

306276



PATENTE DE INVENCION

=====

MEMORIA DESCRIPTIVA

Sobre:

"UN METODO PARA LA DETERMINACION DE LA GEOMETRIA LITOLOGICA
DE UNA SECCION DE LA TIERRA!"

Solicitante: CONTINENTAL OIL COMPANY, Entidad norteamericana,
con domicilio en 1000 South Pine Street -
PONCA CITY, OKLAHOMA (U.S.A.)

Inventores: D. Milford Ray Lee, D. Billy Joe Heath y D.
Kenneth Harold Waters, todos ciudadanos america-
nos.-

306276



La presente invención se refiere a las investigaciones sismográficas, y más particularmente, pero sin carácter limitativo, concierne a un método perfeccionado para la determinación de la geometría litológica usando solamente equipos situados en la superficie de la tierra, y todavía más particularmente, se refiere a un método para la obtención de un trazado aproximado de la impedancia a la energía sísmica usando técnicas sismográficas. El trazado de impedancia sísmica citado, incluye el producto de la densidad y la velocidad sísmica en función de la profundidad.

En las investigaciones sismográficas convencionales, se produce un impulso sísmico en la superficie de la tierra o en sus proximidades, el cual se propaga hacia abajo a través de las varias formaciones litológicas. Algunas partes del impulso sísmico son reflejadas a la superficie por las inter-superficies que separan capas o lechos con diferente velocidad de propagación de la energía sísmica. Estas reflexiones son detectadas en la superficie y grabadas con relación al tiempo transcurrido para obtener lo que se conoce generalmente en el arte como un sismograma. El sismograma proporciona, básicamente la magnitud del tiempo transcurrido durante el doble viaje de la energía sísmica, o sea su propagación hacia abajo hasta las distintas inter-superficies y su reflexión hacia la superficie de la tierra. Esta información permite la información general sobre la situación de las inter-superficies reflectoras. Sin embargo, el sismograma convencional resulta algo difícil de interpretar, incluso por los expertos en el arte, ya que es muy poca la información que proporciona acerca del carácter y grosor de muchos de los lechos subterráneos, por lo que la identifi-

306276



cación de éstos es con frecuencia difícil.

- Se sabe desde hace tiempo que la información de la energía sísmica reflejada está relacionada en alguna forma con la separación entre las varias inter-superficies y, por lo tanto, está relacionada con el grosor de los distintos lechos. Por ejemplo, es sabido que el mínimo grosor de un lecho que puede ser detectado por las técnicas sismográficas depende del componente de mayor frecuencia de la energía sísmica introducida en la tierra. En general, dos inter-superficies semejantes producirán una reflexión sísmica reforzada en respuesta a la energía sísmica que tenga una longitud de onda relacionada con la distancia existente entre las inter-superficies. La fuente más convencional de energía sísmica, los explosivos, producen un impulso de energía cuyos componentes de frecuencia poseen amplitudes imprevisibles y no repetibles.

- Más recientemente, han sido desarrollados métodos sismográficos para determinar los tiempos del viaje de ida y vuelta de la energía sísmica, los cuales emplean una señal sísmica no repetible y de anchura de banda de frecuencias conocida, y conocidos también el contenido de frecuencias y la orientación de fase de los componentes de frecuencia. La señal sísmica convencional varía continuamente en frecuencia entre unos límites superior e inferior para producir una señal que es conocida por los expertos en el arte como señal de barrido, bien sea barrido ascendente o descendente. La señal sísmica de barrido es generada por un transductor que es capaz de reproducir exactamente la misma señal bajo condiciones cualesquiera. Para reducir los ruidos de interferencias y amplificar las reflexiones

306276



de la señal con barrido, se han desarrollado varias técnicas de composición que implican la generación secuencial de la misma señal en diferentes puntos de la tierra y la grabación de las reflexiones en puntos espaciados y predeterminados. La señal compuesta es correlacionada después con la señal original con barrido para producir un sismograma de impulso equivalente del cual puede determinarse el tiempo del viaje de ida y vuelta de la energía sísmica a los "sucesos sísmicos" identificables. Este método general es descrito en sus varios aspectos en las Patentes norteamericanas números 2,688,124; 2,989,726; 2,808,577; 2,874,795; 2,981,928 y otras, todas las cuales han sido asignadas a la titular de la presente invención.

Como ya se mencionó antes, un sismograma proporciona solamente datos del tiempo de viaje. Se ha reconocido en forma general en el arte, que el llamado trazado de velocidad o trazado de impedancia es un método ideal de presentación de datos subterráneos debidos a que está directamente referido al carácter físico y geometría de los lechos. Los medios convencionales para la obtención de estos datos de velocidad, han consistido en una herramienta de trazado que se introduce en un pozo perforado para medir los incrementos de las velocidades acústicas, que se llevan a una curva con relación a la profundidad.

Se han realizado algunos intentos para convertir los datos sísmicos convencionales en presentaciones del tipo de curvas de impedancia. Uno de tales métodos emplea señales sísmicas generadas por explosivos que son tratadas por el llamado filtro inverso, basado en la primera señal de reflexión recibida para eliminar los efectos de

306276



- instrumentación y obtener por último una presentación del tipo trazado-impedancia, la cual es más susceptible de interpretación que los datos sísmicos convencionales; sin embargo, éste y otros intentos han sido considerados poco prácticos desde el punto de vista funcional, y son de una seguridad más bien dudosa.
- 5.
- La presente invención, en sus aspectos más amplios, implica la producción de un trazo obtenido por técnicas de reflexión sísmica, y en el cual, las fases relativas de una banda ancha de componentes de frecuencia de energía sísmica son ajustadas a cero, y las amplitudes relativas son ajustadas hasta que una octava determinada tiene la misma potencia espectral que cualquier otra octava relacionada. En la práctica de la presente invención, se usa una señal sísmica que tenga un contenido de frecuencia predeterminado o conocido, para producir un registro de la reflexión o sismograma. El sismograma es entonces correlacionado con la señal sísmica original para producir un equivalente de impulso o señal correlacionada, en la cual, todos los componentes individuales de frecuencia o frecuencias elementales de la señal sísmica original son reorientadas con relación a un punto de fase común. Las amplitudes relativas de segmentos predeterminados del espectro de frecuencia, preferiblemente de igual anchura de banda, son ajustadas luego para "normalizar" la señal correlacionada y corrección de la atenuación (pero no la interacción) ejercida por la tierra sobre las distintas frecuencias de la señal sísmica. Luego de correlacionada la señal, que constituye un sismograma de impulso de espectro normalizado con anchura de banda limitada, se convierte en un trazado de impedan
- 10.
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.

306276



5. cia aproximada mediante la integración y amplificación exponencial de la señal para producir una señal o trazo que se aproxima estrechamente al trazado de impedancia de energía sísmica realizado en un pozo o agujero descendente. Hemos descubierto que la señal integrada sola constituye también un trazado de impedancia aproximada que es mucho más interpretable que el sismograma convencional, y el cual será tan bueno sustancialmente como la señal amplificada exponencialmente. Hemos descubierto también que cuanto más
10. ancha sea la banda de frecuencia de la señal sísmica, particularmente en el extremo inferior del espectro de frecuencia, tanto más fiel será la aproximación a una trazado exacto de la impedancia.

15. Por lo tanto, es un objeto de la presente invención la provisión de un método perfeccionado para determinar la geometría, y en cierta extensión, el carácter físico de los estratos subsuperficiales de la tierra sin penetrar mecánicamente la superficie de la misma.

20. Otro objeto de la invención es proveer un método perfeccionado para la exhibición de los datos sismográficos, el cual es más fácilmente interpretado y más informativo.

25. Otro objeto más de la invención es proporcionar un método para la obtención de un trazado aproximado de la impedancia a la energía sísmica de la tierra, usando técnicas sismográficas.

Todavía otro objeto de la invención es la provisión de un método sismográfico más económico para la determinación de la geometría litológica de un área.

30. Otro objeto de la invención es la provisión de un método del tipo descrito, el cual puede ser fácil y eco-



306276

nómicamente utilizado usando circuitos eléctricos analógicos.

Todavía otro objeto de la invención es la provisión de un método del tipo descrito, el cual requiere un número considerablemente menor de datos sismográficos para determinar la litología de una zona.

5.

Muchos objetos y ventajas adicionales de la presente invención serán puestos de relieve para aquellas personas expertas en el arte en la descripción detallada que sigue y en los dibujos anejos, en los que:

10.

La figura 1 es un diagrama esquemático ilustrando en detalle los pasos del método de la presente invención;

La figura 2 es un diagrama esquemático del equipo que puede emplearse para la ejecución de ciertos pasos del método de la presente invención;

15.

La figura 3 es un diagrama esquemático del equipo adicional que puede emplearse para la ejecución de otros pasos de la presente invención;

La figura 4 es un esquema del circuito de un integrador que puede ser usado en el equipo de la figura 3;

20.

La figura 5 es una curva que ilustra el funcionamiento del amplificador exponencial que puede ser empleado en el equipo de la figura 3;

25.

La figura 6 es una reproducción de una pluralidad de registros sísmicos de campo, compuestos y normalizados, de una zona particular;

La figura 7 es una reproducción de un trazado de velocidad en un pozo perforado en la zona donde se obtuvieron los datos sísmicos de la figura 6;

30.

La figura 8 es una reproducción de cinco trazos sismográficos sintéticos e idénticos compilados del traza-

306276



do de velocidad de la figura 7;

La figura 9 es una reproducción de un par de trazos obtenidos de acuerdo con el método de la presente invención;

5. Las figuras 10 a la 14 son dibujos esquemáticos que ayudarán en la explicación de nuestra teoría de la presente invención;

La figura 15 es una colección de trazos que sirve para ilustrar la importancia de los componentes de baja frecuencia en una señal sísmica; y,

La figura 16 es una colección de trazos que demuestra el grado de refinamiento que puede esperarse como resultado de la amplificación exponencial del trazo integrado.

TEORIA Y DESCRIPCION GENERAL

15. El método de la presente invención implica la introducción en la tierra de una pluralidad de componentes de frecuencia de energía sísmica en relación de fase conocida o predeterminada y la detección de las reflexiones sísmicas de los componentes de frecuencia. Más específicamente,
20. se introducen en la tierra unos componentes de frecuencia de energía sísmica que tengan una banda relativamente ancha, y una amplitud plana a través de todo el espectro de frecuencia. Las reflexiones de la energía sísmica son detectadas y grabadas con relación al tiempo transcurrido. El registro de la señal reflejada es tratado para eliminar cualquier diferencia de fase relativa entre los componentes de frecuencia de la energía sísmica original, para eliminar cualquier error de fase introducido por la instrumentación, y para
25. ajustar a 90° el desfase introducido por el proceso de reflexión en la tierra. Las amplitudes relativas de los compo-
- 30.

306276 20



nentes son ajustadas hasta que cualquier octava dada en todo el ancho de banda de las frecuencias de la energía sísmica tenga igual potencia espectral que cualquier otra octava relacionada.

5. Los "sucesos" sísmicos de un sismograma convencional están compuestos, en su mayor parte, por una pluralidad de reflexiones, y sus características netas quedan influidas grandemente por consideraciones sobre las longitudes de onda. Las longitudes de onda son medidas en pies, así que alguna
10. parte de los "sucesos" de la reflexión compuesta, es información sobre geometría litológica expresada en pies. Así, muchas reflexiones principales están en cierto sentido, sintonizadas con algunas separaciones inter-superficiales o secuencia de las mismas. Si en una señal sísmica intro-
15. ducida en la tierra existen algunas longitudes de ondas que tengan la adecuada relación con las separaciones existentes entre las intersuperficies, el sistema terrestre seleccionará estas longitudes de onda particulares devolviéndolas selectiva y preferentemente como parte de la señal que es detectada en la superficie. Las señales reflejadas han sufrido,
20. por tanto, un filtrado que ha producido un enriquecimiento de una frecuencia específica, y este enriquecimiento se ha producido en una forma que es referible directamente a la geometría litológica. Según esto, resulta preferible que la
25. señal sísmica de entrada tenga una ancha banda de frecuencias que contenga todas las longitudes de onda posibles, con objeto de obtener todos los valores posibles de separaciones de inter-superficies, y esto resulta particularmente cierto en el extremo inferior del espectro de frecuencias, como se puntualizará después con mayor detalle.
- 30.

306276



- El método de la presente invención se confirma y será más fácilmente comprendido mediante la siguiente derivación matemática. La reflexión de la energía sísmica entre dos distintas formaciones de rocas que tengan impedancias a la energía sísmica representadas por Z y ΔZ está representada por la fórmula:

$$\Delta R = \frac{(Z + \Delta Z) - Z}{(Z + \Delta Z) + Z} \quad (1)$$

10. en la que ΔZ es la variación del coeficiente de reflexión R . Si el cambio de impedancia a la energía sísmica entre dos formaciones de rocas adyacentes es pequeño, la ecuación (1) puede reducirse a:

$$15. \quad \Delta R = \frac{\Delta Z}{2 Z} \quad (2)$$

Usando las tablas standard de diferenciales, pueden hacerse las siguientes substituciones en la ecuación (2):

$$20. \quad \Delta R = \frac{1}{2} \Delta (\text{Log}_e Z) \quad (3)$$

Se apreciará así que la variación del coeficiente de reflexión es la mitad de la variación del logaritmo natural de la impedancia Z a la energía sísmica.

- Es sabido que la impedancia que presenta la tierra a la energía sísmica, cambia de manera uniforme, porque puede representarse por una curva continua que represente la impedancia a la energía sísmica trazada con relación al tiempo de desplazamiento de una onda sísmica en la tierra. Desde luego, puede obtenerse una aproximación a esta curva
25. uniforme por un número de puntos con los intervalos de tiempo
- 30.

306276



- Δt , y esta aproximación será tanto más precisa cuanto más pequeños se hagan los intervalos Δt . Así, si cada pequeño coeficiente de reflexión es tomado a través de un pequeño intervalo de tiempo, el cual corresponderá a una pequeña distancia en profundidad, se producirá un impulso de reflexión, ya sea positivo o negativo, por cada incremento de profundidad. El valor o amplitud del impulso de reflexión será también igual al coeficiente de reflexión originado por el cambio en la impedancia a la energía sísmica a través de esa profundidad. La reflectividad $r(t)$ en cualquier momento puede ser definida, por tanto, como el valor que multiplicado por el tiempo durante el cual actúa, produce un aumento del coeficiente de reflexión. Por lo tanto, $r(t) \cdot \Delta t = \Delta R$, y mediante la sustitución en la ecuación (3), se obtiene la ecuación siguiente:

$$r(t) \cdot \Delta t = \frac{1}{2} \Delta [\text{Log}_e Z(t)] \quad (4)$$

La ecuación (4) puede escribirse también como:

$$r(t) = \frac{1}{2} \frac{\Delta [\text{Log}_e Z(t)]}{\Delta t} \quad (5)$$

A medida que Δt se hace más y más pequeño para hacer el trazado de impedancia más y más aproximado, la ecuación (5) se convierte en:

$$r(t) = \frac{1}{2} \frac{d [\text{Log}_e Z(t)]}{dt} \quad (6)$$

- La reflectividad $r(t)$ según se define por la ecuación (6) es la representación matemática de un registro sismográfico que se obtendría si se introdujera en la tierra un impulso sísmico de anchura de banda infinita y no

306276



se produjeran reflexiones o reverberaciones múltiples. Así se observará que un registro sísmico de esta clase está referido a la variación $Z(t)$ de impedancia a la energía sísmica. La ecuación (6) puede ser invertida para obtener

5. el trazado de impedancia en términos de los registros sísmicos de anchura de banda infinita, en la siguiente forma: Se integran primero ambos lados de la ecuación con respecto al tiempo para obtener:

10.
$$\int_0^t r(t) dt = \int_0^t \frac{1}{2} \frac{d}{dt} [\text{Log}_e Z(t)] dt \quad (7)$$

que puede ser reducida a:

15.
$$\int_0^t r(t) dt = \frac{1}{2} [\text{Log}_e Z(t) - \text{Log}_e Z(0)] \quad (8)$$

y, finalmente:

$$\int_0^t r(t) dt = \frac{1}{2} \text{Log}_e \frac{Z(t)}{Z(0)} \quad (9)$$

20. Tomando el exponencial de ambos lados de la ecuación (9) se tiene:

$$e^{2 \int_0^t r(t) dt} = \frac{Z(t)}{Z(0)} \quad (10)$$

que puede escribirse como:

25.
$$Z(t) = Z(0) e^{\int_0^t r(t) dt} \quad (11)$$

donde $Z(t)$ es la impedancia con respecto al tiempo de viaje de la señal sísmica. La ecuación (11) es la fórmula básica para el proceso de obtención de un trazado de impe-

30. dancia partiendo de un sismograma teóricamente perfecto

306276



r(t) obtenido por la introducción de una señal de anchura de banda infinita, de amplitud igual o plana, en la tierra. Por supuesto, los entendidos en el arte apreciarán que la obtención de una señal de anchura de banda infinita y su consiguiente sismograma, es imposible.

5. Hemos descubierto que una muy valiosa aproximación en el trazado de impedancia puede conseguirse mediante el tratamiento de una señal de anchura de banda finita, y espectro con amplitud sustancialmente plana, y su registro representado por S(t) de acuerdo con la ecuación:

$$\bar{Z}(t) = Z(o) e^{A \int_0^t S(t) dt} \quad (12)$$

15. en la que $\bar{Z}(t)$ representa la curva aproximada de impedancia a la energía sísmica (acústica) en función del tiempo de viaje de la energía sísmica, siendo Z(o) una constante que representa la impedancia a la energía sísmica en el tiempo cero, y siendo A una constante determinada empíricamente. Así, se verá que el método de la presente invención, en sus aspectos generales, impone la producción del tipo particular de sismograma descrito, que luego es tratado en forma que produzca una solución aproximada para $\bar{Z}(t)$ en la ecuación (12). Esto implica, en su más exacta solución, la integración del sismograma y luego la amplificación exponencial del sismograma integrado. Las constantes Z(o) y A pueden ser introducidas como factores de amplificación lineal o "base de aproximación" con los datos disponibles. Hemos descubierto, no obstante, que una aproximación muy buena a la solución de la ecuación (12) puede obtenerse simplemente por la integración de los datos sísmicos de tipo especial.

20.

25.

30.

306276



Este último descubrimiento fué hecho siguiendo una "representación igual por concepto de octavas". Una vez realizado este descubrimiento, la siguiente reconciliación de este concepto con la ecuación empíricamente determinada (12),

5. confirma ambas proposiciones.

Haciendo la suposición de que el valor de la integral

$$A \int_0^t S(t) dt \quad (13)$$

10. de la ecuación (12) es siempre mucho menor que la unidad, y siendo, en efecto, tan pequeño, que puedan desdeñarse su cuadrado y potencias superiores en comparación con la propia integral, y sustituyendo para mayor simplicidad la letra X por la integral se obtiene la ecuación

15.

$$\bar{Z}(t) = Z(o) \cdot e^x \quad (14)$$

puede desarrollarse en la serie conocida de potencias:

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \dots \quad (15)$$

20. Y como ha sido establecido que $\frac{x^2}{2}$ y los términos de mayor orden pueden ser desdeñados en comparación X,

$$\bar{Z}(t) = Z(o) (1 + x) \quad (16)$$

y sustituyendo nuevamente por X, tenemos

25.

$$\bar{Z}(t) = Z(o) + A_z(o) \int_0^t S(t) dt \quad (17)$$

Una interpretación de la ecuación (17) es que el valor aproximado del trazado de impedancia en el tiempo "t" es la constante Z(o) más una integral amplificada del sismograma especial hasta el tiempo "t". Como quiera que el in-

30.

306276



terés primordial se basa en las variaciones del valor de la impedancia con respecto al tiempo de desplazamiento, la forma simplificada del trazado de impedancia es justamente una integración amplificada del trazado sísmico especial.

5.

METODO PREFERIDO

Un nuevo método de practicar la presente invención está ilustrado esquemáticamente en la figura 1. Una señal sísmica con barrido es introducida en la tierra en respuesta a, y en sincronización con, una señal predeterminada de control procedente de una fuente adecuada 8. La energía sísmica se propaga hacia abajo siguiendo una pluralidad de caminos 9 a las superficies subterráneas de impedancia 10 donde una parte de la energía sísmica es devuelta por reflexión a lo largo de una pluralidad de caminos 11 a la superficie de la tierra donde es recibida por un detector 12 y aplicada a un inscriptor o grabador 13. Este proceso es repetido sucesivamente un número de veces teniendo cuidado de mantener la adecuada relación del tiempo cero entre las señales grabadas sucesivamente. Las diversas señales son aplicadas después a un compositor 14 el cual reproduce y suma simultáneamente las señales registradas sucesivamente en el inscriptor 13 para producir una señal compuesta: La señal compuesta es aplicada a un correlator 15 con la señal de control de barrido para desplazar la fase de los varios componentes de frecuencia de la señal de barrido a un punto común en tiempo, y producir una señal de correlación que es un sismograma del tiempo de viaje de ida y vuelta. El sismograma, es el que se produciría en respuesta a un impulso de energía sísmico con una anchura de banda finita y predeterminada, y cero de fase relativa.

306276



La señal correlacionada es aplicada luego a un aparato normalizador 16 donde se realiza el ajuste de amplitud en segmentos predeterminados del espectro de frecuencia en forma que se describirá después. La señal normalizada es aplicada a

5. un integrador 17, donde la señal es integrada desde un tiempo cero o desde un plano de referencia, en toda su longitud. En la mayoría de los casos, la señal resultante de la integración, que sale del integrador 17, será una aproximación lo suficientemente precisa al trazado de la impedancia, de

10. forma que no hay justificación para seguir el proceso. Sin embargo, para mayor refinamiento, la señal procedente del integrador es amplificada exponencialmente en el amplificador exponencial 18 (tal como el amplificador Antilog de base e fabricado por Electronic Associates, Inc. Long Branch,

15. New Jersey, usando su Generador de Función Diodo Dual Log X), para producir un trazado de impedancia que es relativamente una cercana aproximación al trazado de velocidad de un agujero vertical.

El método de la presente invención descrito en

20. la figura 1, puede ser practicado usando el equipo ilustrado esquemáticamente en las figuras 2 y 3. Un dispositivo de grabación magnética, indicado generalmente por el número de referencia 50, que puede ser convenientemente del tipo descubierto en la Patente norteamericana nº 3.065,453, con

25. cedida a W.E.N. Doty el 20 de Noviembre de 1.962, titulada "Composición de Señales Producidas Secuencialmente", y asignada al asignatario de la presente invención. El dispositivo inscriptor 50 tiene un tambor rotatorio sobre el que se dispone una hoja 52 adecuada para el registro magnético.

30. Una señal con barrido no repetible y con frecuencia conti-

306276



nuamente variable que se extiende sobre un periodo de unos pocos segundos, es registrada sobre una pista 54 de la hoja de registro 52. La señal de barrido puede ser convenientemente de barrido ascendente o descendente entre 6 y 65 cps, 5. por ejemplo. La señal de barrido es reproducida mediante una cabeza captadora 56 que la capta de la pista 54 y es radiada por medio de un adecuado transmisor de radio 58 provisto de la antena 60. La señal con barrido de control es recibida con ayuda de los circuitos adecuados dispuestos 10. en un camión 62, el cual transporta también el transductor vibratorio 64.

En general, el transductor 64 comprende un miembro para el acoplamiento a tierra, el cual puede ser prensado contra la superficie de la tierra por el peso del propio 15. camión 62.

La señal sísmica de barrido generada por el transductor se propaga en sentido descendente a lo largo de las sendas 68, por ejemplo. Cuando llega a una intersuperficie 70 de impedancia, una parte de la energía sísmica es reflejada generalmente a lo largo de las sendas 72 hacia los medios detectores adecuados, tales como los geófonos 74, 76 y 78. La señal sísmica reflejada, detectada por el geófono 74, es amplificada y registrada por la cabeza grabadora 80 sobre la pista 82 de la hoja de registro 52 del tambor. La 20. señal sísmica de reflexión detectada por el geófono 76 es igualmente amplificada y grabada por la cabeza 83 en la pista 84, y la señal sísmica de reflexión detectada por el geófono 78 es registrada por la cabeza de grabación 86 sobre la pista 88. La reproducción de la señal de barrido de control 25. de la pista 54, y el consiguiente funcionamiento del trans- 30.



306276

- ductor 64, son repetidos una pluralidad de veces para obtener una serie de señales sísmicas reflejadas. Las cabezas grabadoras 80, 83 y 86 se encuentran situadas a lo largo de la hoja de registro 52 entre cada una de las reproducciones de la señal de barrido para proporcionar una serie de pistas paralelas 82, 84 y 88 que representan las respectivas señales reflejadas recibidas por los géófonos 74, 76 y 78 para facilitar la composición de estas señales según se describirá. También el camión 62 puede ser movido entre las
5. varias transmisiones para que el transductor 64 mejore la relación señal-ruido en la señal compuesta resultante, como comprenderán los expertos en el arte.
- 10.

- En la descripción que antecede, se apreciará que la señal de barrido de control grabada en la pista 54 sirve de arranque inicial o punto cero en tiempo. Usando esta señal como nivel o referencia, puede determinarse la situación de las diversas inter-superficies que originan las reflexiones registradas, por el tiempo transcurrido entre el arranque en el punto cero del tiempo y el momento en que las reflexiones son registradas.
- 15.
- 20.

- Después de haber compilado los datos sísmicos, la hoja de registro 52 es transferida a un aparato 100 (Véase fig. 3), el cual compone, correlaciona, normaliza, integra y amplifica exponencialmente los datos. La hoja de registro 52 se coloca sobre el tambor reproductor 102 que está unido al árbol 104. El tambor de correlación 106 y el tambor de reproducción 108 están unidos también al árbol 104 que es accionado por cualquier medio adecuado indicado en forma general por el número de referencia 109. Una cabeza reproductora 110 está situada sobre la pista de re-
- 25.
- 30.

306276



gistro 54 para reproducir la señal original de control cuando gire el tambor 102 por medio del eje 104. La señal de control con barrido es amplificada y grabada por la cabeza grabadora 112 sobre la pista de registro 112a del tambor de correlación 106. Una única cabeza reproductora 114 explora todas las pistas de registro 82 para reproducir simultáneamente y añadir o componer los juegos separados de datos sísmicos. La señal reproducida y compuesta, es amplificada después y registrada por la cabeza grabadora 116 sobre la pista de registro 116a del tambor de correlación 106.

Una cabeza alargada de correlación 120 consta de la cabeza captadora de tiempo 122 y la cabeza captadora de correlación 128, las cuales se encuentran dispuestas adyacentes a las pistas de registro 112a y 116a respectivamente. En general, estas cabezas emplean un conductor en circuito impreso que tiene una configuración correspondiente a la forma de la señal de barrido y están soportadas en forma adecuada para que se extiendan circunferencialmente alrededor de la mayor parte del tambor 106 sobre las pistas respectivas 112a y 116a. La magnitud de la señal eléctrica generada en las cabezas respectivas es una medida del grado de coherencia entre la señal con barrido y la señal grabada en las respectivas pistas de registro 112a y 116a del tambor de correlación 106. Por lo tanto, cuando la señal con barrido grabada en la pista 112a del tambor de correlación 106 coincide con el tiempo cero en la cabeza captadora 122, se generará un impulso que será amplificado y grabado por la cabeza grabadora 124 sobre la pista de registro 126 del tambor de grabación 108. A medida que la señal compuesta compleja registrada sobre la pista 116a

306276



pasa por debajo de la cabeza captadora de correlación 128, se generará una señal de correlación sobre toda la longitud de la cabeza, señal que estará en proporción directa con el grado de coherencia entre la señal con barrido y la señal compuesta.

5.

Los circuitos de transcripción, el transmisor y receptor de radio, los geófonos y amplificador, y los circuitos de grabación introducen una cierta distorsión de fase al acumular los datos sísmicos en el aparato de la figura 2. No obstante, esta distorsión puede ser sensiblemente reducida si la cabeza captadora de correlación 128 tiene una configuración idéntica a la señal con barrido distorsionada por los instrumentos y ha sido colocada en relación de retraso con la cabeza captadora del tiempo cero 122 para compensar así automáticamente el retraso de fase introducido en la señal con barrido por los instrumentos.

10.

15.

La cabeza captadora de correlación 128 está dividida eléctricamente en una pluralidad de segmentos 128a, 128b, 128c, 128d y 128e mediante una serie de tomas o derivaciones eléctricas. A dichas tomas o derivaciones se han conectado una pluralidad de transformadores de aislamiento 130a-130e, para aislar y reproducir las señales de corriente alterna inducida en los respectivos segmentos 128a-128e. Estas señales aisladas son amplificadas por los amplificadores 132a-132e, respectivamente, pasando después a través de las resistencias variables 134a-134e, respectivamente. Los contactos deslizantes de las resistencias variables están conectados a través de los respectivos conductores 136a-136e con un osciloscopio multi-trazo 138. Los contactos deslizantes de las resistencias variables 134a-134e están co-

20.

25.

30.

306276



nectados también a un conductor 140 por las resistencias 142a-142e. El conductor 140 está conectado, a través de un interruptor 144, a un amplificador 146 el cual está conectado a la cabeza grabadora 148 dispuesta en su posición operativa adyacente al tambor de registro 108. Aunque solo se ha ilustrado una cabeza grabadora 148, se disponen generalmente varias cabezas grabadoras para grabar por separado los datos tratados que han sido grabados originalmente por una pluralidad de disposiciones de geófonos. En la práctica, las distintas cabezas grabadoras serán seleccionadas alternativamente por un selector adecuado o conmutador (no ilustrado).

El conductor 140 está conectado también, mediante el interruptor 150, con un circuito integrador 152, que puede ser sustancialmente como el mostrado en la figura 4, y comprende una resistencia 154 y un condensador 156. La salida del circuito integrador 152 está conectada a través de un interruptor 158 con el amplificador 146 y después con la cabeza grabadora 148 para que, si se desea, pueda grabarse sobre el tambor 108 una señal integrada, como se describirá posteriormente con mayor detalle. La salida del integrador 152 está conectada también con un amplificador lineal 160 de salida ajustable o bien sobre otro circuito lineal adecuado que pueda ser ajustado para variar la amplitud de la salida, como por ejemplo, una resistencia variable. La salida del amplificador 160 se inyecta al amplificador exponencial 162 cuya relación salida-entrada es sustancialmente la ilustrada en la curva 165 de la figura 5. La salida del amplificador exponencial 162 es inyectada a un segundo amplificador lineal ajustable 164, o a otro circuito ajusta-

30 6276



ble y lineal, y a través de un interruptor 166 al amplificador 146 y, finalmente, a la cabeza grabadora 148. Se ha previsto un segundo osciloscopio 168 para visualizar la salida del amplificador 164.

5. Podrá verse así, que después de que los datos sísmicos se han grabado sobre la hoja de registro 52 en la forma que se ha descrito, la hoja de registro es transferida al tambor de registro 102 del aparato 100. La cabeza captadora 114 explora simultáneamente todas las pistas de registro 82 para producir una señal compuesta. En algún momento durante el proceso de un juego de datos sísmicos, es reproducida también en la pista de registro 54 la señal de control de barrido por la cabeza 110, la cual es grabada sobre el tambor de correlación 106 por la cabeza grabadora 112. Como el tambor de correlación 106 continúa su giro, las señales grabadas magnéticamente en las pistas de registro 112a y 116a pasan debajo de las cabezas captadoras 122 y 128. Como antes se mencionó, las posiciones relativas de las cabezas captadoras 122 y 128 se disponen, preferentemente, para que compensen cualquier retraso de fase introducido por la reproducción, transmisión y recepción de la señal de control de barrido y por los geófonos y sistema de registro del aparato mostrado en la figura 2.
- 10.
- 15.
- 20.
25. Como la señal de control grabada sobre la pista de registro 112a del tambor de correlación 106 pasa por debajo de la cabeza captadora 122, se produce un impulso en la cabeza captadora 122 que es registrado por la cabeza grabadora 124 sobre la pista de registro 126. Después
30. de un corto intervalo de tiempo, la señal compuesta graba-

306276



- da en la pista de registro 116a del tambor de correlación 106 comienza a pasar por debajo de la cabeza captadora 128 y genera una señal de correlación en la cabeza captadora 128. La señal total generada en la cabeza captadora 128 constituye un sismograma equivalente de impulso, como se describirá posteriormente en gran detalle; sin embargo, como la tierra tiende a atenuar varias partes del espectro de frecuencia de la señal sísmica mientras esta viaja a través de la tierra, la señal de correlación debe ser normalizada para restituir el espectro de frecuencia una amplitud sustancialmente igual.
- 5.
- 10.

- El proceso de "normalización" se realiza de la forma siguiente: La señal total de correlación generada en la cabeza captadora 128 es dividida en las cinco señales componentes separadas por medio de los segmentos derivados 128a-128e y los transformadores de aislamiento 130a-130e, respectivamente. Las señales componentes son amplificadas por los amplificadores 132a-132e, respectivamente, inyectadas a las resistencias variables 134a-134e, y mostradas separadamente por el oscilador multi-trazo 138. Los contactos deslizantes de las diversas resistencias variables 134a-134e, son ajustados a continuación hasta que las amplitudes relativas de las señales componentes sean de valor igual o predeterminado en zonas de tiempo predeterminadas e interesantes. En la mayoría de los casos, la amplitud de las señales componentes será ajustada a la misma amplitud en una zona de tiempo de particular interés. Sin embargo, donde se disponga de un trazado de velocidad obtenido en pozo perforado en la localidad de los datos sísmicos, el método preferido para normalizar la correlación de la señal, es convertir el trazado de velocidad en
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.

306276



- un número igual de sismogramas sintéticos que tengan anchuras de banda correspondientes a las anchuras de banda de las señales componentes, ajustando luego las amplitudes de las señales componentes a las mismas amplitudes relativas. Una vez ajustadas las amplitudes relativas de las señales componentes en la forma predeterminada, la señal de correlación tal y como aparece en el conductor común 140 constituye, para las aplicaciones prácticas, un sismograma igual al que se obtendría mediante (a): la generación de un único impulso con anchura de banda predeterminada y finita, con espectro de amplitud sustancialmente plana y relación de fase igual a cero; y (b): la recuperación de las reflexiones sísmicas de dicho impulso sin sufrir atenuación o distorsión de fase por la tierra. Por lo tanto, la señal aplicada al conductor 140 puede ser representada por la función $S(t)$ en la ecuación (12).
- 5.
 - 10.
 - 15.

- Si se desea, el sismograma con anchura de banda finita puede ser grabado sin posterior tratamiento mediante el simple cierre del interruptor 144. Si se encuentra cerrado el interruptor 150 en lugar del interruptor 144, la señal $S(t)$ es aplicada al circuito integrador 152 para producir la señal de integración $\int_0^t S(t) dt$. Como se describirá después con mayor detalle, la señal de integración proporciona una aproximación muy buena del trazado de impedancia y resulta altamente útil. Cuando se desee, la señal de integración puede ser grabada sobre el tambor 108 mediante el simple cierre del interruptor 158. Si se cierra el interruptor 166 en vez del interruptor 158, la señal de integración $\int_0^t S(t) dt$ es multiplicada por el factor A
- 20.
 - 25.
 - 30.

306276



en el amplificador lineal de ajuste de amplitud 160 para producir una señal correspondiente a la función

$$A \int_0^t S(t) dt$$

5. La señal ajustada en amplitud en el amplificador 160, es inyectada después al amplificador exponencial 162 para producir una señal que puede ser descrita por la función

$$A \int_0^t S(t) dt \quad (18)$$

10. La señal (18) procedente del amplificador exponencial 162 es aplicada al amplificador 164 para producir una señal

$$Z(o) A \int_0^t S(t) dt \quad (19)$$

15. la cual pasa a través del interruptor 166 y amplificador 146 a la cabeza grabadora 148.

La señal (19) que sale del amplificador 164 puede ser visualizada en el osciloscopio 168 de forma que los valores absolutos de los lechos reconocibles quedan establecidos en los trazos que aparecen en la pantalla del osciloscopio 168. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la información primaria buscada serán los cambios en la impedancia, por lo que el establecimiento de los valores absolutos de la impedancia necesitan ser aproximados solamente.

20. En cualquier caso, la determinación precisa de los valores absolutos de la impedancia queda limitada a las situaciones en las cuales se hayan introducido en la tierra frecuencias muy bajas, como se describirá posteriormente en mayor detalle.

30. Con referencia ahora a la figura 6, aparecen en



306276

ella nueve trazos compuestos separadamente, correlacionados y normalizados, indicados colectivamente por la referencia numeral 170. Cada uno de los nueve sismogramas fué obtenido de acuerdo con el método descrito anteriormente usando una

5. señal sísmica con barrido de 6-65 cps. De esta forma, los trazos 170 son las señales que aparecieron en el conductor común 140 (Véase fig. 3).

Don referencia a la figura 7, el trazo 172 es un trazado de velocidad en agujero descendente practicado en un

10. pozo perforado en la misma vecindad en que se recogieron los datos para los trazos 170. Con referencia a la fig. 8, se indican por el numeral 174 cinco trazos idénticos sintéticos en forma colectiva que son otros tantos sismogramas de impulso obtenidos mediante una computadora digital partiendo del trazado de velocidad 172. El procedimiento de

15. obtención de los trazos 174 de los sismogramas sintéticos es bien conocido en el arte y no forma parte de la presente invención, empleándose los trazos para fines de comparación como se describirá a continuación. Sin embargo, se ha

20. aceptado generalmente en el arte, que los trazos 174 de los sismogramas sintéticos representan el sismograma teóricamente óptimo que puede ser obtenido usando un impulso de energía sísmica con un espectro plano en amplitud y comprendido entre 6-65 cps.

25. En la figura 9, el trazo inferior 176 es un trazado de impedancia obtenido del trazo más próximo 170a de la figura 6 mediante la integración y la amplificación exponencial del trazo 170 como se describió anteriormente. El trazo superior 178 está previsto para comparación y se

30. ha obtenido mediante la integración y amplificación exponen-

306276



cial de uno de los sismogramas sintéticos 174. La correspondencia entre los trazos 176 y 178 es fácilmente evidenciada. Pero, lo que es más importante, debe observarse la correspondencia entre el trazo 176 y el trazado de velocidad 172.

5. Por ejemplo, compárense los puntos 176a con el 172a, el 176b con el 172b, el 176c con el 172c y el 176d con el 172d. Así se observará que hay una sustancial correspondencia pico-a-pico entre el trazado de velocidad 172 y el de impedancia 176.

10.

METODO ALTERNATIVO

En la figura 10 se ilustra gráficamente una señal de impulso de banda ancha representada por la onda de impulso 180. Esta onda tiene una anchura de banda de 2-64 cps y cada frecuencia de dicha banda está representada igualmente.

15. Por ejemplo, un trazado del valor de las amplitudes relativas de cada una de las frecuencias, produciría el gráfico 182 de la figura 14. La onda de impulso 180 es igual a la suma de todos los componentes de frecuencia de igual amplitud entre 2-64 cps con la fase de dichos componentes orientada a un punto común que corresponde al pico 180a del trazo 180.

Se observará que la onda de impulso 180 conteniendo una banda de frecuencias relativamente ancha, es muy discreta y aguda, presentando un decidido carácter de alta frecuencia.

25. El hecho de que las frecuencias bajas, hasta de 2 cps, estén plenamente representadas en la composición, no cambia este carácter. De esta forma, se apreciará que una banda particular de componentes de frecuencia de igual amplitud puede ser sólo tan influyente como corresponde a su proporción relativa en el espectro total de frecuencia considerado. En otras palabras, si el espectro de amplitud de una señal de impulso de 2-64 cps es plano, como en la fig.

306276



- 14, la octava de 2-4 cps constituirá solamente un treinta y dosavo de la anchura total de la bada y jugará aproximadamente el mismo pequeño papel proporcionado en la conformación de la onda compuesta del impulso. Por ejemplo, con
5. referencia a la fig. 11, será evidente que la onda 184 de la octava 2-4 cps, tendrá muy poco efecto sobre el aspecto general de la onda 180. Las ondas de octavas sucesivas 186, 188, 190 y 192 para las octavas de 4-8 cps, 8-16 cps, 16-32 cps y 32-64 cps respectivamente, tendrán, evidentemente,
10. efectos crecientemente mayores sobre el aspecto de la onda total de impulso 180.

- Como quiera que ha sido aceptada desde hace mucho tiempo la conveniencia de la igual amplitud espectral en la energía sísmica, y debido a las dificultades de la genera-
15. ción y grabación de las bajas frecuencias, ha sido práctica común hasta aquí el desdeñar las bajas frecuencias en la energía sísmica debido al efecto relativamente pequeño que ejercerán las bajas frecuencias en el sismograma final, lo cual será explicado en mayor detalle a continuación en
20. la discusión que se hará de la figura 14. Sin embargo, hemos descubierto que las frecuencias más bajas resultan muy importantes en el método de la presente invención para obtener la aproximación de los valores absolutos de impedancia. Este hecho puede explicarse mejor examinando lo que sucede cuando un impulso sísmico de banda ancha encuentra dos
25. superficies de impedancia espaciadas. Se observará que para una separación dada entre intersuperficies, resultará mas reforzada una frecuencia particular como resultado de la adición directa de las reflexiones en fase en las dos inter-
30. superficies espaciadas, las cuales serán consideradas normal

306276



- mente como la cima y el fondo de un lecho geológico. Esta frecuencia puede ser considerada como la frecuencia "sintonizada". Las frecuencias inmediatamente encima y debajo de la frecuencia sintonizada, serán reforzadas en cierto grado mientras haya una adición general enfasada de las dos reflexiones. En una investigación más minuciosa, se encontrará que el alcance total del refuerzo de frecuencia para superficies con una separación particular, será sobre una base de una octava más bien que sobre una base de anchura de los ciclos-de-banda. Por ejemplo, si la frecuencia básica o frecuencia sintonizada en una separación particular de intersuperficies es de 20 cps, se producirá alguna adición enfasada en las frecuencias de ambos lados de los 20 cps en tanto éstas no constituyan una gran parte de una octava alejada de los 20 cps. Se apreciará, desde luego, que serán sintonizadas también algunas de las frecuencias más altas en los mismos lechos, pero, según se pondrá en evidencia posteriormente, estas frecuencias serán suprimidas por el presente método hasta un extremo tal, que son insignificantes como indicadores de la separación particular de las intersuperficies. Así, para cualquier separación particular, deberá encontrarse presente un componente de frecuencia como indicador, en la energía sísmica, para detectar la separación. El indicador comprenderá, en general, aquella banda de frecuencias cuyas longitudes de onda aparentes sean tales que resulten reforzadas.

En vista de la discusión en cuanto a las figuras 10 y 11, es evidente que si las amplitudes de las representaciones de frecuencia de las octavas por debajo de la frecuencia sintonizada o frecuencia básica tienen los

306276



- mismos valores que las frecuencias por encima de la sintonizada, esta última no será adecuadamente representada para la separación particular de intersuperficies. Para producir una onda de impulso sísmico representativa de la frecuencia
5. sintonizada, es necesario dar a la octava de debajo de la frecuencia sintonizada la misma potencia espectral que la dada a la octava de encima de la frecuencia sintonizada. Como quiera que la octava de debajo de la frecuencia sintonizada tiene solo la mitad de la anchura de banda que la octava de encima de dicha frecuencia sintonizada, es necesario
10. dar a la octava inferior el doble de amplitud que a la octava superior.

- El principio de igual representación por octavas está demostrado en la figura 12 que es un gráfico de amplitudes relativas con respecto a la frecuencia. Por ejemplo,
15. si la frecuencia sintonizada de un lecho o separación de intersuperficies determinado es de 16 cps, la amplitud relativa de la octava inferior 0-16 cps deberá ser el doble de la amplitud de la octava 16-32 cps para que el área delimitado por la curva sea igual en ambas octavas. Puede verse así
20. que las mismas relaciones relativas entre las octavas por debajo y por encima de cualquier frecuencia sintonizada, deben responder a este principio. Para satisfacer esta condición sobre todo el completo espectro de frecuencia, las amplitudes de los varios componentes de frecuencia de la energía sísmica deberían corresponder a la curva 194 de la figura 13, la cual está en marcado contraste con la curva de amplitud de la figura 14 para el llamado impulso de banda
25. ancha e igual amplitud. En la figura 13 puede observarse que cualquier octava tendrá exactamente el mismo área, com-
- 30.

306276



prendido por la curva 194, que las demás octavas y, por lo tanto, cualquier octava particular tiene la misma potencia espectral con respecto a cualquier otra octava relacionada.

- Como anteriormente se mostró, hay una relación
5. derivativa entre la reflexibilidad de la tierra y su impedancia . Por tanto, para orientar todos los componentes de frecuencia con respecto al punto común en tiempo, es necesario corregir el decálaje de fase inherente. Afortunadamente, la pendiente de la curva 194 de la figura 13, corresponde a la pendiente de un filtro de integración de seis
 10. decibelios por octava que introduce automáticamente el decalaje de 90° de fase para realizar la corrección.

- Para demostrar la diferencia entre los datos sísmicos que utilizan espectro de amplitud plana y datos sísmicos que utilizan la fase corregida, igual representación por el concepto de octava para producir un trazado aproximado de impedancia, se hará referencia a la figura 15. La referencia numeral 200 indica un trazado de velocidad en agujero descendente practicado en pozo perforado. Por el numeral de referencia 202 queda indicado un sismograma sintético con espectro de amplitud plana de 2-75 cps producido por una computadora digital. Los trazos 204, 206 y 208 son también sismogramas sintéticos, pero emplean espectros de frecuencia de 4-75 cps, 8-75 cps, y 16-75 cps respectivamente. El método para obtener un trazo sintético partiendo de un trazado de velocidad, mediante una computadora digital, es bien conocido en el arte y no forma parte de la presente invención. Los sismogramas sintéticos están reproducidos para fines de comparación simplemente, puesto que éstos son aceptados generalmente por los expertos en el arte
- 15.
 - 20.
 - 25.
 - 30.

306276



- como los mejores datos posibles que pueden ser obtenidos usando las técnicas sismográficas convencionales. Así, los trazos 202, 204, 206, y 208 representan los mejores datos que es posible obtener en el conductor 140 (Fig. 3) si se usaran para obtener los datos impulsos de energía sísmica que tengan espectros de frecuencia de 2-75, 4-75, 8-75 y 16-75 cps, respectivamente. Los trazos 210, 212, 214 y 216 representan los trazados aproximados de impedancia obtenidos al pasar los sismogramas sintéticos 202, 204, 206 y 208 respectivamente, a través del filtro de integración 152 del aparato de la figura 3.

- Primero, debe observarse que los cuatro trazados de los sismogramas son virtualmente indistinguibles uno de otro aún cuando el trazo superior 202 tiene una anchura de banda tres octavas mayor que el trazo inferior 208. Además, los sismogramas presentan muy poca correspondencia exacta con el trazado de velocidad del que fueron deducidos. Por otra parte, se observará que los trazados de impedancia 210-216 presentan una virtual correspondencia pico-a-pico con el trazado de velocidad. En particular, se observará que el trazado de impedancia 210, el cual emplea un espectro de frecuencia de 2-75 cps, es sustancialmente idéntico al trazado de velocidad 200, y que los valores absolutos del trazado de impedancia 210 se aproximan muy estrechamente a los valores absolutos del trazado de velocidad 200. No obstante, como el punto inferior de corte del espectro de frecuencia se eleva progresivamente una octava en los trazados de impedancia 212, 214 y 216 respectivamente, se observará que los valores absolutos de los trazados de impedancia se van alejando más de los valores absolutos de velocidad (los cuales se

306276



aproximan estrechamente a los valores de la impedancia) del trazado de velocidad 200 realizado en pozo, aunque queda la correspondencia pico-a-pico. Puede observarse así que cuanto más baja es la frecuencia de la señal introducida en la tierra, más estrechamente se ajustarán los datos sísmicos compilados de acuerdo con la presente invención a la aproximación de los verdaderos valores de la impedancia.

La figura 16 sirve para demostrar el grado de refinamiento que puede esperarse del paso de amplificación exponencial de la señal de integración. En dicha figura se ha reproducido para fines de comparación el trazado de velocidad 200. El trazo de impedancia 220 se obtuvo haciendo pasar el sismograma sintético 202, con un espectro de frecuencia 2-75 cps, a través de los pasos de integración y amplificación exponencial. En igual forma, los trazos de impedancia 222, 224 y 226 fueron obtenidos haciendo pasar los sismogramas sintéticos 204, 206 y 208 a través de los pasos de integración y amplificación exponencial. Los cuatro trazos de integración 210, 212, 214 y 216 de la figura 15, están reproducidos en la figura 16 en la que se designan por 210a, 212a, 214a y 216a, respectivamente, para comparación. Por lo tanto, podrá verse que el trazo superior de cada par es simplemente el trazo inferior amplificado exponencialmente. Por ejemplo, el trazo 220 es, simplemente, la amplificación exponencial del trazo 210a, habiendo sido obtenidos ambos trazos del sismograma sintético 202 que tienen un espectro de frecuencia de 2-75 cps.

Puede observarse que el trazo exponencialmente amplificado 226 es indistinguible del trazo integrado 216a, aun cuando ambos trazos tienen el espectro de 16-75 cps.

306276



- En forma similar, el trazo amplificado exponencialmente 224 es sensiblemente idéntico al trazo integrado 214a. Sin embargo, cuando el espectro de frecuencia se extiende hasta los 4 cps, puede apreciarse una ligera diferencia entre el
5. trazo exponencialmente amplificado 222 y el trazo integrado 212a. Y cuando el extremo inferior del espectro de frecuencia llega a los dos cps, como en el caso de los trazos 220 y 210a, puede observarse que los valores absolutos de los trazos amplificados exponencialmente se hacen ligeramente mayores y tienden a aproximarse más al trazado de
10. velocidad 200a. En otras palabras, que el trazo exponencial 220 presenta un apartamiento más evidente de la línea de referencia como en el caso del trazado de velocidad. De esto puede deducirse que la suposición establecida anteriormente
15. al derivar la ecuación (13) de la ecuación (12) es, en cuanto a los fines prácticos, válida en todos los casos excepto en aquellos en que la energía sísmica incluya frecuencias muy bajas, y, como demuestra la práctica, es muy difícil generar la cantidad suficiente de energía por debajo de
20. los cuatro ciclos para que resulte útil. Por tanto, y con excepción de cuando se encuentren en los datos sísmicos frecuencias extremadamente bajas, el paso de integración es suficiente por sí solo en la mayoría de los usos prácticos.

Se observará con referencia a las figuras 15 y

25. 16 que la energía sísmica por debajo de los 16 cps es necesaria antes de que comiencen a distinguirse deslizamientos de los valores absolutos en los trazados de impedancia. Por ejemplo, los trazos 216, 216a y 226 incluyen sólo energía sísmica de 16-75 cps, y virtualmente, no se percibe

30. corrimiento alguno del valor absoluto. En cambio, cuando

306276



- se incluye energía con frecuencias por debajo de los 16 cps, como en los trazos 214, 214a y 224, los valores absolutos se hacen más perceptibles. La energía sísmica de 4 cps produce todavía mejores resultados. Así, mientras
5. los trabajadores del arte han desdeñado hasta la fecha la energía sísmica en el rango de las bajas frecuencias, hemos descubierto que estas frecuencias son esenciales en la producción de datos prácticos y valederos a cerca de la impedancia usando solamente energía sísmica.
10. De la detallada descripción que antecede sobre los varios aspectos específicos de la presente invención, resultará evidente para los expertos en el arte que se ha descubierto un método muy nuevo y útil para la obtención de datos de impedancia de una zona determinada, usando solamente técnicas sísmicas. Es bien reconocido en el arte
15. que los datos de impedancias son probablemente el mejor método para describir la geometría litológica de la tierra. Los datos de impedancia permiten realizar la cartografía de los estratos del suelo con un mínimo de datos sísmicos gracias a la facilidad y precisión, con que los distintos estratos pueden ser identificados. Además, los datos de impedancia proporcionan información concerniente al grosor y carácter físico de las diversas capas litológicas.
20. Aún cuando se ha descrito en detalle un método preferido de la invención, debe entenderse que pueden hacerse varios cambios, modificaciones y sustituciones en los pasos específicos descritos sin apartarse del espíritu y alcance de la invención según se define en las reivindicaciones anejas.
- 25.

306276



N O T A

- La Patente de Invención que se solicita en España por veinte años, de acuerdo con la vigente Legislación, deberá recaer sobre: "UN METODO PARA LA DETERMINACION DE LA GEOMETRIA LITOLOGICA DE UNA SECCION DE LA TIERRA", con prioridad de la demanda en U.S.A. nº 325.017, de fecha 20 de Noviembre de 1.963, según las características esenciales de las siguientes:

R E I V I N D I C A C I O N E S

10. 1ª.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo el paso de: compilación de un registro de la reflexión de un impulso sísmico equivalente, en el cual, es sustancialmente igual la potencia espectral de dos cualquiera de las octavas relacionadas en la energía sísmica.
15. 2ª.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo el paso de: compilación de un registro de la reflexión sísmica con relación al tiempo de viaje, en el cual, los componentes de frecuencia de la energía sísmica están orientados en fase con relación a un punto común, siendo sustancialmente igual la potencia espectral de dos cualesquiera de las octavas relacionadas en la energía sísmica.
20. 3ª.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: Introducción en la tierra de una energía sísmica que tiene una pluralidad de componentes de frecuencia de amplitud predeterminada y predeterminada relación de fase; detección de las reflexiones de la energía sísmica y registro de las mismas con relación al tiempo;
- 25.
- 30.

306276



establecimiento de la fase cero relativa entre los componentes de frecuencia de la energía sísmica reflejada; y establecimiento de las amplitudes relativas de los componentes de frecuencia para que dos cualesquiera de las octavas relacionadas tengan sustancialmente la misma potencia espectral.

5.

4^a.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: introducción en la tierra de energía sísmica en forma de una pluralidad de componentes de frecuencia producidos secuencialmente en una relación de fase pre determinada; registro de las reflexiones sísmicas con respecto al tiempo transcurrido; orientación de los componentes de frecuencias secuencialmente producidos con respecto a un punto común en tiempo; corrimiento de fase de los componentes de frecuencia para corregir el defasaje de 90° producido por el proceso de reflexión sísmica; y establecimiento de las amplitudes relativas de los componentes de frecuencia para que dos cualesquiera de las octavas relacionadas tengan sustancialmente la misma potencia espectral.

10.

15.

20.

5^a.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: producción de una señal de registro sismográfico de amplitud ajustada y fase orientada de la sección; y conversión de la señal de registro en una señal de impedancia mediante la aproximación a la solución de la ecuación:

25.

$$Z(t) = Z(o) A \int_0^t S(t) dt$$

30. donde la señal de registro es S(t), la señal de impedancia

306276



es $\bar{Z}(t)$, y $Z(o)$ y A son constantes, por lo que la señal de impedancia se aproximará al trazado de impedancia sísmica de la sección de la tierra.

5. 6ª.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: producción de una señal de registro sismográfica de amplitud ajustada y orientada en fase; integración de la señal de registro para producir una señal de impedancia aproximada al trazado de impedancia sísmica de la
10. sección de la tierra.

7ª.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de:

15. Producción de una señal sismográfica de registro de amplitud ajustada y orientada en fase; integración de la señal de registro para producir una señal de integración; y amplificación exponencial de la señal de integración para producir una señal de impedancia representativa de la impedancia sísmica de la sección de la tierra.

20. 8ª.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: introducción en la tierra de una señal sísmica no reiterativa con una característica de frecuencia y de fase predeterminada; registro de las reflexiones sísmicas
25. de la señal con respecto al tiempo de viaje para producir una señal sísmica de registro; correlación de la señal sísmica no reiterativa con la señal sísmica de registro para producir una señal correlacionada en la cual las varias fases de las frecuencias de la señal están orientadas en forma
30. predeterminada; normalización de la señal correlacionada

306276



- ajustando las bandas de frecuencias predeterminadas de la señal a unas amplitudes predeterminadas relativas para compensar la atenuación de las frecuencias por la tierra, para producir una señal normalizada; integración de la señal normalizada para producir una señal integrada; y hacer pasar la señal integrada a través de un amplificador exponencial para producir una señal representativa de la impedancia sísmica aproximada de la tierra a través de la cual ha viajado la señal sísmica.
- 5.
10. 9ª.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: introducción en la tierra de una señal sísmica no reiterativa que tiene características y frecuencia de fase predeterminadas; registro de las reflexiones sísmicas de la señal con respecto al tiempo de viaje para producir una señal sísmica de registro; correlación de la señal sísmica no reiterativa con la señal sísmica de registro para producir una señal correlacionada en la cual las varias fases de las frecuencias de la señal están orientadas en forma predeterminada; normalización de la señal correlacionada ajustando las bandas de frecuencia predeterminadas de la señal a amplitudes relativas predeterminadas para compensar la atenuación de las frecuencias por la tierra, para producir una señal normalizada; hacer pasar la señal normalizada a través de un amplificador-integrador exponencial que tiene una relación entrada-salida que corresponde a la relación:
- 20.
- 25.

$$\bar{Z}(t) = Z(0) e^{A \int_0^t S(t) dt}$$

30. en la que $S(t)$ es la señal de entrada, $\bar{Z}(t)$ es la señal

306276



de salida y $Z(o)$ y A son constantes para producir una señal de impedancia representativa de la impedancia sísmica aproximada de la sección de la tierra a través de la cual ha viajado la señal sísmica.

5. 10^a.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: introducción en la tierra de una señal sísmica no reiterativa teniendo característica de frecuencia y de fase predeterminada; registro de las reflexiones sísmicas de la señal con respecto al tiempo de viaje para producir una señal sísmica de registro; correlación de la señal sísmica no reiterativa con la señal sísmica de registro para producir una señal correlacionada en la cual las varias fases de las frecuencias de la señal están orientadas en forma predeterminada; normalización de la señal correlacionada ajustando las bandas de frecuencia predeterminadas de la señal a amplitudes relativas predeterminadas para compensar la atenuación de las frecuencias por la tierra para producir una señal normalizada; y la integración
10. de la señal normalizada para producir un trazado de la impedancia aproximada con respecto al tiempo de viaje de la señal sísmica a través de la tierra.
15. 11^a.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: introducción en la tierra de una señal sísmica teniendo un espectro de frecuencia predeterminado, o al menos una anchura de banda de dos octavas, siendo el extremo inferior de las mismas de menos de 15 cps; registro de las reflexiones de la señal sísmica procedentes de la impedancia de las inter-superficies del subsuelo, con respecto
20. al tiempo de viaje de las mismas, para producir una señal
- 25.
- 30.



306276

- de registro: correlación de la señal sísmica con la señal de registro para producir una señal correlacionada en la cual las varias frecuencias de las reflexiones de la señal sísmica están orientadas en fase con respecto a una base de tiempo; normalización de la señal correlacionada ajustando las anchuras de banda predeterminadas a amplitudes relativas predeterminadas para compensar la atenuación de las frecuencias por la tierra, para producir una señal normalizada; y la integración de la señal normalizada para producir una señal de impedancia representativa de la impedancia sísmica aproximada de la sección de la tierra a través de la cual ha viajado la señal sísmica.
- 5.
 - 10.

- 12ª.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: introducción en la tierra de una señal sísmica teniendo un espectro de frecuencia predeterminado de al menos una anchura de banda de dos octavas, cuyo extremo inferior es menor de 15 cps; registro de las reflexiones de la señal sísmica procedentes del subsuelo reflejadas por la impedancia de las intersuperficies, con respecto al tiempo de viaje para producir una señal de registro; correlación de la señal sísmica con la señal de registro para producir una señal correlacionada en la cual las varias frecuencias de las reflexiones de la señal sísmica están orientadas en fase con respecto a una base común en tiempo; normalización de la señal correlacionada ajustando las anchuras de banda predeterminadas a amplitudes relativas predeterminadas para compensar la atenuación de las frecuencias por la tierra, para producir una señal normalizada; integración de la señal normalizada para pro-
- 15.
 - 20.
 - 25.
 - 30.

306276



ducir una señal de integración; y amplificación exponencial de la señal de integración para producir una señal aproximada al trazado de impedancia sísmica de la sección de la tierra.

5. 13^a.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, comprendiendo los pasos de: introducción en la tierra de una señal sísmica con barrido teniendo un número predeterminado de componentes de frecuencia en predeterminada relación de fase para formar un espectro de frecuencia de por lo menos dos octavas de anchura de banda con el punto inferior de corte de menos de 15 cps; registro de las reflexiones de la señal sísmica procedentes de la impedancia de las intersuperficies del subsuelo, con respecto a su tiempo de viaje para producir una señal de registro; correlación de la señal con barrido con la señal de registro para producir una señal correlacionada en la cual los varios componentes de frecuencia de la señal sísmica con barrido de cada reflexión están orientadas en fase con respecto a un punto común en tiempo;
10. 20. normalización de la señal correlacionada ajustando las anchuras de banda predeterminadas a amplitudes relativas predeterminadas para compensar la atenuación de los componentes de frecuencia por la tierra para producir una señal normalizada; y la integración de la señal normalizada con respecto al tiempo, desde un tiempo de referencia, para producir una señal representativa de la impedancia sísmica aproximada con respecto a la profundidad de la sección de la tierra.

30. 14^a.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, caracteriza

306276



do por un método para convertir un sismograma de impulso de anchura de banda finita y espectro equilibrado, en un trazo aproximado al trazado de impedancia, comprendiendo los pasos de: producción de una señal eléctrica representativa del sismograma; hacer pasar la señal eléctrica a través de un integrador para producir una señal de impedancia; y el registro de la señal de impedancia para producir un trazado de la impedancia aproximada.

15^a.- Un método para la determinación de la geometría litológica de una sección de la tierra, caracterizado por un método para convertir un sismograma de impulso de anchura de banda finita y espectro equilibrado en un trazo aproximado al trazado de impedancia, comprendiendo los pasos de: producción de una señal eléctrica representativa del sismograma; hacer pasar esta señal eléctrica a través de un circuito integrador para producir una señal integrada; hacer pasar la señal integrada a través de un circuito amplificador exponencial para producir una señal de impedancia; y registro de la señal de impedancia para producir un trazado de la impedancia aproximada.

16^a.- "UN METODO PARA LA DETERMINACION DE LA GEOMETRIA LITOLOGICA DE UNA SECCION DE LA TIERRA".

Según queda sustancialmente descrito en la presente memoria descriptiva, que consta de cuarenta y tres hojas escritas a máquina por una sola cara, acompañada de sus correspondientes dibujos.

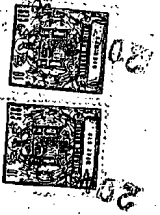
Madrid, 20 de Noviembre de 1.964

CONTINENTAL OIL COMPANY

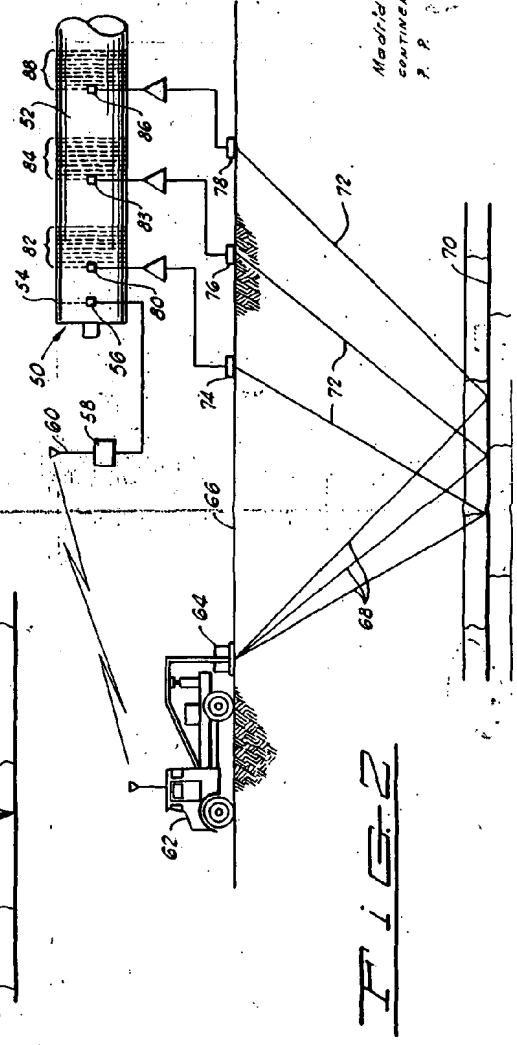
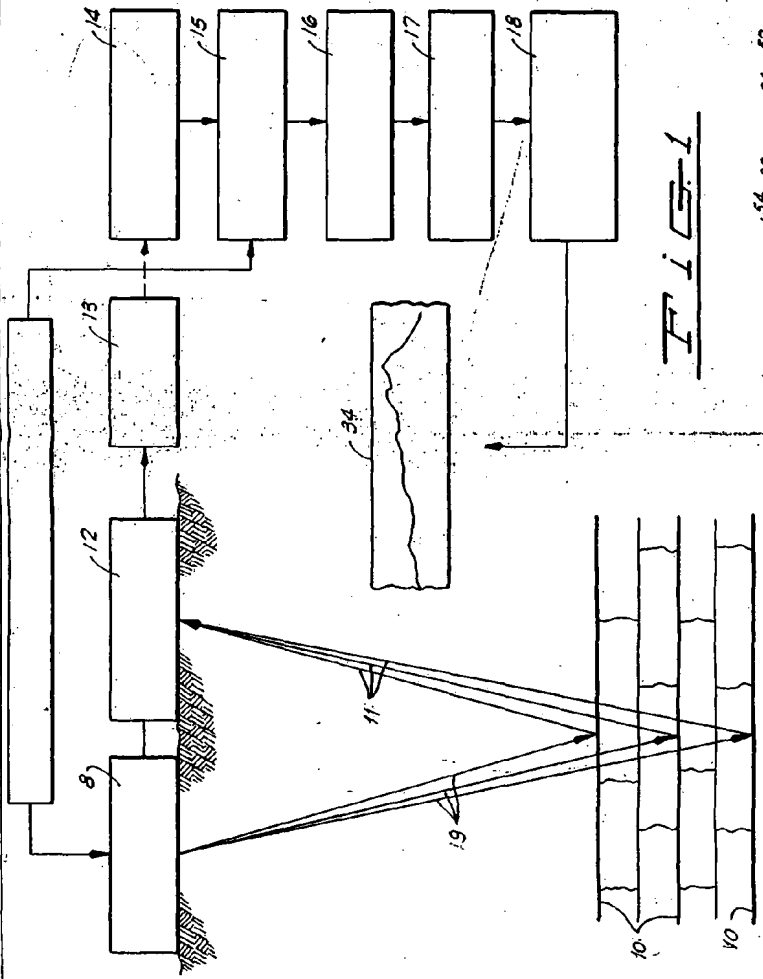
P.P.

FRANCISCO GARCIA CABREIZO

P. P.



306775

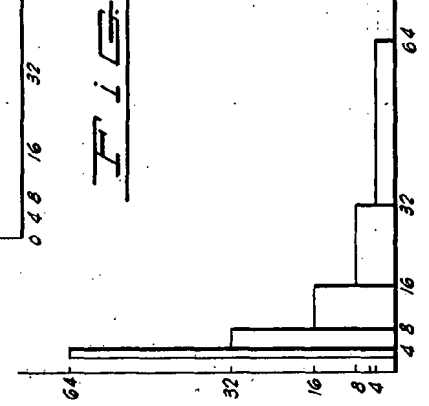
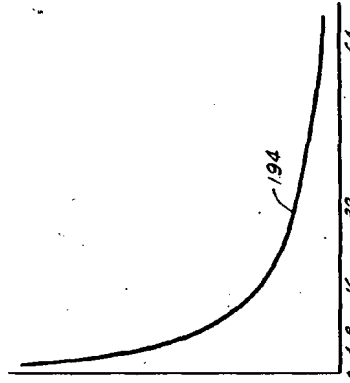
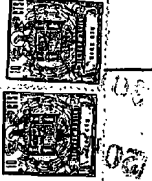


20 NOV. 1964

Madrid,
CONTINENTAL OIL COMPANY
P. R.

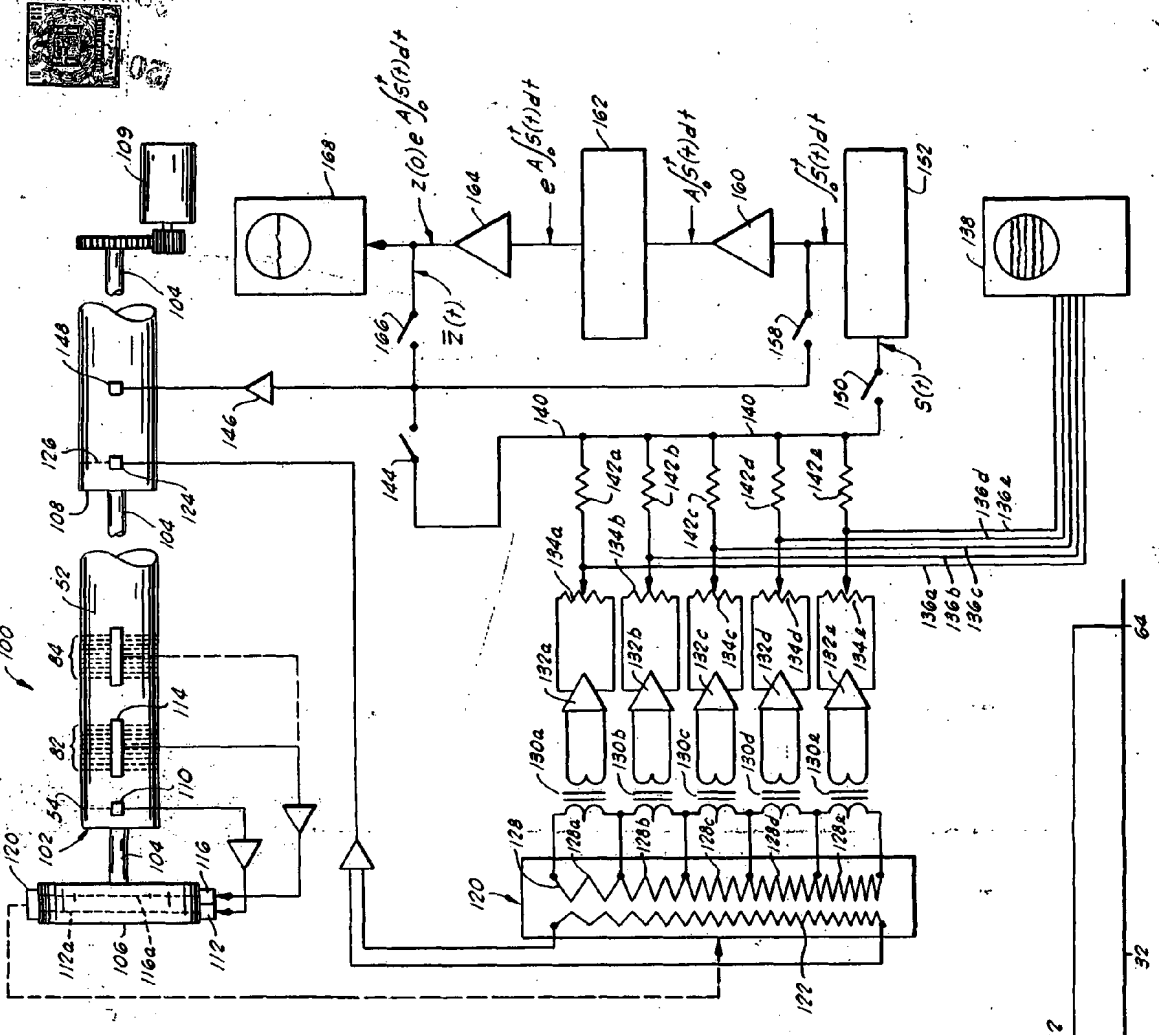
Handwritten signature

Escaleta variable



F I G - 1 3

F I G - 1 2



20 NOV 1954
 Modified,
 CONTINENTAL OIL COMPANY
 P. P.

F I G - 1 1

F I G - 1 4

Escala variable

50976

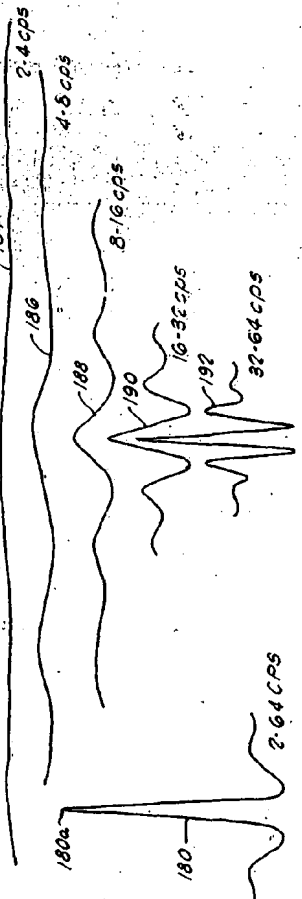
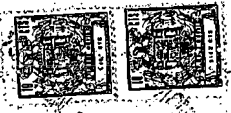


FIG-10

FIG-11

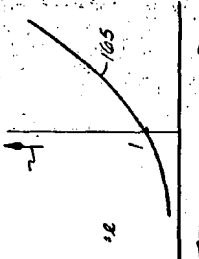
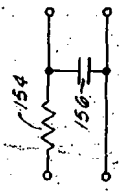


FIG-12

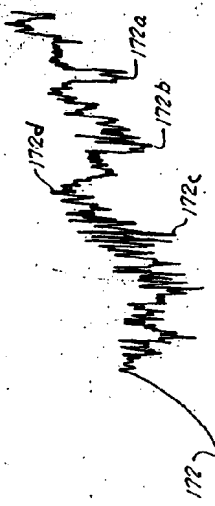


FIG-17



FIG-18

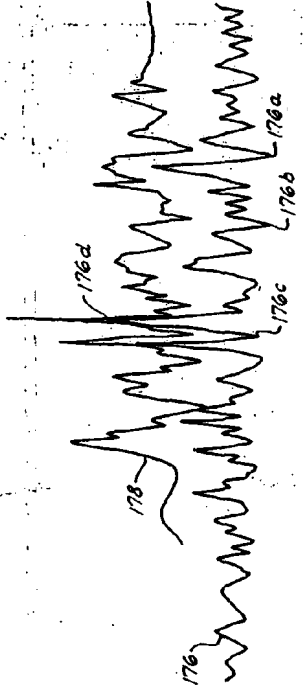


FIG-19

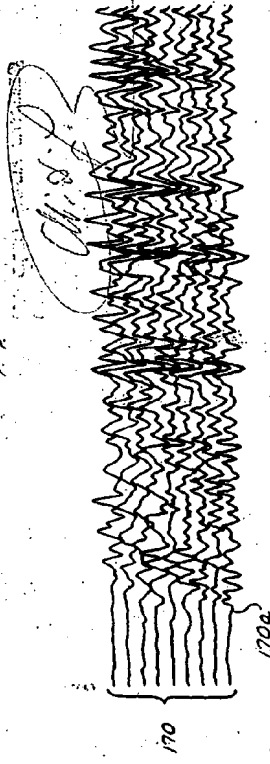
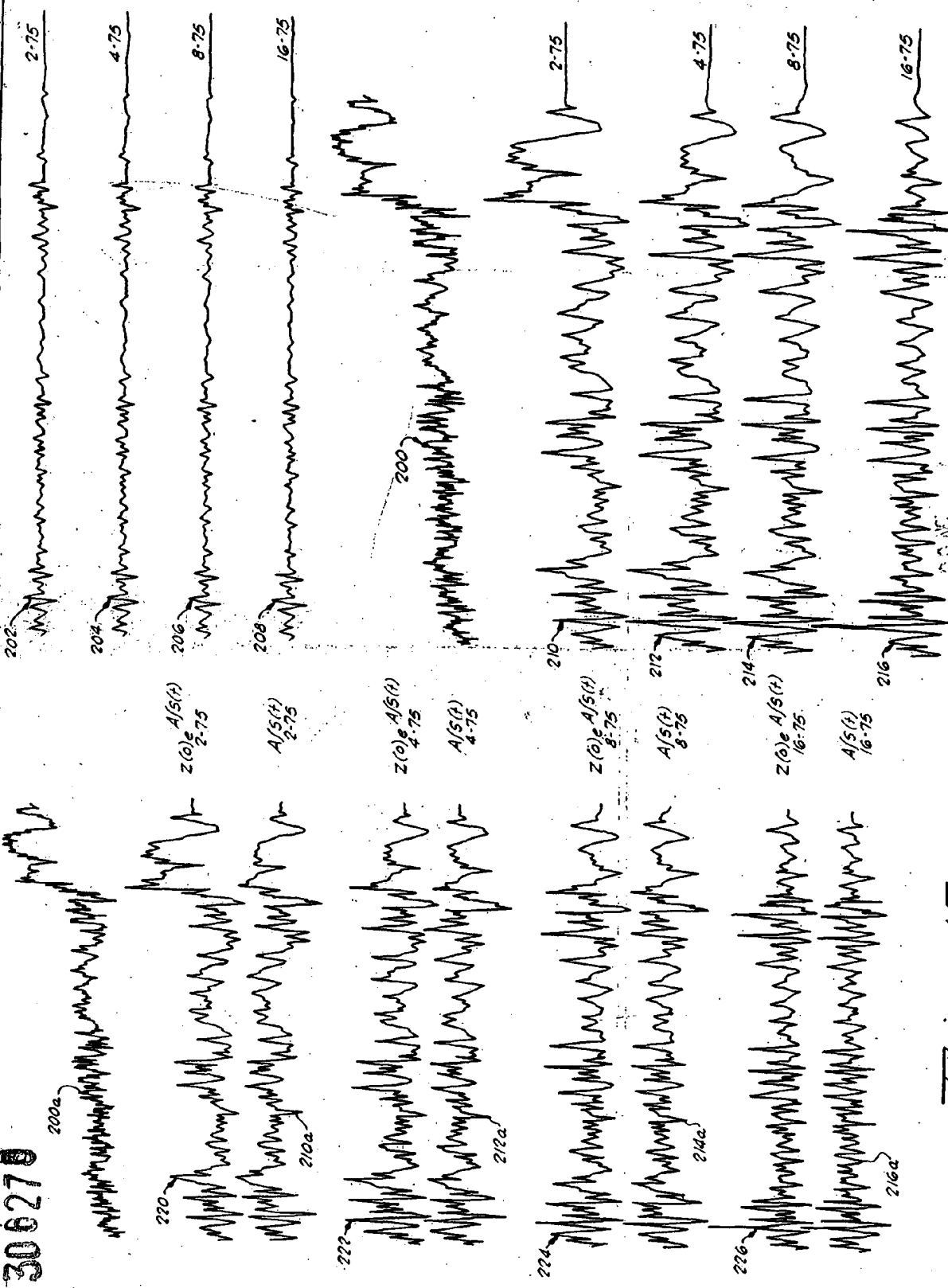


FIG-170

Mexico, D. F. Nov. 1954
 CONTINENTAL OIL COMPANY
 P. R.

306270



Escala variable

PIG 10

Medida. 20 NE.
CONTINENTAL OIL COMPANY
P. Houston

PIG 10