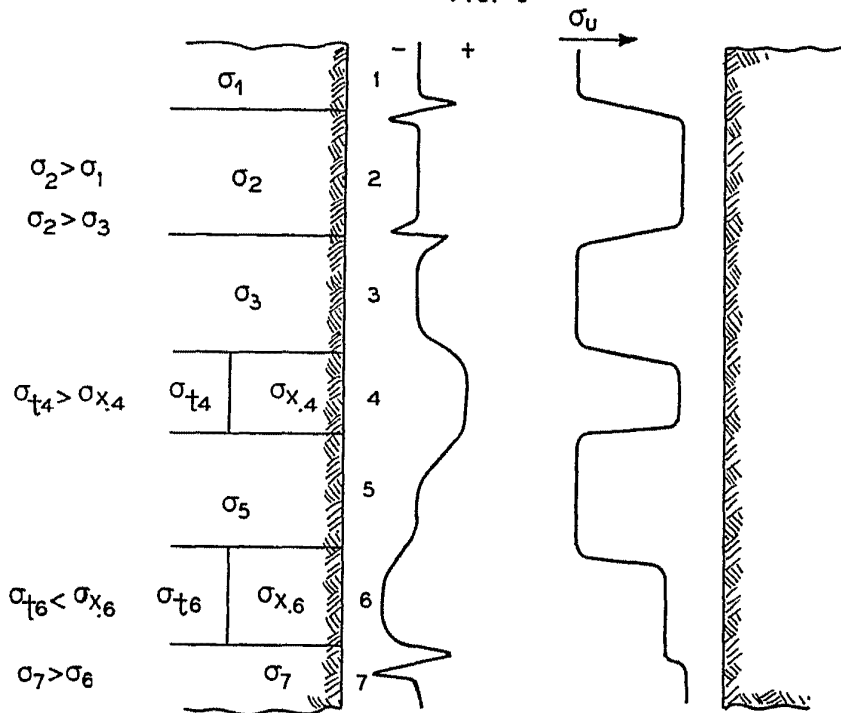
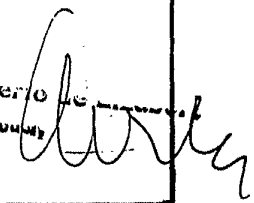


FIG. 8



Alberio
 For Foundry



386865

28 DIC.



FIG. 9

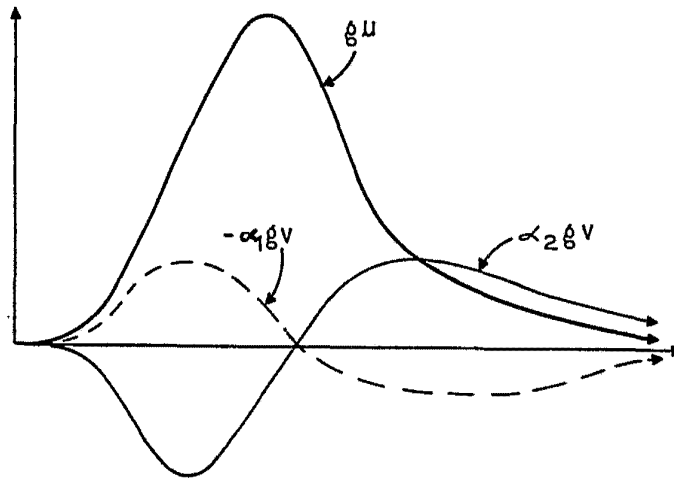
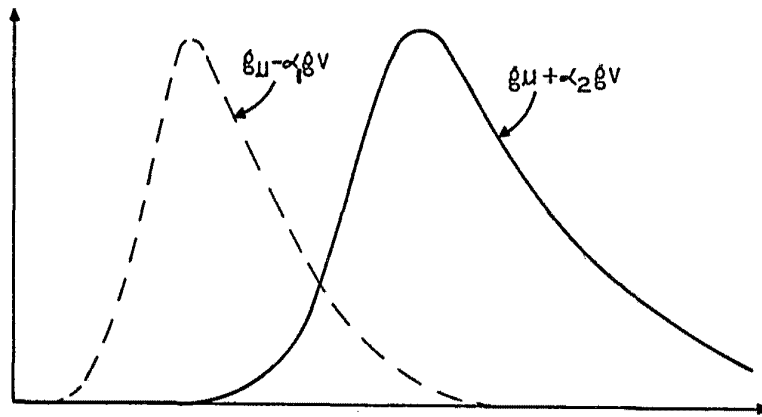


FIG. 10



For drawing: *[Handwritten signature]*