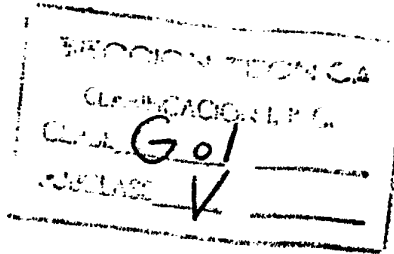


22624



MEMORIA DESCRIPTIVA

Correspondiente a una PATENTE DE INVENCION por veinte años.

A favor de

Société Anonyme SOCIETE NATIONALE DES PETROLES
D'AQUITAINE, de nacionalidad francesa.

Residente en COURBEVOIE (Francia).-Tour Aquitaine 92

p o r :

"METODO DE EXPLORACION DE UN MEDIO DE TRANSMISION DE ENERGIA
EMITIDA BAJO FORMA DE IMPULSIONES DIFERENTES Y SUS APLICACIONES
A LA PROSPECCION SISMICA".

- - - - -



La presente invención es relativa a la exploración de un medio por transmisión de energía en este medio y más especialmente a la prospección geofísica por ondas sísmicas. Este modo de prospección ya utilizado para la exploración a partir de la Tierra, es de un considerable interés para la prospección sub-marina.

5.- Cuando se emite a partir de un punto de la superficie terrestre o cercano a esta superficie, llamado punto de emisión, una impulsión de energía, las ondas mecánicas engendradas en el suelo siguen trayectos variados, experimentando notablemente reflexiones sobre los espaciamientos de caras entre capas geológicas de constituciones diferentes; estos espaciamientos de caras se llaman "reflectores". Es posible, disponiendo de captadores apropiados, tales como geófonos, recibir las ondas reflejadas en uno o varios puntos de recepción.

10.- Se obtiene una señal algunas de cuyas partes componentes corresponden a las llegadas de ondas reflejadas una vez por los diferentes reflectores; la medida del tiempo transcurrido entre el instante de emisión y la aparición de estas componentes particulares permite conocer las profundidades de los reflectores a condición de conocer la velocidad de propagación de las ondas mecánicas en el suelo. Las demás porciones de la señal recogida en el punto de recepción forman lo que se llama el "ruido" (o rumor). Este ruido está compuesto de ondas engendradas en el punto de emisión pero alcanzando el punto de recepción después de haber seguido trayectos sin interés para el cálculo de la profundidad de los estratos; comprende también ondas errantes en el suelo y engendradas por un gran número de factores sin relación con la fuente de energía colocada en el punto de emisión.

15.-

20.-

25.-

30.-



- Si la energía emitida por esta fuente en el punto de emisión es suficiente, las componentes interesantes de la señal recibida son revelables directamente, siendo su amplitud superior a la del ruido de suelo, y no pudiendo ser confundidas con éste. Así ocurre en las técnicas ya antiguas de prospección por tiro de cargas explosivas importantes. Sin embargo, la puesta en ejecución de estas técnicas es pesada; además, la explosión de una carga bajo el mar provoca la formación de una burbuja de gas, fuente de fenómenos parásitos inadmisibles.
- 35.-
- Si por el contrario las ondas emitidas poseen una amplitud débil, las partes de la señal captada correspondientes a las ondas reflejadas una vez por los diferentes reflectores no se distinguen sino débilmente, o incluso en nada, del ruido de suelo a primera vista.
- 40.-
- Se consigue sin embargo utilizar tales ondas para la prospección sísmica por dos categorías de métodos, los métodos impulsionales y los métodos de señales largas.
- 45.-
- Los métodos impulsionales se fundan sobre el principio siguiente: se envía al suelo (o tierra) una onda mecánica creada por una impulsión de energía relativamente elevada, con ayuda de un cañón de gas o de un generador de chispas por ejemplo: en el caso de estos últimos, la chispa producida pone en juego una energía eléctrica en general superior a 5.000 julios y pudiendo alcanzar o sobrepasar 100.000 julios; la emisión de esta impulsión va seguida de un "tiempo de escucha", acompañado de un registro en el punto de recepción de duración al menos igual al tiempo de recorrido ida y vuelta de la onda relativa al reflector más profundo que se quiera alcanzar. Al final del tiempo de escucha, se envía una segunda impulsión seguida de un tiempo de escucha de la misma duración, después una tercera
- 50.-
- 55.-
- 60.-



- etc... se superpone entonces las señales recogidas a continuación de los tiempos de escucha sucesivos, y se adiciona por una operación calificada de "stacking" las amplitudes correspondientes de estas señales. En el curso de esta operación las componentes de ruidos disminuyen en valor relativo mientras que las
- 65.- componentes correspondientes a las impulsiones reflejadas por los distintos reflectores se añaden y forman picos más fácilmente revelables cuyas abscisas corresponden a los tiempos de recorrido buscados.
- 70.- Está claro que cuanto mayor sea el número de impulsiones emitidas, más neta es la posición de los picos interesantes, pero igualmente más largo es el tiempo de investigación total por punto de cada reflector. Esto presenta inconvenientes en sísmica marina especialmente, donde la fuente de energía de impulsiones y el o los receptores se desplazan de forma continua con el buque de prospección; el punto de espejo de un reflector dado se desplaza simultáneamente; en estas condiciones, sólo
- 75.- un número limitado de impulsiones puede alcanzar a una zona del reflector suficientemente estrecha para poder ser considerada como caracterizando un solo punto de este reflector; este número de impulsiones es tanto más limitado cuanto que la inclinación del reflector es importante para una velocidad del barco dada; la calidad del registro final, obtenido por adición de este número limitado de señales sucesivas recibidas, sufre con
- 80.- esto.
- 85.- Se podría pensar en remediar este inconveniente aumentando la energía de las impulsiones emitidas; esto lleva consigo aparatos mucho más complicados y más caros y cuyo rendimiento acústico decrece en general con la energía emitida.
- 90.- En oposición a los métodos impulsionales, los métodos de



- señales largas hacen intervenir la emisión en el suelo de una serie de ondas mecánicas engendradas a partir de una señal de mando cuya duración es en general superior al tiempo de recorrido de estas ondas entre emisor y receptor después de la reflexión sobre el reflector más profundo a detectar; la amplitud de las ondas emitidas es entonces mucho más débil que en los métodos impulsionales; se pueden emitir ondas mecánicas sinusoidales de frecuencia variable, con ayuda de vibradores, o de trenes de impulsiones muy cercanas, cuya envoltura tiene una frecuencia variable, con ayuda de generadores de chispas ligeros susceptibles de operar a una gran cadencia. Unos métodos de este tipo son descritos por ejemplo en las patentes francesas 1 112 455 (Continental Oil) y 1 299 570 (Jersey Production Research).
- 95.-
- 100.-
- 105.- Los métodos de señales largas presentan la ventaja de necesitar emisores de potencia relativamente débil.
- Además, cuando el emisor y el receptor se desplazan como en sísmica marina, cada señal larga se refleja no ya sobre un solo punto de espejo sino sobre un segmento del reflector explorado por el punto espejo, lo que tiende a eliminar el efecto de las perturbaciones locales del coeficiente de reflexión que pueden producirse a lo largo de un reflector; se realiza así una especie de integración espacial de las respuestas del reflector.
- 110.-
- 115.- La investigación de los tiempos de recorrido de las ondas engendradas por una señal larga que afecta a una ley de variación determinada se efectúa por un método de correlación entre la señal recibida y la señal emitida, método bien conocido por los especialistas y cuyo principio será brevemente recordado a continuación.
- 120.-



125.- Dado, en el caso de la prospección sísmica por ejemplo, una fuente de energía mecánica en el punto de emisión, se envía al suelo, gracias a una señal de mando apropiada, una serie de ondas mecánicas cuya amplitud está en función del tiempo $f(t)$ y cuya duración es T ; o sea $g(t)$ la ley de variación de la señal recibida y registrada en función del tiempo t .

130.- La función $g(t)$ resulta de la superposición del "ruido" a una o varias funciones análogas a $f(t)$ desplazadas unas con relación a las otras en el tiempo resultante de una o varias reflexiones de las ondas emitidas en la fuente de energía, siendo conocidas las funciones $f(t)$ y $g(t)$.

135.- El principio matemático del método de correlación de estas dos funciones consiste en multiplicar en todo momento el valor de la amplitud de una por el de la otra, y en integrar el resultado de estas multiplicaciones para cada momento sobre la duración T de la señal emitida; el resultado de esta operación es un número. Para obtener la función de inter-correlación de estas dos funciones se efectúa la operación precedente instituyendo un desplazamiento en el tiempo τ , o desfase, entre las dos señales, siendo entonces sus funciones representativas $f(t)$ y $g(t + \tau)$, y se repite esta operación haciendo variar los valores de τ .

140.- Se llama función de intercorrelación de $f(t)$ y $g(t)$ sobre un tiempo T la función:

$$k(T, \tau) = \int_0^T f(t) g(t + \tau) dt.$$

145.- Para un valor de T dada la función $k(T, \tau)$ presenta uno o varios máximos para valores $\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots$ correspondientes a los tiempos empleados por las ondas emitidas en la fuente de energía para alcanzar un punto de recepción después de una reflexión sobre reflectores $R_1, R_2, R_3 \dots$

150.- El interés de este método está en que todas las componen-



tes de la señal recibida, de origen aleatorio, o no enlazado con las ondas emitidas, están minimizadas en valor relativo en el curso de las operaciones de multiplicación y de integración de la correlación, mientras que las componentes que corresponden directamente a las ondas emitidas son amplificadas y
155.- adicionadas para ciertos valores del desplazamiento τ , valores que representan el tiempo de recorrido de las ondas reflejadas sobre los diversos reflectores.

El método permite fraccionar la energía emitida en el
160.- suelo para una medida dada, permitiendo sin embargo una localización muy eficaz de los diversos reflectores.

El principal problema a resolver para ponerlo en ejecución consiste en obtener la mejor definición de los máximos de la función de intercorrelación. Es preciso elegir un tiempo T
165.- de integración suficientemente largo para disminuir la importancia relativa del ruido con relación a la amplitud de estos maximum. Pero es preciso también elegir una ley $f(t)$ de emisión de las ondas por la fuente de energía, que se preste bien por sí misma a la obtención de máximas acusadas. Un simple
170.- ejemplo permite comprenderlo.

Si la función $f(t)$ se reduce a una impulsión única, la función $g(t)$ comprenderá una impulsión única correspondiente, mezclada con los ruidos, y la función de intercorrelación $k(T, \tau)$ definida más arriba presentará un pico único correspondiente al tiempo τ , de recorrido de la impulsión reflejada por el reflector R_1 .
175.-

Si la función $f(t)$ está constituida por dos impulsiones de amplitud sensiblemente iguales, la señal recibida representando $g(t)$ comprende dos impulsiones correspondientes separadas por el mismo intervalo de tiempo δ . La función de inter-
180.-



correlación presentará un pico de amplitud máxima para el tiempo γ_1 , y dos picos de menor amplitud correspondientes a los tiempos $\gamma_1 + \delta$ y $\gamma_1 - \delta$.

185.- Esto explica que, en la determinación de la función de intercorrelación de una señal emitida y de la señal recibida, se puede comprobar a los lados de un máximo de esta función para un desplazado γ_1 resultando de un reflector R_1 , la aparición de picos o de lóbulos secundarios, llamados también residuos de correlación, menos acusados que el máximo y de una y otra parte de éste, pero que no se confunden con los residuos de ruidos de suelo. La presencia de estos picos o lóbulos secundarios es inadmisibles pues corren peligro de ser tomados por otras máximas de la función de intercorrelación procedentes de reflexiones de las ondas emitidas sobre reflectores R_2, R_3 más profundos que R_1 y cuya amplitud es por consiguiente atenuada.

195.- Ahora bien, la importancia de lóbulos secundarios depende de la forma de la ley $f(t)$ y es deseable elegir la función $f(t)$ y ponerla en ejecución durante un tiempo T tal, que los lóbulos secundarios de la función de intercorrelación $k(T, \gamma)$ con $g(t)$ no se distingue del ruido en la señal recibida, es decir, que tengan en la práctica una amplitud que se fijará por ejemplo inferior a la décima parte de la del pico máximo. El estudio de la ley $f(t)$ y del tiempo T con vistas a responder a estas condiciones está conducido a partir del cálculo de su función de autocorrelación $h(T, \gamma)$ definida así:

$$h(T, \gamma) = \int_0^T f(t) f(t + \gamma) dt;$$

esta función presenta un máximo para $\gamma = 0$, y su determinación permite comparar la amplitud de los picos o lóbulos secundarios a la del pico máximo.

210.- Siendo esto recordado para el tratamiento de las informaciones recibidas, los métodos de señales largas sinusoidales o



de trenes de impulsiones muy cercanas cuya frecuencia varía, son a veces difíciles de poner en ejecución en la práctica, y requieren dispositivos generadores de ondas mecánicas de formas complejas que son costosos y delicados.

- 215.- Se ha propuesto igualmente un método de señales largas, que son objeto de la patente de los Estados Unidos de América 3 326 320 (Forester) en el cual unas impulsiones distintas de amplitud variable generalmente decreciente son enviadas al suelo. Una primera serie de impulsiones es emitida y una primera señal resultante registrada, luego una segunda serie de impulsiones se emite, una segunda señal resultante queda registrada, y el signo de esta última es invertido; la segunda señal así invertida es adicionada a la primera señal resultante, y la suma de estas dos señales se pone en intercorrelación con la señal emitida.
- 220.-
- 225.-

Un método de este tipo comporta ciertas ventajas de los métodos a señales largas tradicionales, beneficiándose al mismo tiempo de una puesta en ejecución aparentemente más fácil. Pero la emisión de impulsiones mecánicas de amplitud variable con una buena reproductividad plantea problemas, al ser esta última esencial para obtener una función de intercorrelación favorable.

- 230.-
- Además, este procedimiento requiere dos tiempos de escucha por cada ciclo de emisión. En fin, la operación de tratamiento de las señales por este método es compleja, puesto que a la intercorrelación, ya pesada por sí misma, vienen a añadirse una inversión, una puesta en fase y una adición de señales.
- 235.-

- La presente invención tiende a proponer un método de prospección sísmica por transmisión de energía entre dos puntos al menos de este medio, especialmente aplicable a la prospección
- 240.-



sísmica marina, permitiendo eliminar los inconvenientes precedentes, y susceptible de ser puesto en ejecución de modo sencillo tanto en lo que concierne a la emisión de las ondas de energía, como a la explotación de las señales recibidas.

- 245.- A este efecto, la invención tiene por objeto un método de prospección sísmica consistente en emitir en el suelo (o tierra) una señal larga que se propaga bajo forma de ondas que son captadas y registradas bajo forma de señales después de reflexión al menos sobre un reflector, siendo las señales recibidas intercorrelativadas en seguida con una función de la señal emitida con vistas a determinar los tiempos de recorrido de las ondas reflejadas, método caracterizado por el hecho de que la señal larga emitida está constituida por una serie de impulsiones de energía elemental distintas, por el mismo signo y por amplitud sensiblemente constante, quedando determinados el número de impulsiones de la serie y los intervalos de tiempo que las separan, para que la función de autocorrelación de la señal emitida presente residuos de correlación cuya amplitud es inferior a una fracción dada de la amplitud máxima de esta función.
- 250.-
- 255.-
- 260.- Con este método, es cómodo proceder a la intercorrelación de las señales recibidas, no con la señal emitida por sí misma, sino con una señal obtenida colocando impulsiones unitarias en los instantes de emisión de las impulsiones de energía. Se puede utilizar este método elaborando una serie de impulsiones de amplitud sensiblemente constante regida por una ley de aparición aleatoria de las impulsiones. Además, en una forma interesante de puesta en ejecución del procedimiento, las impulsiones de energía son creadas por chispas que estallan en el agua entre electrodos colocados bajo alta tensión de forma intermitente
- 265.-
- 270.- por un disparador pilotado por el desenrollado de un gráfico



registrado.

Existe en teoría una gran variedad de señales largas utilizables para poner en ejecución los métodos de correlación y numerosos generadores de funciones de correlación han sido concebidos para determinarlos. Las técnicas de exploración de un medio con correlación de señales se emplean en efecto en numerosos campos aparte de la prospección geofísica.

La presente invención reside esencialmente en la elección del tipo particular de señal larga definido más arriba para aplicarla a la prospección sísmica. Como se explicará más adelante, esta elección resulta de consideraciones teóricas sobre el empleo de las señales largas, pero sobre todo de consideraciones prácticas relativas especialmente a la energía y al espectro de frecuencias necesarias para la transmisión de las ondas en el suelo y también a la tecnología de los emisores.

Las explicaciones que van a seguir sobre el método que acaba de ser definido se dan en referencia con los dibujos anejos, en los cuales:

La figura 1 es una ilustración esquemática del principio de la prospección sísmica submarina.

Las figuras 2, 3, 4, 5, 5a, 5b, 5c, 5d y 6 son diagramas de las señales que entran en juego en el método según la invención y de las fases de sus tratamientos.

La figura 1 ilustra una instalación clásica de prospección sísmica submarina en la cual un emisor E es arrastrado por un buque prospector P con a su continuación un cierto número de receptores de ondas mecánicas, o geófonos, permitiendo registrar las señales recibidas.

Del emisor E parten ondas mecánicas que se propagan en el suelo y algunas de cuyas componentes son reflejadas en los pun-



tos espejos M_1 , M_2 , M_3 , respectivamente por los reflectores R_1 , R_2 , R_3 y son captadas por el receptor R' , colocado a una distancia fija conocida del emisor.

305.- Cuando el emisor E emite una señal de una duración determinada T comienza, para los receptores R' , R'' , R''' , un tiempo de escucha cuya duración es la T de la señal emitida aumentada con un tiempo θ igual al tiempo de recorrido en el suelo de las ondas reflejadas por el reflector más profundo R_3 .

310.- En el método de emisión de series de impulsiones según la invención, la señal emitida en el suelo es una señal larga; esto significa especialmente que comporta varias impulsiones durante la duración de un tiempo de escucha dado; en general, la emisión de esta señal va mandada por el desenrollado de una banda magnética que comprende un registro. Este expide una
315.- señal eléctrica que manda un generador de impulsiones constituyendo el emisor propiamente dicho. La señal eléctrica de mando tiene una duración T y obedece a una función del tiempo $f(t)$ que emplea en ciertos instantes el valor 1 y conserva el valor 0 el resto del tiempo; los instantes precedentes están
320.- separados por intervalos de duración determinada con una gran precisión.

El generador de impulsiones es por ejemplo un cañón de gas de estructura conocida, o un generador de chispas en el agua a alta cadencia, a menudo denominado "sparker" rapide"
325.- de un tipo análogo al que está descrito por ejemplo en la patente francesa nº 1 560 237 depositada el 28 de diciembre de 1966. Cada impulsión emitida en el agua crea una vibración que se propaga en el suelo, vibración constituida por ondas mecánicas que poseen un cierto espectro de frecuencia.

330.- Estas impulsiones van mandadas por picos de igual ampli-



- tud de la señal de mando (valores l de la función $f(t)$); la amplitud de las impulsiones emitidas, tales como chispas en el caso de un sparker, no es en general rigurosamente constante y puede variar alrededor de un valor medio en razón de la reproducibilidad mediocre de fenómenos que entran en juego en la
- 335.- producción de una impulsión de energía relativamente elevada con los generadores usuales. Esta es la razón por la cual las amplitudes de las impulsiones emitidas pueden ser calificadas de sensiblemente constantes. Por el contrario, los generadores
- 340.- de ondas mecánicas autorizan el disparo de las impulsiones en instantes controlados con una gran precisión, lo que permite producir una serie de impulsiones distintas separadas por intervalos de tiempo cuya sucesión obedece muy fielmente a la ley $f(t)$ que rige la señal de mando.
- 345.- En lo que se refiere a la energía de las impulsiones emitidas, la propia noción de emisión de impulsiones diferentes, en oposición a la emisión de trenes de impulsiones muy cercanas, de las que se utiliza la envoltura de frecuencia variable, implica que la energía puesta en ejecución para la creación de
- 350.- cada impulsión se sitúe en una zona comprendida entre la energía de los métodos de señales largas clásicos por una parte y la de los métodos impulsionales clásicos por otra parte.
- En efecto, para alcanzar un reflector situado a una profundidad dada y recoger con ayuda de las señales reflejadas in-
- 355.- formaciones utilizables, hay que poner en ejecución una cierta energía global W . Esta puede ser producida de una sola vez como en los métodos impulsionales fuertes de explosivos, o de varias veces por impulsiones sucesivas. En el caso de métodos de señales largas, cuanto más grande es el número de impulsiones en un
- 360.- tiempo de escucha dada y más débil puede ser la energía de cada una de estas impulsiones. La energía de las impulsiones dife-



rentes utilizada en el presente método es alrededor de diez veces más elevada que la de las impulsiones de los trenes de frecuencia variable en los métodos conocidos. De modo más preciso, para caso de que estas impulsiones diferentes sean chispas eléctricas, la energía eléctrica puesta en juego para su producción está comprendida entre 100 y 100.000 julios y con preferencia entre 500 y 10.000 julios.

365.- Dado un emisor de señales largas, del tipo que acaba de ser definido, en una instalación de prospección esquematizada en la figura 1, y permitiendo detectar la presencia de tres reflectores de profundidad creciente R_1 , R_2 y R_3 , el método de tratamiento de las señales recibidas por un receptor tal como R' va a ser expuesto ahora.

375.- La figura 2 ilustra las variaciones de una señal de mando regida por la función $f(t)$ y formada por una serie de duración T de picos diferentes de igual amplitud a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , etc... En lo que sigue, se supone que la función de autocorrelación de $f(t)$ suministra residuos de correlación de amplitud despreciable ante la del pico central. La señal de mando provoca la emisión de una serie de impulsiones diferentes b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , b_5 , etc... representadas en la figura 3 y de amplitud sensiblemente igual.

380.- La figura 4 representa esquemáticamente en función del tiempo, y abstracción hecha del ruido, la señal recibida por un receptor tal como R' cuando el emisor E ha emitido una impulsión única b análoga a las de la figura 3; esta señal comprende tres reflexiones sucesivas c , d , e cuyas amplitudes van atenuándose y corresponden a las respuestas de los tres reflectores R_1 , R_2 y R_3 .

385.-

390.-



La figura 5 representa el principio de la señal compleja, de duración $T + \theta$, recibida y registrada por el receptor R' después de la emisión de la serie de impulsiones diferentes $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, \text{etc.}$ de la figura 3, provocando cada una de estas impulsiones a la recepción, la aparición de tres picos respectivamente análogos a c, d, e de la figura 4. Así, las reflexiones sobre el reflector R_1 de las ondas engendradas por las impulsiones ilustradas en la figura 3 han dado nacimiento a los picos $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, \text{etc.}$ Lo mismo sucede para los picos $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, \text{etc.}$ y e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 , correspondiendo la señal recibida a la superposición de los escalonamientos en el tiempo de estas tres categorías de picos. En la práctica, esta señal comprende además los ruidos de amplitud aleatoria que enmascaran parcialmente o totalmente los picos de la figura 5.

La operación de intercorrelación de la señal de mando de la figura 2 (función $f(t)$) y de la señal recibida de la figura 5 puede llevarse esquemáticamente a hacer desfilar de izquierda a derecha el grafo de la figura 2 de origen A ante el de la figura 5 a partir del origen O del tiempo de escucha; en cada posición relativa de los dos grafos, se multiplican las ordenadas correspondientes de estos dos grafos y se hace la suma de los productos obtenidos sobre la duración del tiempo T; esto llega a adicionar las amplitudes de picos de la figura 5 que se encuentra en la abscisa misma que un pico del grafo de la figura 2. El resultado de esta adición se lleva en ordenada sobre el gráfico de la figura 6, en el cual figura en abscisa el valor γ del desencaje entre los orígenes O y A de los dos grafos para cada una de sus posiciones relativas.

Las figuras 5a, 5b y 5c y 5d muestran cuatro posiciones



- del grafo de la figura 2 con relación al grafo de la figura 5, los valores del desencaje OA siendo respectivamente $0, \tau_1, \tau_2$ y τ_3 . En la posición de la figura 5a se ha supuesto que ningún pico $a_1, a_2, a_3, \text{etc...}$ se encontraba frente a un pico del grafo de la figura 5; el resultado de la operación de adición precedente es nulo y corresponde al punto B de la figura 6. La posición del punto B origen de los tiempos, se fija por la posición del máximo de la función de autocorrelación de la señal de mando (figura 2).
- 425.-
- 430.- En la posición de la figura 5b, todos los picos $a_1, a_2, a_3, \text{etc...}$ se encuentran frente a un pico de la figura 5 cuya amplitud es al menos igual a la de los picos $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, \text{etc...}$; y esto ocurre así porque esta posición está definida por un desencaje $OA = \tau_1$, correspondiente al tiempo de recorrido de las ondas engendradas por las impulsiones $b_1, b_2, b_3, \text{etc.}$ de la figura 3, para alcanzar el receptor R' después de reflexión sobre el reflector R_1 . La suma C de las amplitudes de todos estos picos, de valor al menos igual a la suma de las amplitudes de los picos $c_1, c_2, \text{etc...}$ que se encuentra
- 435.-
- 440.- llevada en ordenada sobre la figura 6, corresponde a un máximo de la función de intercorrelación cuya variación está representada en esta figura 6, sin que ninguna de las posiciones anteriores del grafo de la figura 2 que desfila, pueda suministrar tal coincidencia de picos de los dos grafos; la medida de su abscisa τ , permite conocer la profundidad del punto espejo M_1 del reflector R_1 (figura 1). La función de intercorrelación de la figura 6 presenta aún dos máximas de amplitud D y E cuyas abscisas τ_2 y τ_3 permiten determinar las profundidades de los puntos espejos M_2 y M_3 de los reflectores R_2 y R_3 y corresponden a las posiciones representadas en las figuras 5c y
- 445.-
- 450.-



5d del grafo de la figura 2 que desfila ante el de la figura 5 durante el cálculo de la función de intercorrelación.

Se comprueba que, en el método que acaba de ser definido, el cálculo de la función de intercorrelación se simplifica notoriamente y corresponde sensiblemente a una operación de reposición en fase de ciertas componentes de la señal recibida con relación a la señal emitida: es una operación de "correlación reducida".

Hasta ahora se ha hecho abstracción del problema de la minimización de los residuos de correlación cuya importancia depende del número de impulsiones de la señal emitida durante el tiempo T y de la ley de sucesión de estas impulsiones; se puede calcular la amplitud relativa de los residuos de correlación con ayuda de la función de autocorrelación de la función $f(t)$.

Si cada impulsión de la señal de mando que obedece a $f(t)$ tiene, por convención, una amplitud de valor 1, el máximo de la función de autocorrelación de $f(t)$ es igual al número de impulsiones. Cuando se desfasa la función con relación a sí misma de una cantidad γ , el número de las impulsiones que se encontrarán en coincidencia será igual al número de las impulsiones distantes de este valor γ en la función de origen $f(t)$. Por tanto, si se ha elegido una ley de aparición de las impulsiones tal que no exista nunca más de dos impulsiones distantes de un intervalo dado γ , el valor máximo que podrá tomar la función fuera del valor de la coincidencia, es decir, para $\gamma = 0$, es 1. Desde entonces, un número de impulsiones suficiente permite disminuir el valor relativo de los residuos de correlación.

Se ha encontrado que una ley de aparición de las impulsiones aleatoria permitía aproximarse de forma satisfactoria a la condición enunciada más arriba y obtener una función de autoco-



rrelación favorable. En la práctica, se puede por ejemplo obtener series de impulsiones con intervalos de tiempos desiguales múltiplos de un mismo tiempo de base en un tiempo fijo aproximado, siendo elegidos los multiplicadores en una serie aleatoria. Se podrá, eligiendo convenientemente el número de impulsiones de la serie, obtener una relación entre la amplitud del máximo de la función de autocorrelación y del residuo de correlación comprendido entre 10 y 50 según las necesidades.

485.- El ejemplo siguiente permitirá comprender claramente el método aplicado a la prospección submarina con un generador de chispas.

490.- Se dispone de un sparker pudiendo emitir una potencia de 10 kW bajo 20 kW y produciendo descargas de 1.000 julios aproximadamente. Se realiza un programa de mando del sparker de la forma siguiente:

495.- El tiempo entre dos chispas se define como igual a $(20 + 2x)$ milisegundos, estando x comprendido entre 1 y 100.

500.- Se efectúa la repartición aleatoria de las cifras de 1 a 100, lo que da una serie infinita de números. Se toman las 400 primeras cifras obtenidas. Se realiza la sucesión de tiempos correspondientes a estas 400 cifras lo que da tiempos de silencio comprendidos entre 20 y 220 milisegundos, siendo la duración de la secuencia alrededor de 48 segundos. Este tiempo es grande ante el tiempo de recorrido más largo de las ondas mecánicas en el suelo (4 segundos por ejemplo).

505.- Se efectúa la autocorrelación de la función $f(t)$ definida colocando al final de cada intervalo el tiempo comprendido entre 20 y 220 milisegundos una impulsión elemental.

510.- La función de autocorrelación posee un pico central cuya amplitud es superior a 10 veces la amplitud del residuo de co-



rrelación. Se realiza una banda magnética que lleva un grafo al final de cada intervalo de tiempo elemental.

515.- Con ayuda de esta banda se manda el sparker que funciona a media cadencia y emite 400 impulsiones en 48 segundos y se recoge sobre banda magnética a 25 pistas las señales eléctricas expedidas por los receptores o geófonos que son en número de 24. Así, las señales recibidas por los geófonos son enviadas cada una a una pista de la banda magnética, y la pista restante nº 25 registra la serie de impulsiones de mando transmitidas al generador de chispas, es decir, la señal de mando largo misma.

520.- Para la explotación de las señales recibidas, se determina primero la función de autocorrelación de la señal de mando correlacionando con ella misma el registro de la pista nº 25; 525.- el máximo de esta función tiene por abscisa el origen del tiempo de escucha (punto B de la figura 6). Se determina después las 24 funciones de intercorrelación de la señal emitida con las 24 señales registradas repitiendo la operación de multiplicación de las amplitudes instantáneas y de integración para 530.- desencajes sucesivos, de valor $\gamma = 2$ milisegundos por ejemplo; del registro nº 25 a partir de la posición de este último que ha suministrado el máximo de la función de autocorrelación ($\gamma = 0$).

535.- Se obtiene un solo máximo por geófono si no hay más que un solo reflector, todas las señales parásitas procediendo del residuo de autocorrelación que tenga una altura inferior al 1/10 de esta señal.

540.- En el caso de varios reflectores se dispone de tanta máxima por geófono como haya reflectores y se observa esta máxima en tanto que su amplitud permanezca al menos igual a 1/10



de la amplitud del máximo más acentuado o a la amplitud máxima del ruido en la función de intercorrelación.

La medida de los intervalos de tiempo, separando la o las máximas de cada función de intercorrelación y el máximo de la
545.- función de autocorrelación, da para cada geófono los tiempos de recorrido de las ondas que alcancen al o a los reflectores.

Se ha visto que con una señal emitida como se acaba de exponerlo, una duración de emisión de 48 segundos permitía obtener una relación de 10 aproximadamente entre las amplitudes del pico
550.- máximo y residuos de correlación de la función de autocorrelación de la señal.

Se puede aumentar esta relación aumentando la duración de la señal, pero también se puede, con una relación dada, disminuir la duración de emisión de esta señal aumentando el número
555.- de separaciones diferentes posibles entre las impulsiones: es decir, que se puede igualmente hacer intervenir intervalos entre impulsiones sucesivas de duración inferior a 20 milisegundos y superior a 220 milisegundos.

El método según la invención presenta las ventajas de los
560.- métodos de exploración haciendo uso de señales largas, especialmente en lo que concierne a la posibilidad de obtener una buena definición de los reflectores cuando se desplaza la fuente de energía de ondas acústicas, lo que es el caso especialmente en prospección submarina. Combina estas ventajas con las de los
565.- métodos impulsionales clásicos, los cuales son más fáciles de poner en ejecución. Sin embargo, con relación a estos últimos, el fraccionamiento elevado de la energía total emitida por cada serie en razón al gran número de impulsiones que comprende, es un factor favorable para la obtención del buen rendimiento de
570.- energía mecánica de los generadores utilizados. Además, las emi-



siones de fuerte energía crean vibraciones mecánicas ricas en bajas frecuencias representadas por tanto por impulsiones sísmicas amplias, lo que perjudica la resolución en el registro final de dos reflectores cercanos.

- 575.- En lo esencial, la ventaja conferida por este método con relación a los métodos conocidos reside en el empleo de impulsiones de amplitud sensiblemente constante. En efecto, en teoría se puede obtener con señales de amplitud variable funciones de autocorrelación muy satisfactorias en lo que se refiere a la
- 580.- amplitud relativa de los residuos de correlación en relación a los picos de amplitud máxima. Sin embargo, para beneficiarse en la práctica de esta propiedad cuando se realiza la intercorrelación de la señal emitida y de las señales recibidas, es preciso que la amplitud de las impulsiones efectivamente emitidas en el
- 585.- suelo y transmitidas a los receptores corresponda con precisión a la amplitud de las impulsiones de la señal de mando, en general de naturaleza eléctrica. Esta correspondencia es en la práctica difícil de obtener sobre el terreno con los generadores de impulsiones conocidos, se trate de cañones de gas, de generadores de chispas o de dispositivos de implosión: dos impulsiones acústicas mandadas por dos señales de la misma amplitud pueden presentar amplitudes diferentes: los resultados obtenidos al efectuar la intercorrelación sufren por ello de modo considerable, y tanto más cuanto que el número de impulsiones sea res-
- 595.- tringido.
- Además, con las señales de amplitud variable la determinación de la función de intercorrelación necesita una multiplicación de las amplitudes instantáneas de las señales emitidas y recibidas antes de su integración para cada valor de los desen-
- 600.- cajes de tiempo τ , y supone un material complejo a este efecto.



No sucede así con el método según la invención, en el cual las impulsiones de la señal de mando tienen amplitudes iguales y son emitidas en número elevado; las diferencias de amplitud de las impulsiones acústicas transmitidas en el suelo tienden a anular sus efectos en el momento de la correlación; ésta no es ya, en efecto, una verdadera operación de intercorrelación con multiplicación de las amplitudes, sino una simple reposición en fase, con adición, de la señal reflejada correspondiente a un reflector dado con relación a las señales emitidas. De hecho, es una operación de correlación reducida en la cual las diferencias aleatorias de amplitud de las impulsiones acústicas realmente emitidas tienden a anular sus efectos al adicionarse; por otra parte, esta operación puede ser realizada con un material notablemente simplificado con relación a los correladores usuales.

Se obtiene en fin de modo sencillo una ley de aparición de las impulsiones emitidas teniendo una función de autocorrelación favorable, gracias a una repartición aleatoria de los intervalos entre estas impulsiones.

520.-

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

1*).- "METODO DE EXPLORACION DE UN MEDIO DE TRANSMISION DE ENERGIA EMITIDA BAJO FORMA DE IMPULSIONES DIFERENTES Y SUS APLICACIONES A LA PROSPECCION SISMICA" consistente en emitir en el suelo (tierra) una señal larga que se propaga bajo forma de ondas que son captadas y registradas bajo forma de señales después de reflexión sobre al menos un reflector, las señales recibidas siendo después intercorreladas con una función de la señal emitida con vistas a determinar los tiempos de recorrido de las ondas reflejadas, método caracterizado por el hecho de



530.- que la señal larga emitida está constituida por una serie de impulsiones de energía elemental diferentes, del mismo signo y de amplitud sensiblemente constante, siendo determinados el número de impulsiones de la serie y los intervalos de tiempo que las separan, para que la función de autocorrelación de la señal emi-

535.- tida presente residuos de correlación cuya amplitud es inferior a una fracción dada de la amplitud máxima de esta función.

2*).- "METODO DE EXPLORACION DE UN MEDIO DE TRANSMISION DE ENERGIA EMITIDA BAJO FORMA DE IMPULSIONES DIFERENTES Y SUS APLICACIONES A LA PROSPECCION SISMICA" según la reivindicación 1ª,

540.- caracterizado por el hecho de que se intercorrela las señales registradas con una función del tiempo que emplea el valor 1 en cada instante en que la impulsión de energía se emite y permanece nula al resto del tiempo.

3*).- "METODO DE EXPLORACION DE UN MEDIO DE TRANSMISION DE ENERGIA EMITIDA BAJO FORMA DE IMPULSIONES DIFERENTES Y SUS APLICACIONES A LA PROSPECCION SISMICA" según las reivindicaciones 1ª ó 2ª, caracterizado por el hecho de que la serie de impulsiones de amplitud sensiblemente constante está regida por una ley de aparición aleatoria de estas impulsiones.

550.- 4*).- "METODO DE EXPLORACION DE UN MEDIO DE TRANSMISION DE ENERGIA EMITIDA BAJO FORMA DE IMPULSIONES DIFERENTES Y SUS APLICACIONES A LA PROSPECCION SISMICA" según la reivindicación 3ª, caracterizado por el hecho de que los intervalos de tiempo que separan la aparición de dos impulsiones sucesivas de una serie

555.- son múltiplos de un mismo tiempo de base en un tiempo fijo aproximado, siendo la serie de los multiplicadores una serie de números aleatoria.

560.- 5*).- "METODO DE EXPLORACION DE UN MEDIO DE TRANSMISION DE ENERGIA EMITIDA BAJO FORMA DE IMPULSIONES DIFERENTES Y SUS APLICACIONES A LA PROSPECCION SISMICA" según las reivindicaciones 1ª



a 4ª, caracterizado por el hecho de que las impulsiones de energía son creadas por chispas que estallan en el agua entre electrodos colocados bajo alta tensión de modo intermitente por medio de un disparador, estando comprendida la energía eléctrica
565.- puesta en juego por cada chispa entre 100 y 100.000 julios y con preferencia entre 500 y 10.000 julios.

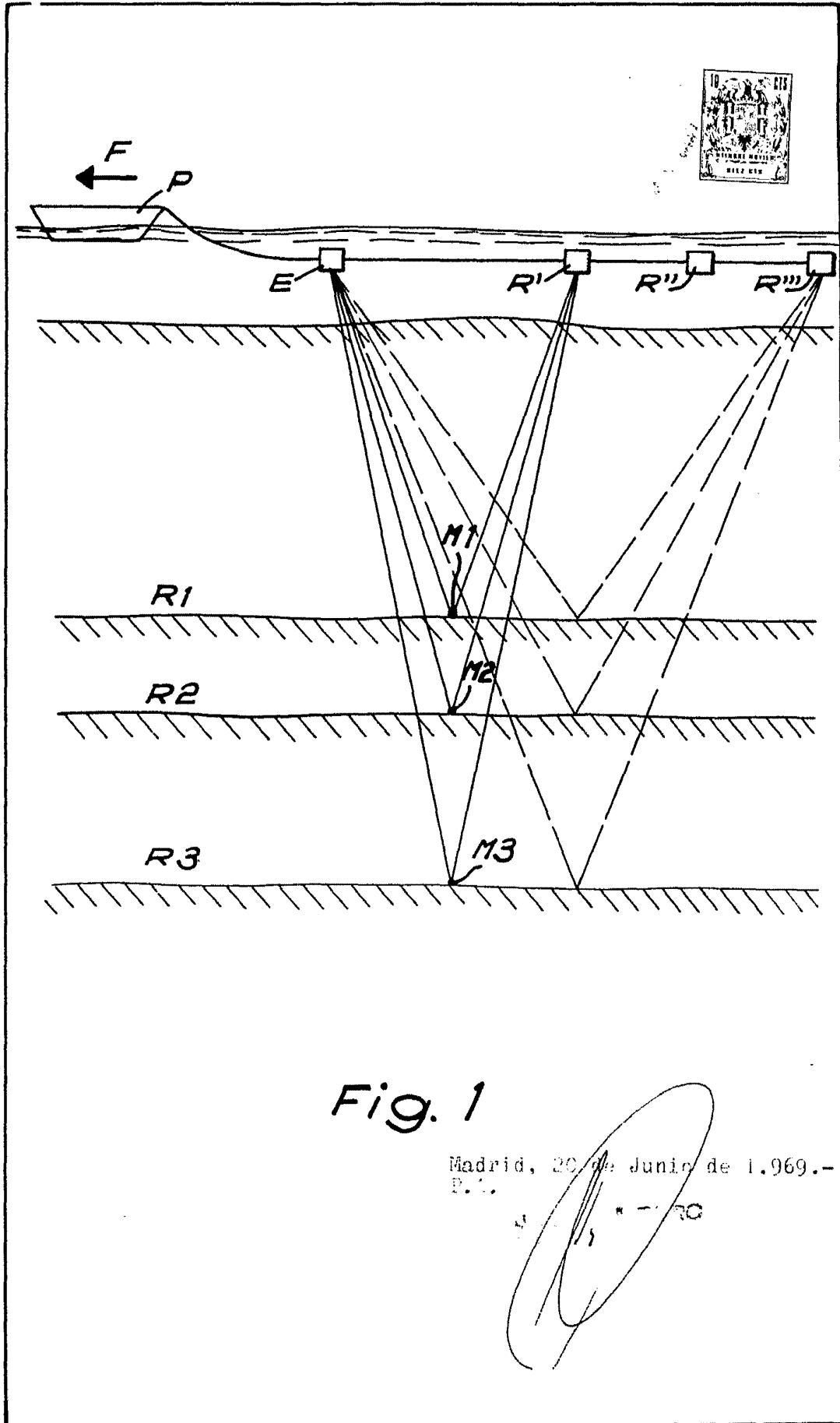
6ª).- "METODO DE EXPLORACION DE UN MEDIO DE TRANSMISION DE ENERGIA EMITIDA BAJO FORMA DE IMPULSIONES DIFERENTES Y SUS APLICACIONES A LA PROSPECCION SISMICA" según la reivindicación 5ª,
570.- caracterizado por el hecho de que el disparador va pilotado a partir del desenrollado de un grafo registrado.

7ª).- "METODO DE EXPLORACION DE UN MEDIO DE TRANSMISION DE ENERGIA EMITIDA BAJO FORMA DE IMPULSIONES DIFERENTES Y SUS APLICACIONES A LA PROSPECCION SISMICA".

La presente memoria descriptiva consta de veinticuatro hojas escritas a máquina por una sola cara, componiendo un total de quinientas setenta y siete líneas, incluidas las presentes.

Madrid, 20 de junio de 1.969.-

JOSE LUIS TOYO
RE



Madrid, 28 de Junio de 1.969.-
S.A. de Patentes de Invención

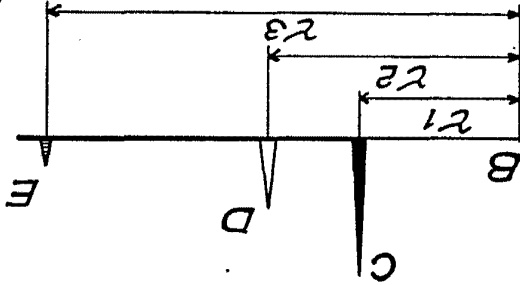
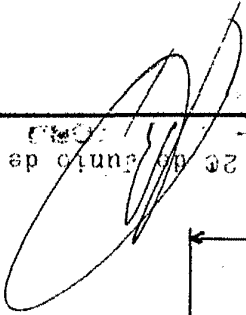


Fig. 6

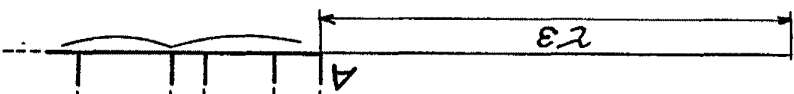


Fig. 5a

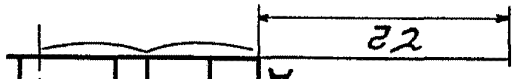


Fig. 5b



Fig. 5c

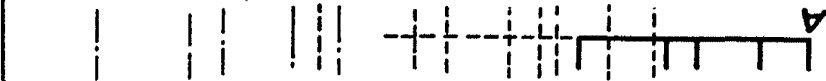


Fig. 5d

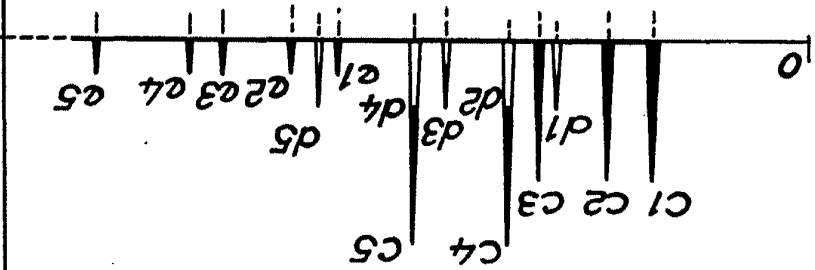


Fig. 5



Fig. 4

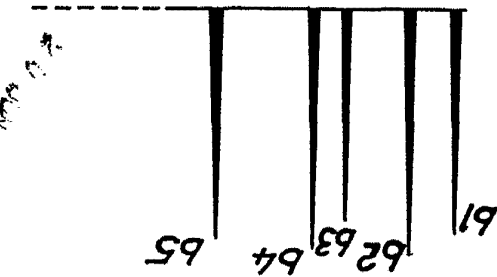


Fig. 3

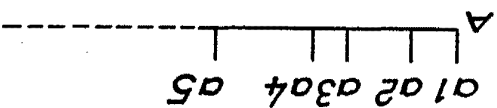


Fig. 2