

14 MAR. 1956



227284

14 MAR 1956

227284

MEMORIA DESCRIPTIVA

para solicitar

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

en ESPAÑA, por VEINTE años,

a nombre de SCHLUMBERGER WELL SURVEYING CORPORATION, entidad norteamericana, establecida en 5000 Gulf Freeway, Houston, Harris, Tejas, Estados Unidos de América, por:

"APARATO PARA LA INVESTIGACION DE MATERIAL".-



Esta invención está relacionada con la investigación de material y concierne, más particularmente, a técnicas nuevas y mejoradas para derivar indicaciones de fenómenos nucleares inducidos en material irradiado por neutrones.

5 Aunque la presente invención es útil en diversas aplicaciones, es particularmente apropiada para la obtención de informes de pozos, y por conveniencia, se describirá detalladamente en relación con éste. Sin embargo, debe comprenderse que la invención no está limitada a esta aplicación particular.

10 Los métodos convencionales de obtención de informes de pozos, a base de neutrones, están limitados, en términos generales, a la percepción de compuestos de hidrógeno en formaciones terrestres y usualmente no pueden distinguir los hidrocarburos que se buscan, de aguas connatas. Obviamente es
15 de gran interés una información que denote los hidrocarburos



27284

más específicamente, ya sea directamente o bien con medios indirectos, empleándose un elemento indicador que acompañe usualmente a los hidrocarburos en una formación.

5 Es un objeto de la presente invención proveer métodos y aparatos, nuevos y mejorados, para derivar más información concerniente al material bajo investigación, que lo que ha sido posible hasta ahora.

10 Otro objeto de la presente invención es el de proveer métodos y aparatos, nuevos y mejorados, para la obtención de informes de pozo, basados en la radioactividad, mediante los cuales puedan identificarse elementos específicos in situ.

15 Todavía otro objeto de la presente invención es el de proveer métodos y aparatos nuevos y mejorados para la obtención de informes de radioactividad, de pozos, particularmente útiles en la localización de formaciones conteniendo hidrocarburos.

20 De Acuerdo con la presente invención, se irradia el material, bajo investigación, con neutrones durante intervalos repetidos y relativamente cortos de tiempo, para definir así ciclos sucesivos de operación, incluyendo cada uno un intervalo de irradiación, seguido de un intervalo quiescente. Cada intervalo quiescente está compuesto de un primer período, en el cual los neutrones, provenientes
25 de la fuente, pueden desacelerarse, difundirse y experimentar



27284

reacciones de captura con núcleos, en átomos de las for-
maciones, y un segundo período en el cual los elementos
radioactivos, formados por interacciones de los neutrones,
pueden exhibir un producto de deterioro radioactivo. Se
5 obtienen indicaciones de un fenómeno nuclear que ocurre
durante intervalos de observación repetidos y relativamente
cortos, ocurriendo cada uno dentro de una porción de un
ciclo de operación que incluye un intervalo de irradiación,
antes citado, y el primer período.

10 De acuerdo con una realización particular de la
invención, los intervalos de observación son coincidentes
con, o están poco espaciados de, los intervalos de irra-
diación, y así se obtienen indicaciones del esparcimiento
inelástico de neutrones, por núcleos de átomos en las for-
15 maciones. En este caso se percibe una radiación gama, que
ocurre cuando un neutrón sale de un núcleo de producto, en
un estado excitado, del cual se deteriora rápidamente a un
estado de tierra.

20 En otra realización de la invención, cada intervalo
de observación ocurre durante una porción del primer período
de un ciclo de operación, en el cual se desaceleran los
neutrones. Los intervalos de observación pueden fijarse
en relación de tiempo con los intervalos de irradiación,
y pueden obtenerse indicaciones del flujo de neutrones, de
25 una energía ligeramente mayor que un nivel térmico al cual



227284

5 pueden comenzar a difundirse dichos neutrones. Alternativa-
mente, los intervalos de observación pueden ser de una
ocurrencia, en el tiempo, variada relativamente a los
intervalos de irradiación, y pueden obtenerse indicaciones
del tiempo en que ocurre el flujo máximo de neutrones.

10 De acuerdo con todavía otra realización de la
invención, cada intervalo de observación ocurre al final,
o cerca del final del primer período de un ciclo de ope-
ración, y puede observarse una radiación gama, resultante
del deterioro rápido de núcleos compuestos a un estado de
tierra, después de la captura de neutrones. Los interva-
los de observación pueden fijarse en relación de tiempo
con los intervalos de irradiación y se indica el flujo
de radiación gama de captura; o bien puede variarse la
15 ocurrencia, en el tiempo, de los intervalos de observación,
obteniéndose indicaciones del tiempo en que ocurre la
radiación gama maxima de captura.

20 Una definición adicional de elementos puede obte-
nerse mediante el uso de otra característica de la presente
invención, en que se indica la radiación gama de uno o más
niveles predeterminados de energía.

25 También está dentro del alcance previsto para la
presente invención, el proveer aparatos para llevar a
cabo las realizaciones de la presente invención, en las
cuales se obtienen indicaciones de la ocurrencia, en el

10 MAR. 1955



227284

tiempo, de los intervalos de irradiación, relativamente a los intervalos de observación, en que ocurre un fenómeno nuclear escogido. Para este objeto el aparato está compuesto de una fuente de neutrones de flujo controlable, y
5 de medios para gobernar la fuente, de modo de derivar impulsos cortos de neutrones. El aparato comprende, adicionalmente, un sistema de percepción, o detector, responsivo a un fenómeno nuclear resultante de la irradiación de material con los impulsos de neutrones. El sistema de percepción se
10 incapacita efectivamente y se acondiciona operativamente, durante intervalos de observación, sincronizados, relativamente a los impulsos de neutrones, en una cantidad ajustable. Están provistos medios para ajustar la ocurrencia, en el tiempo, de los intervalos de observación, y para proveer
15 indicaciones de la relación, en terminos de tiempo, de los intervalos de observación con respecto a los impulsos de neutrones.

Las características novedosas de la presente invención están expuestas, con particularidad, en las cláusulas
20 anexas. La presente invención, tanto con respecto a su organización como con respecto a la manera de operación, junto con objetos y ventajas adicionales de la misma, podrá comprenderse mejor por referencia a la siguiente descripción, tomada en relación con los dibujos anexos, en los cuales.

25 La Fig. 1 es una vista en sección longitudinal de



227284

un aparato adaptado para bajarse dentro de un barreno para llevar a cabo el método de explorar formaciones terrestres de acuerdo con la presente invención;

5 La Fig. 2 es un diagrama esquemático de una modificación que puede hacerse al aparato de la Fig. 1, mediante la cual puede llevarse a cabo otro aspecto de la invención;

La Fig. 3 es un diagrama de tiempo útil para explicar diversas realizaciones de la invención;

10 La Fig. 4 es un diagrama esquemático de una modificación que puede hacerse al aparato de la Fig. 1, de acuerdo con la presente invención;

La Fig. 5 es un diagrama de tiempo que ilustra varias formas de onda, útiles para explicar la operación del aparato de la Fig. 4;

15 La Fig. 6 representa una modificación que puede incorporarse al arreglo de la Fig. 4; y

La Fig. 7 es un diagrama esquemático de otra modificación que puede hacerse al aparato de la Fig. 1.

20 De acuerdo con la presente invención, pueden emplearse aparatos del tipo ilustrado en la Fig. 1. Como se muestra allí este aparato comprende un alojamiento 10, resistente a la presión y adaptado para pasarse por un barreno 11 que atraviesa una pluralidad de formaciones terrestres 12. El barreno 11 contiene, usualmente, un fluido hidrogenico
25 de perforar 13, por ejemplo un lodo a base de agua o a base



1284

de aceite, y puede estar forrado con una o más columnas de entubado metálico (no ilustrado) o bien puede estar sin revestir, como está ilustrado.

5 El alojamiento 10 está suspendido dentro del barreno, mediante un cable revestido, el cual, en relación con un torno (no ilustrado), situado en la superficie de la tierra, puede emplearse para bajar y elevar el alojamiento dentro del barreno, de la manera usual.

10 El cable 14 también incluye una pluralidad de conductores aislados 15, 16, 17 y 18, y un protector 19 (el cual puede ser el revestimiento o coraza del cable), que se utilizan para conectar el equipo superficial con componentes dentro del alojamiento 10. Entre estos componentes los conductores 15 y 16 conectan una fuente de corriente alterna 20, dotada de un interruptor operatorio o de accionamiento 21, con una fuente de fuerza 22 y con una fuente de fuerza 23, conectada, a su vez, con una fuente de impulsos de alto voltaje 24, la cual puede ser de construcción convencional. Si se necesita, la fuente de impulsos puede incluir un transformador amplificador

15

20

25



7284

apropiado, de modo de desarrollar voltajes-cumbre de los impulsos, del orden de 100 kilovoltios.

También está incluido, dentro del alojamiento 10, un generador de neutrones, 25, el cual puede ser de construcción conocida. Por ejemplo, el generador de neutrones, 5 25, comprende una fuente de iones 26, energizada por la fuente de fuerza 22, y un espacio de aceleración 27, energizada por la fuente de impulsos 24. La fuente 26 y el espacio 27 están encerrados mediante un envolvente 10 lleno de gas de deuterio. El espacio de aceleración está dotado de un blanco de tritio si se desean neutrones de 14 mev. Desde luego puede emplearse deuterio si se requieren neutrones aproximadamente a 3.5 mev.

La fuente de impulsos 24 es, preferentemente, del 15 tipo que normalmente está en un estado quiescente, durante el cual no se produce ningún impulso. Sin embargo, se acondiciona operativamente en respuesta a cada uno de los impulsos suministrados por un generador 28 de impulsos sincronizadores, por vía del conductor 17 y del revesti- 20 miento o coraza 19 del cable 14. Subsecuentemente se definirán en detalle la duración y el régimen de repetición de los impulsos sincronizadores. En términos generales, estos impulsos son de una duración relativamente corta, en relación con los periodos entre los impulsos, de manera 25 que el generador de neutrones 25, bajo el control de la



1956

fuerza de impulsos 24, produzca neutrones durante intervalos relativamente cortos de tiempo, irradiándose así las formaciones terrestres 12 con "impulsos" de neutrones.

Si se desea, puede vigilarse el rendimiento en neutrones y mantenerse las cumbres relativamente constantes mediante un sistema "monitor" o rectificador, y de control.

Como resultado de la irradiación con neutrones, ocurre un fenómeno nuclear en el material de las formaciones y, por ejemplo, la radiación gama resultante puede volverse hacia el alojamiento 10. Se intercepta parte de esta radiación con un dispositivo o detector 29, responsivo a la radio-actividad, sustentado al extremo inferior del alojamiento debajo de una placa protectora apropiada 30, diseñada para proteger al detector contra un tipo escogido de radiación que pudiera emanar del generador 25. El detector 29 puede ser, por ejemplo, un tubo Geiger-Mueller, debidamente energizado y acoplado con un amplificador 31, conectado, por vía del conductor 18 y del protector o revestimiento 19, con un amplificador convencional de tipo disyuntivo, 32, en la superficie de la tierra.

El amplificador 32 es inoperativo, normalmente, para trasladar la señal de impulso, suministrada por el amplificador 31, y se acondiciona operativamente en respuesta a cada impulso producido por un multivibrador convencional 33, determinativo de los intervalos. El multivibrador 33



1284

está acoplado con un multivibrador convencional de retardo, 34, a su vez, acoplado con el generador 28 de impulsos sincronizadores. Los multivibradores 33 y 34 están dotados de controles respectivos, ilustrados esquemáticamente con las líneas de guiones 35 y 36, para ajustar la duración de los impulsos aplicados al amplificador 32, y el tiempo en que se genera cada uno de estos impulsos, relativamente a un impulso sincronizador. Los ajustes de los elementos de control, 35 y 36, serán evidentes por la descripción del método que comprende el invento, la cual se dará subsecuente-
mente.

El amplificador 32 está acoplado con una unidad integradora y registradora 37 la cual puede comprender, por ejemplo, un capacitor para derivar un potencial representativo del número de impulsos, aplicados por unidad de tiempo, y un voltímetro registrador, al cual se aplica este potencial. El medio de registro, del voltímetro, se desplaza, de una manera usual, proporcionalmente al movimiento del alojamiento 10, por el barreno, de modo que se obtenga un registro o informe continuo del régimen de cuenta versus la profundidad dentro del barreno.

Si se desea, la unidad 37 puede comprender un normalizador de impulsos, en el cual se deriven impulsos de un ancho y altura predeterminadas, acoplado con un medidor convencional del régimen de cuenta, que desarrolle un rendimiento que sea



7284

una función del promedio del número de impulsos, por unidad de tiempo.

En la operación, se baja el alojamiento 10 dentro del barreno 11 y se cierra el interruptor 21. Así se energizan las fuentes de fuerza 22 y 23, suministrándose de esta manera fuerza a la fuente de iones, 26, del generador de neutrones 25 y a la fuente de impulsos 24, respectivamente. En la fuente de iones 26 se derivan iones de deuterio, entrando algunos de los mismos al espacio acelerador 27. Cada vez que un impulso, del generador 28, active a la fuente o sistema de impulsos 24, se aplica un voltaje alto al espacio de aceleración 27, y los iones de deuterio, altamente acelerados, reaccionan con tritio en la porción de blanco, del espacio, para producir neutrones a un nivel de energía de 14 mev. Por consiguiente, las formaciones terrestres 12 se irradian con neutrones, durante intervalos repetidos y relativamente cortos de tiempo, para definir así intervalos sucesivos de operación, cada uno de los cuales incluye un intervalo de irradiación seguido de un intervalo quiescente.

Como se describirá después, más detalladamente, cada intervalo quiescente está compuesto de un primer período en el cual los neutrones pueden desacelerarse o perder velocidad, difundirse y experimentar reacciones de captura con núcleos en átomos de las formaciones, y un segundo período en el cual los elementos radioactivos, formados por interacciones



227284

de neutrones, pueden exhibir un producto de deterioro radioactivo. En ciertas aplicaciones previas, se obtienen indicaciones de un fenómeno nuclear que ocurre en el segundo período. Sin embargo, de acuerdo con la presente invención,

5 se ajustan los elementos de control 35 y 36 de manera que los impulsos, desarrollados por el multivibrador 33, acondicionen operativamente al amplificador disyuntivo 32, durante los intervalos de observación, ocurriendo cada uno dentro de una porción de un ciclo de operación que incluye un inter-

10 valo de irradiación y el primer período. Por lo tanto, de la radiación gama resultante, incidente en el detector 29 y productora de los impulsos amplificados en el amplificador 31, se traslada a la unidad 37 sólo dicha porción, dentro de cada intervalo de observación, y se registra

15 como una función de la profundidad del ajojamiento 10, dentro del barreno 11.

Como se ha señalado previamente, cuando ocurren reacciones de deuterio-deuterio, o bien de deuterio-tritio, en el generador de neutrones, se derivan neutrones mono-

20 energéticos, a 3.5 mev y a 14 mev., respectivamente. Tales neutrones se clasifican como neutrones rápidos, es decir, de un nivel de energía mayor de 1 mev.

La velocidad, V, de estos neutrones, puede definirse como sigue:

25
$$V = \sqrt{\frac{2E}{m}} \quad (1)$$



227284

donde: m = la masa de un neutrón y E es la energía del neutrón. Así es posible computar V para cualquier energía, usándose el valor de 1.7×10^{-24} gramos para la masa del neutrón y un factor de conversión de 1.6×10^{-12} ergios por voltio electrónico. Por consiguiente, pueden obtenerse los siguientes valores:

TABLA I

	<u>Energía en</u> <u>Electrón-voltios</u>	<u>Velocidad en</u> <u>cms./segundo</u>
10	10 mev	4.4×10^9
	1 mev	1.4×10^9
	0.1 mev	4.4×10^8
	10 ev	4.4×10^6
	1 ev	1.4×10^6
15	0.1 ev	4.4×10^5

(Nota: ev = electrón-voltio)

Puesto que la trayectoria libre media, o sea el promedio de la distancia recorrida antes de haber una colisión, de los neutrones rápidos dentro de la gama de 0.1 a 10 mev., es sólo aproximadamente de 10 cms., en las formaciones terrestres, la primera colisión, o las primeras dos, ocurren dentro de 10^{-8} a 10^{-9} segundos después de la emisión del neutrón rápido. Si éstas son colisiones elásticas, no hay ningún fenómeno nuclear resultante perceptible. Sin embargo, un número apreciable



227284

de las primeras cuantas colisiones, son de una naturaleza inelástica y en este caso se emiten rayos gama dentro de 10^{-12} segundos, o sea en forma esencialmente simultánea con dichas colisiones inelásticas. En este procedimiento, un neutrón de una energía dada incide en el núcleo de un átomo de un peso atómico, A , para producir un núcleo compuesto y se forma un átomo de un peso atómico $A + 1$, en estado excitado.

Casi instantáneamente se expulsa un neutrón de una energía inferior a la energía dada, y se emite radiación gama conforme el átomo vuelve al estado de tierra, del peso atómico A . Como será más evidente por la siguiente discusión, la presente invención utiliza dicha radiación gama inmediata, para derivar un registro o informe de las formaciones terrestres atravesadas por un barreno.

Entre los diversos elementos, en las formaciones atravesadas por un barreno, los cuales pudieran causar tales colisiones inelásticas, dos de gran interés son el carbono (en petróleo y en piedra caliza) y el oxígeno (en el agua y en la mayoría de las rocas). La radiación gama, resultante del esparcimiento inelástico de neutrones, puede tener energías iniciales correspondientes a transiciones entre niveles bajos de energía de un núcleo que reciba un impacto. Por ejemplo, el carbono de un peso atómico de 12, tiene niveles a 4.43, 7.5 y 9.61 mev. arriba del estado de



227284

tierra y, entre estos niveles, se ha encontrado que la radiación gama inelástica dominante está a un nivel de energía de 4.43 mev. Por otra parte, el oxígeno de un peso atómico de 16 tiene niveles a 6.05, 6.13, 6.9 y 7.1
5 mev., arriba del estado de tierra. Se ha encontrado que la radiación gama inelástica dominante, de este elemento está a niveles de energía de 6.9 y de 7.1 mev.

Desde luego, la radiación gama inelástica dominante, atribuída al carbono y al oxígeno, puede no excitarse como
10 un resultado de la irradiación con neutrones moderadamente rápidos (de menos de 4.4 mev.). Sin embargo, los neutrones derivados de interacciones de deuterio y tritio, pudieran excitar tanto el carbono 12 como el oxígeno 16, y la radiación gama inelástica resultante pudiera percibirse
15 con aparatos convencionales espectrométricos de centelleo, como se describirá subsecuentemente.

Por consiguiente, de acuerdo con una realización de la presente invención, el generador de neutrones 25 irradia las formaciones terrestres 12 con neutrones que tienen una energía seleccionada, durante intervalos relativamente cortos y espaciados en el tiempo. Estos intervalos pueden ser de una duración de un microsegundo, más o menos, y estar espaciados, el uno del otro, por un intervalo quiescente del orden de 1250 microsegundos. El amplificador
20 disyuntivo, 32, está acondicionado operativamente,



227284

substancialmente sólo durante un intervalo corto coincidente con, o muy poco espaciado del, intervalo de irradiación con neutrones.

5 Por ejemplo, el sistema detector, o de percepción, puede convertirse en responsivo sólo durante la irradiación con neutrones y por unos cuantos microsegundos después de dicha irradiación. De esta manera la radiación gama inelástica, que ocurre rápida o inmediatamente con la formación de núcleos compuestos, y la cual aparece esencialmente de
10 manera simultánea con la emisión de neutrones, se percibe a exclusión del fenómeno nuclear que se realiza durante el siguiente período, en el cual los neutrones se desaceleran y se difunden en las formaciones. Los impulsos resultantes son indicativos de la radiación gama inelástica y, por lo
15 tanto, el registrador 37 provee una indicación de la radiación gama debida al esparcimiento inelástico, como una función de la profundidad dentro del barreno.

Mediante el empleo de un espectrómetro de centelleo convencional, como el mostrado en la Fig. 2, para percibir
20 la radiación gama inelástica, pueden distinguirse adicionalmente las características de las formaciones terrestres. Por ejemplo, en lugar del tubo Geiger, 29, se provee un cristal 50 de yoduro de sodio, acoplado ópticamente con un tubo fotomultiplicador 51. En rendimiento del fotomultiplicador 51 puede amplificarse, si se desea, y suministrarse
25



7284

al amplificador disyuntivo 32. El rendimiento del amplificador 32 se suministra a cada uno de un par de selectores de amplitud 52, 53, acoplados con los integradores respectivos 54, 55. Los integradores están acoplados con un voltímetro registrador 56, dotado de canales respectivos de registro, pero los cuales tienen un medio común de registro. Aunque se han ilustrado sólo dos canales de selector de amplitud e integrador, obviamente puede emplearse cualquier número deseado.

10 Como es bien sabido, la radiación gama, incidente en el elemento de centelleo 50, produce impulsos de energía de luz, que se convierten en impulsos eléctricos mediante el fotomultiplicador 51. La amplitud de los impulsos resultantes depende de la energía de la radiación gama correspondiente y, por lo tanto, con ajustar los selectores de amplitud 52 y 53, se suministran impulsos representativos de bandas respectivas de energías de rayos gama, a los integradores 54 y 55, respectivamente, y se deriva un registro individual, del régimen de impulsos en cada banda, mediante el registrador 56.

20 Específicamente, los canales selectivos de amplitud, 52, 54, pueden arreglarse para que sean responsivos a la radiación gama a 4.4 mev., y de modo que el canal 53, 55 sea responsivo a 6.9 y 7.1 mev. De esta manera, el carbono y el oxígeno pueden denotarse claramente en el informe

13 MAR



227284

resultante. Para estas energías de rayos gama, la absorción fotoeléctrica, en un cristal de centelleo, por ejemplo de yoduro de sodio, es poca. Por consiguiente puede ser deseable fijar el analizador de la altura de los impulsos, ya sea para la cumbre Compton, que es bastante ancha, o bien a base de la cumbre de producción por pares, que ocurre a un valor inferior en 1.02 mev. a la energía de la radiación gama por medirse.

Además, con correlacionar la información de carbono y de oxígeno, con la información de hidrógeno obtenida mediante técnicas convencionales de obtención de informes de neutrones-neutrones o de neutrones-rayos gama, adaptadas para percibir hidrógeno, puede determinarse de una manera única la presencia de carbono con hidrógeno, a diferencia de oxígeno. Es evidente, por lo tanto, que la obtención de informes de pozo, de acuerdo con la presente invención, esta particularmente adaptada para distinguir hidrocarburos del agua y provee más información, concerniente a las formaciones terrestres, que la que ha podido obtenerse hasta ahora.

En términos generales, los elementos más pesados tienen estados excitados iniciales más bajos. Por lo tanto, resultan en rayos gama de una energía inferior y menos penetrantes. Por ejemplo, producen este resultado el Fe⁵⁶ a 0.85 mev., el Al²⁷ a 0.84 mev., el W a 0.101-0.124 mev., el Ta¹⁸¹ a 0.136 mev. y el U a 0.05 mev. Bajo algunas



13 MAR. 1956

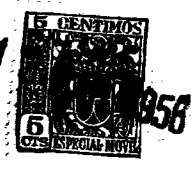
7284

condiciones, por ejemplo en la determinación del contenido en arcilla o esquisto, de areniscas o piedras calizas, puede ser de interés medir el rendimiento en rayos gama de 0.85 y de 0.84 mev., de hierro y aluminio conjuntamente, como una
5 indicación de la arcilla o esquisto. En este caso es preferible ajustar el analizador de la altura de los impulsos, en la cumbre fotoeléctrica del cristal de centelleo. Además, estos niveles bajos pueden excitarse con neutrones de una energía mucho más baja, tales, por ejemplo, como los obtenidos
10 de un generador productor de neutrones a un nivel de 3 mev., de reacciones de deuterio-deuterio.

La descripción anterior, de una realización de la presente invención, ilustra la manera en que el fenómeno nuclear, resultante de un suceso particular en la vida de
15 un neutrón, introducido a formaciones terrestres, puede emplearse en un método de obtención de informes de pozos.

De acuerdo con otras realizaciones de la invención, pueden utilizarse, en la obtención de informes de pozos, fenómenos nucleares resultantes de diferentes sucesos
20 específicos. La relación de estos sucesos, en el tiempo, puede apreciarse en forma óptima con enumerar varias experiencias en la vida de un neutrón.

Al introducirse a una formación terrestre, un neutrón puede experimentar una colisión o choque inelástico,
25 como se ha descrito previamente, o bien una colisión elástica.



227284

En el caso de una colisión inelástica, el núcleo de un átomo sufre el impacto y se expulsa un neutrón con una energía substancialmente menor que la del neutrón inicial. Después de una colisión elástica, con el núcleo de un átomo, el mismo neutrón "rebota", en efecto, con una pérdida fraccional concomitante de energía, la cual, en término medio, está aproximadamente en proporción inversa con la masa del núcleo que recibe el impacto. En uno u otro caso, en término medio, el neutrón resultante exhibe una pérdida o reducción neta en energía, y después de varios choques o colisiones, los neutrones se desaceleran a energías térmicas.

La mayor porcion del tiempo, requerido para completar este procedimiento de desaceleración, está ocupado en la realización de colisiones a velocidades bajas. Puede demostrarse que el promedio del tiempo de desaceleración, θ , de los neutrones, de una energía E_0 a una energía E_t (energía térmica), es:

$$\theta = \frac{2 \lambda_s}{\bar{\xi} V_t} \quad (2)$$

donde λ_s es la trayectoria media libre de esparcimiento o la recíproca de la cantidad $N_s \sigma_s$ (la seccion transversa elástica y macroscópica de esparcimiento de un medio para neutrones de una energía E , entre E_0 y E_t); $\bar{\xi}$ es la pérdida logarítmica media de energía, de un neutrón en una colisión elástica; y V_t es la velocidad de un neutrón a una energía



227284

E_t (que puede calcularse por la ecuación (1) anterior).

Usándose los datos publicados para la cantidad ξ y para la trayectoria media libre de esparcimiento, λ_s , para los diversos elementos de agua, arena y piedra caliza, pueden obtenerse los siguientes valores para $\bar{\theta}$, en microsegundos, de la ecuación (2), para diversos porcentajes de agua y a base de un valor de E_t equivalente a 1 electrónvoltio:

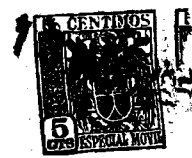
TABLA II

	% H ₂ O				
	0	2	20-25	38.8	100
10 Arena	48	23	3.5	2.3	0.9
Piedra Caliza	45	21	4.4	---	0.9

(Todos los valores representan tiempos de desaceleración, en microsegundos.)

Como se ve por la Tabla II, el tiempo medio de desaceleración $\bar{\theta}$, no difiere apreciablemente en el caso de la arena y en el de la piedra caliza. Sin embargo, a un valor inferior, aproximadamente, a un 20% de H₂O, $\bar{\theta}$ depende, en gran parte, del contenido en agua, el cual depende, a su vez, de la porosidad del medio.

Subsecuentemente al intervalo de desaceleración, ocurre la difusión de los neutrones. Es decir, neutrón puede sufrir uno o mas choques con los núcleos de átomos, sin experimentar, en término medio, ningún cambio en energía. En un tiempo, durante dicha difusión, ocurre



227284

una colisión en la cual se captura el neutron compuesto y termina su recorrido. El átomo resultante está en un estado excitado y vuelve, en forma esencialmente instantánea, a un estado de tierra, con la pronta emisión de radiación gama, que así provee un medio para indicar la realización de este suceso.

También puede producir la captura de un neutrón un elemento radioactivo relativamente inestable, del cual se emite radiación gama, durante un procedimiento de deterioro a un elemento estable. Este tipo de radiación gama exhibe una reducción característica de la intensidad, con el tiempo, representativa del procedimiento de deterioro, y se distingue adicionalmente por el hecho de que ocurre subsecuentemente a la emisión de radiación gama de captura.

A fin de determinar la ocurrencia en el tiempo, de la radiación gama de captura, puede demostrarse que el tiempo medio, T_c , por el cual vive un neutrón, desde la inepción del periodo de difusión, es:

$$T_c = \frac{1}{N_c \sigma_c V} \quad (3)$$

donde: N_c es la concentración de núcleos de captura, en átomos/cm.³, σ_c es la sección transversa de captura en barnios, y V es la velocidad del neutrón (que puede calcularse por la ecuación (1)).

La siguiente Tabla da los valores de T_c en



227284

microsegundos, para la gama completa de concentraciones (N_c en átomos/cm.³ $\times 10^{-24}$) y secciones transversas (en barnios), de interés en la obtención de informes de pozos:

TABLA III

T_c	N_c		
	0.1	0.01	.001
.01	4.5×10^4	4.5×10^5	---
1.0	4500	4.5×10^4	4.5×10^5
10	450	4500	4.5×10^4
100	45	450	4500
1000	4.5	45	450

(Todos los valores representan T_c en microsegundos.)

Por la Tabla III es evidente que, con la excepción de condiciones extraordinarias en las formaciones, el tiempo de difusión T_c es substancialmente más largo que el tiempo de desaceleración (Tabla II). Por consiguiente, en la mayoría de las formaciones, el tiempo de difusión determina, primordialmente, el tiempo de captura de los neutrones. Por las Tablas II y III puede verse que el tiempo total, o sea el de desaceleración mas el de difusión, en términos generales, debe estar, como puede esperarse, dentro de la gama de 50 a 500 microsegundos, a partir de la introducción de un neutrón a una formación terrestre.

La anterior relación de tiempo, en la vida de



227284

un neutron, puede apreciarse en forma óptima, por el
diagrama de tiempo de la Fig. 3. Como se muestra allí,
se emiten neutrones durante los intervalos cortos y
repetidos, ilustrados como los impulsos "p", espaciados
5 en el tiempo aproximadamente a 1250 microsegundos. Pueden
realizarse colisiones inelásticas durante los intervalos
de irradiación "p" y la desaceleración de los neutrones
puede ocurrir en la porción "a", de una duración aproxi-
madamente de 50 microsegundos, es decir, durante el primer
10 período en el intervalo quiescente entre los impulsos "p".
En la siguiente porción "b", del primer período, que se
extiende de 50 a 500 microsegundos en la escala de tiempo
ocurre la difusión y puede capturarse un neutrón. Final-
mente, en el segundo período "c", pueden exhibirse productos
15 del deterioro de elementos radioactivos, formados por la
captura de neutrones.

Aunque se han mostrado límites definidos para
los diversos períodos de tiempo "a", "b" y "c", éstos
son simplemente ilustrativos de un promedio asumido; en
20 la práctica, estos límites pueden no exhibir un carácter
nítido.

El aparato de la Fig. 1 puede modificarse de la
manera mostrada en la Fig. 4, de modo que puedan indicarse
las diversas relaciones de tiempo, en la vida de un neutrón.
25 La salida del amplificador disyuntivo 32 está acoplada con



227284

un integrador 60, que tiene una constante de tiempo relativamente corta, el cual está acoplado, a su vez, con las placas 61 de deflexión vertical, de un tubo convencional 62 de rayos catódicos, dotado de las placas 5 63 de deflexión horizontal. Las placas 61 y 63 gobiernan la posición de la proyección del haz electrónico, por un cañón electrónico 64, hacia la pantalla fluorescente de observación, 65, de una manera conocida. Un generador de barrido, o tipo dientes de sierra, 66, está acoplado 10 con las placas 63 de deflexión horizontal y se abastece con los impulsos producidos por el multivibrador 33. Así, cada diente de sierra es iniciado por la orilla delantera, de cada impulso derivado por el multivibrador 33, y se termina en la orilla trasera. Si se desea, puede emplearse 15 un circuito convencional de bloqueo o interferencia, para que se desarrolle una traza visible, sobre la pantalla 65, sólo en presencia de un voltaje de barrido, procedente del generador 66.

Para utilizar el aparato de la Fig. 1, como está 20 modificado en la Fig. 4, para medir tiempos de desaceleración de los neutrones, el detector 29 puede estar encerrado por un elemento absorbente de resonancia. Por ejemplo, puede emplearse indio, que reacciona con los neutrones incidentes, de una energía particular de 1.44 electrón- 25 voltios (ev), para producir rayos gama de captura que



227284

activen al detector. Los neutrones a otros niveles de energía no producen, substancialmente, ninguna respuesta. Por supuesto, pueden obtenerse otras energías con elementos diferentes de encierro; por ejemplo, la plata tiene una resonancia a 5.3 ev.; el cadmio tiene una a 0.17 ev.; el uranio tiene una a 7 ev.; y el yodo, a 35 ev.

La manera en que se ajusta el circuito de la Fig. 4, para la operación, puede apreciarse en forma óptima por referencia al diagrama de tiempo de la Fig. 5. Como se muestra en la Fig. 5(A), el generador 28 desarrolla impulsos sincronizadores repetidos "s", y los impulsos correspondientes de neutrones "p" se sincronizan con los impulsos "s", como se muestra en la Fig. 5(B). También son concomitantes con los impulsos "s", las orillas "u" de las ondas cuadradas, representadas en la Fig. 5(C), que desarrolla el multivibrador 34. Las orillas "v" ocurren en un tiempo el cual puede ajustarse mediante el control 36, para que corresponda, aproximadamente, al principio del intervalo "a" (Fig. 3).

Las orillas "w", de las ondas cuadradas desarrolladas por el multivibrador 33, mostrado en la Fig. 5(D), son concomitantes con las orillas "v" de los impulsos en la Fig. 5(C), y sus orillas "x" pueden ajustarse, mediante el control 35, de manera que cada uno de los impulsos disyuntivos termine al final de un intervalo



227284

"a" (Fig. 3). Como se muestra en la Fig. 5(E), la ocurrencia en el tiempo, de la onda de diente de sierra, desarrollada por el generador de barrido 66, corresponde a la onda cuadrada del multivibrador 33.

5 En la operación, los impulsos neutrónicos, emitidos por el generador 25, irradian las formaciones 12, y algunos de los mismos se desaceleran casi al nivel de la energía térmica. Los que tengan una energía de 1.44 ev., y que sean interceptados por el detector revestido de indio,
10 producen impulsos que se suministran, por vía del amplificador 32, al integrador 60.

 Se inicia un barrido horizontal, sobre la pantalla de observación 65, aproximadamente a la terminación de un intervalo de irradiación, y los impulsos derivados
15 por el detector 29 y que ocurren durante el intervalo de barrido, se integran y exhiben como una desviación o deflexión vertical, sobre la pantalla 65. Así es que la exhibición incluye una curva "d", representativa de la distribución, en el tiempo, de los impulsos desacelerados
20 al nivel escogido de energía. Con construir una línea vertical de guiones "e", a través de la cumbre de la curva "d", puede determinarse el tiempo "t" de la cumbre.

 Con medir continuamente el tiempo "6", conforme
25 el alojamiento 10 atraviesa el barreno 11, pueden



227284

determinarse las características de desaceleración de las formaciones.

Este tipo de medición puede obtenerse automáticamente con emplear la modificación del circuito, de la Fig. 6. El integrador 60 y el generador de barrido 66 están acoplados con un circuito convencional y automático de rastreo, tipo radar, 70, el cual desarrolla un voltaje representativo de la ocurrencia en el tiempo de la cumbre de distribución de los impulsos, relativamente a una referencia. Por ejemplo, el dispositivo 70 puede comprender un circuito selectivo de tiempo, de cualquier tipo conocido. El voltaje derivado se suministra a un registrador 71, donde se registra como una función de la profundidad del alojamiento 10, dentro del barreno 11.

El aparato de la Fig. 1 puede emplearse para obtener indicaciones de neutrones desacelerados, sin hacer mediciones de tiempo. Por ejemplo, los controles 35 y 36, de los multivibradores 33 y 34 pueden ajustarse de tal manera que el amplificador 32 se acondicione operativamente durante un intervalo corto, digamos de unos cuantos microsegundos, inmediatamente antes del final del intervalo "a" (Fig. 3). Los neutrones incidentes en el detector encerrado con indio, producen impulsos que ocurren a diversos regímenes, relativamente al intervalo escogido de observación, en relación de dependencia con las



227284

características de desaceleración de los neutrones, de las formaciones. Así se desarrolla un voltaje y se registra como una indicación de tales características. Desde luego, los intervalos de observación pueden ocurrir en cualquier
5 porción del intervalo "a", que se desee.

El aparato de la Fig. 1 puede emplearse también para medir la radiación gama de captura, que ocurre después de la difusión de los neutrones y en un tiempo dentro del intervalo "b" (Fig. 3). Así, de acuerdo con otra reali-
10 zación de la presente invención, el generador de neutrones
25 se ajusta para irradiar formaciones terrestres, con neutrones, durante intervalos del orden de 50 microsegundos, espaciados en el tiempo aproximadamente a 1200 microsegundos. Con ajustar debidamente los elementos de control, 35 y 36, el
15 amplificador disyuntivo 32 se acondiciona operativamente por unos cuantos microsegundos en un tiempo escogido entre 50 y 500 microsegundos, después de la generación de un impulso de neutrones. Preferentemente los intervalos de observación se posicionan apropiadamente en el intervalo
20 de tiempo "b", de manera que ocurran a un lado de la cumbre de la distribución de impulsos esperado en este intervalo.

Mediante este tipo de ajuste, el sistema indicador responde, substancialmente, sólo a la radiación gama emitida rápidamente o pronto, en relación con la forma-
25 ción de núcleos compuestos, mediante la capture de



227284

neutrones, y no responde a la radiación gama retardada resultante del deterioro de un elemento radioactivo.

5 Por ejemplo, para distinguir entre petróleo y agua salina, en un lecho de piedra caliza, de una porosidad aproximadamente del 20%, se asume primero que existen condiciones óptimas, es decir, que no hay ningún fluido de perforar, dentro del barreno o entubado, y que hay un contenido salino alto, distribuido a través de las formaciones homogéneamente (10% de NaCl por volumen en la salmuera). El tiempo de desaceleración, en el caso de 10 petróleo o bien en el caso de agua, es casi igual, es decir, puede ser alrededor de 5 microsegundos. El tiempo de difusión es mayor en un factor de algo más de 2, en la piedra caliza petrolífera, comparado con la piedra caliza que contiene salmuera, es decir, de 425 y de 185 micro- 15 segundos, respectivamente. Con ajustar debidamente la sincronización del detector, puede ser posible distinguir entre estas dos formaciones. Por ejemplo, puede emplearse una descarga de neutrones, de una duración entre 20 y 40 20 microsegundos, y pueden emplearse tiempos de retardo de 200 y de 400 microsegundos, para el detector, acondicionándose el detector operativamente, después de cada tiempo de retardo, por un intervalo alrededor de unos cuantos microsegundos.

25 Los arreglos de la Fig. 4 o de la Fig. 6, para medir



227284

el tiempo de una distribución de impulsos, pueden utilizarse para determinar la ocurrencia, en el tiempo, de radiación gama de captura, relativamente a los intervalos de irradiación con neutrones. Se cree que la manera en que puede efectuarse esto, será evidente por la discusión presentada en lo que antecede; sin embargo, en lugar de operar en el intervalo "a", ilustrada en la Fig. 3, las porciones pertinentes del circuito están arreglados para operar en el intervalo "b".

10 Adicionalmente, puede emplearse el análisis espectral, junto con el método acabado de describir, de coincidencia retardada, para percibir la radiación gama que ocurre inmediatamente al capturarse neutrones.

15 De acuerdo con todavía otra realización de la invención, el detector 29 es sensible a neutrones térmicos. Por ejemplo, el detector puede ser una cámara de ionización, llena de trifluoruro de boro. Los diversos métodos, esbozados en la presente, pueden emplearse para medir una característica de los neutrones térmicos resultantes. Así, el tiempo en el período de difusión, en que hay un régimen máximo en la distribución de impulsos, debido a neutrones térmicos, puede medirse como una indicación de características de las formaciones terrestres.

25 Puede ser apropiado señalar que el generador de neutrones 25 puede emplearse de modo de producir rendimientos muy altos,



227284

en neutrones, durante un intervalo relativamente corto, en el cual está acondicionado operativamente, en la realización del método de acuerdo con la presente invención. Por ejemplo, una corriente cumbre de impulsos, de 1 a 10 miliamperios, en el espacio de aceleración 27, del generador, puede obtenerse cuando impulsos de neutrones, de un microsegundo, están espaciados a 1250 microsegundos. Si se desean impulsos más largos y/o espaciamientos más cortos, la corriente cumbre y el rendimiento resultante en neutrones, deben disminuirse proporcionalmente, con un aumento tal en el ciclo de trabajo que se evite el sobrecalentamiento y agotamiento del blanco. En términos generales, para la obtención de informes de rayos gama inelásticos, puesto que pueden emplearse impulsos de corta duración, puede obtenerse un rendimiento cumbre en neutrones, mucho más alto que en los demás métodos.

Si se desea, la fuente de iones 26, del generador de neutrones, puede modularse de modo que sea operativa sólo durante la producción de impulsos de neutrones, a fin de reducir la fuerza consumida, en promedio, por el generador.

Una fuente de neutrones, naturalmente activa, puede arreglarse de una manera conocida, para que entregue su rendimiento en neutrones durante intervalos repetidos. Por ejemplo, como se muestra en la Fig. 7, una fuente de partículas alfa, por ejemplo un perdigón 80 de radio, y



227284

un blanco 81, por ejemplo de berilio, pueden disponerse el uno adyacentemente al otro, pero a lados opuestos de un disco protector 82, que puede construirse de aluminio. El protector está dotado de una rendija estrecha, 83, y se hace girar mediante un motor impulsor síncrono, 84, energizado por la fuente 20 de corriente alterna 20. Por consiguiente, no se derivan ningunos neutrones cuando el blanco 81 está protegido contra la fuente de partículas alfa, 80, mediante el disco 82, pero se derivan neutrones cuando pasan partículas alfa a través de la rendija 83 y reaccionan con berilio, rebotando del blanco. Tales neutrones tienen energías dentro de una gama que se extiende hasta 5 mev y son capaces de interactuar con núcleos en las formaciones, esencialmente de la misma manera antes descrita.

El ancho de la rendija 83, en el disco protector 82, y la velocidad del motor impulsor 84 (que es síncrono con las alternaciones en la corriente de la fuente 20) se escogen de manera de proveer intervalos de irradiación con neutrones, de la duración y espaciamiento, en el tiempo, que se requieran. El sistema de percepción, o detector, puede sincronizarse con la rotación del disco protector, con acoplar la salida de la fuente 20 con el generador 28, de impulsos sincronizadores, por vía de un desplazador de fase 84, o de un circuito de retardo dotado de un ajuste 85.



227284

Por consiguiente, la ocurrencia en el tiempo, de los intervalos de percepción, puede escogerse de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención.

5 Si se desea, en los métodos en que los intervalos de observación están espaciados de los intervalos de irradiación, el detector mismo puede desenergizarse durante los intervalos de irradiación. Por ejemplo, puede interrumpirse la alimentación de fuerza al tubo 29, en la Fig. 1, y así puede afectarlo menos el flujo neutrónico de alta
10 intensidad, emitido por el generador 25.

Aunque se han mostrado y descrito realizaciones específicas de la presente invención, es evidente que pueden hacerse cambios y modificaciones sin alejarse de esta invención en sus aspectos más generales y, por
15 consiguiente, la mira, de las cláusulas siguientes, es la de abarcar todos los cambios y modificaciones que se hallen dentro del verdadero espíritu y alcance de esta invención.



227284

REIVINDICACIONES

1. Aparato para la investigación de material, incluyendo medios para derivar neutrones durante cortos y repetidos intervalos de tiempo para irradiar el material con neutrones durante los intervalos de irradiación separados en tiempo relativo uno de los otros por medio de intervalos fijos y un sistema detector para producir indicaciones de un fenómeno nuclear inducido en el material, caracterizado en que dicho sistema detector incluye medios de regulación para establecer intervalos de observación durante los cuales se obtienen indicaciones, con exclusión de los otros intervalos, y cada uno de los intervalos de observación ocurriendo dentro de un período que incluye un intervalo de irradiación y una parte de dicho intervalo fijo terminando antes de la ocurrencia de un producido de decaimiento radiactivo.

2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado en que dichos medios de regulación están adaptados para seleccionar cortos intervalos como dichos intervalos de observación íntimamente relacionados a los susodichos intervalos de irradiación.



227284

3. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado en que dicho sistema detector incluye medios que responden a radiaciones gamma debido a la dispersión inelástica de neutrones en el material.

6

4. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado en que los antedichos medios de regulación incluyen medios para gobernar la relación de regulación de los antedichos intervalos de observación con los ya mencionados intervalos de irradiación para determinar el tiempo en el cual el antedicho fenómeno nuclear exhibe su máximo efecto.

10

5. Un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 4 caracterizado en que el antedicho aparato incluye medios para seleccionar radiaciones gamma de energía predeterminada.

15

6. Un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 4 caracterizado en que el antedicho aparato también incluye medios para seleccionar neutrones que tienen una energía predeterminada.



227284

7. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 6 caracterizado en que dichos medios para seleccionar neutrones están adaptados para responder solamente a neutrones retardados a energías térmicas.

5 8. Un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 2 caracterizado en que el dicho sistema detector comprende medios responsivos a radiaciones gamma que resultan de la captura de neutrones en el material.

10 9. Un aparato de acuerdo con cualesquiera de las reivindicaciones 4 al 7 inclusive caracterizado en que el dicho sistema detector está adaptado para derivar una señal de pulsación y comprende medios para transmitir la señal generalmente ineficaces para dar paso a dicha señal de pulsación, dichos medios de regulación comprendiendo medios para eficazmente acondicionar dichos medios de transmisión de la señal durante cada uno de los mencionados intervalos de observación e incluyendo medios para gobernar selectivamente la ocurrencia de dichos intervalos de observación, dicho sistema detector incluyendo también medios integradores para derivar un potencial que represente el grado de ocurrencia de las pulsaciones en la antedicha señal y medios indicadores responsivos a dicho potencial para permitir la observación del mencionado fenómeno nuclear.

15

20



13 MAR 1956

227284

5 10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado en que dicho sistema detector además incluye medios de circuito de arrastre automático funcionados en una relación sincrónica predeterminada con dichos intervalos de irradiación y acoplados a los ya dichos medios integradores para indicar en forma continua la relación de regulación del valor máximo de dicho potencial relativamente a dicho intervalo de tiempo de irradiación.

10 11. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado por un conductor adaptado para recorrer una perforación horadada dentro de la tierra y aguantando dichos medios para derivar neutrones y cuando menos una parte del sistema detector mencionado para obtener información de dicho material como
 15 constituyente de las formaciones terrestres, dicho aparato comprendiendo además medios para derivar un registro de dichas indicaciones como una función de profundidad en la perforación.

20 12. Aparato para investigar material substancialmente como descrito en la presente con referencia a los dibujos que se acompañan.

13. Aparato para la investigación de material.

Madrid, 13 MAR 1956

P.A.
 Director de Estudios
[Signature]

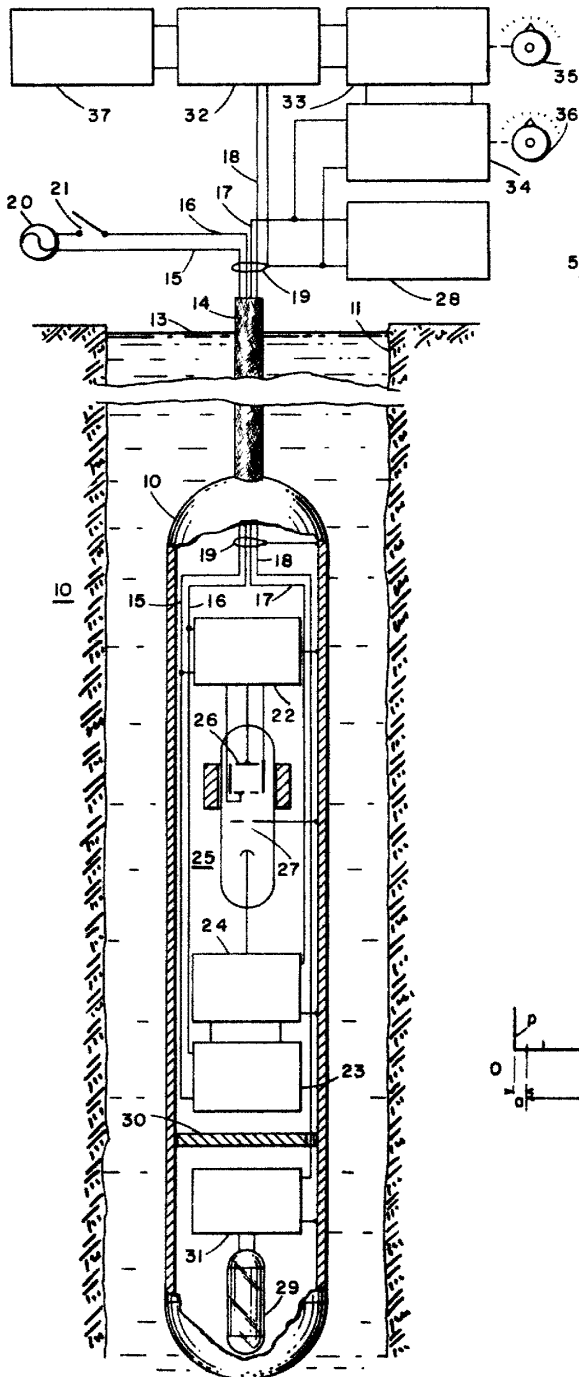


FIG. 1

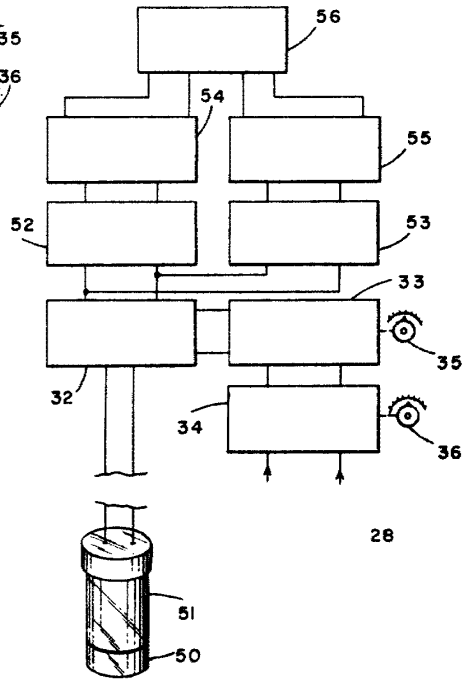


FIG. 2

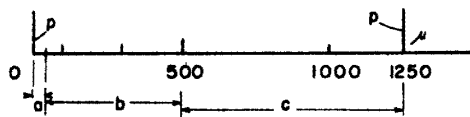


FIG. 3

Parto de Edición



13 MAR 1954

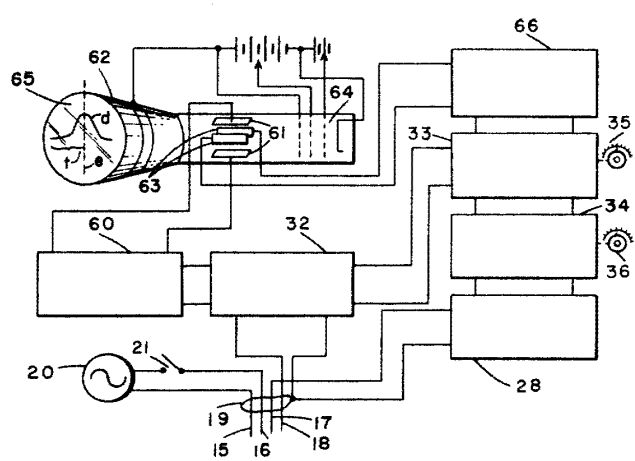


FIG. 4

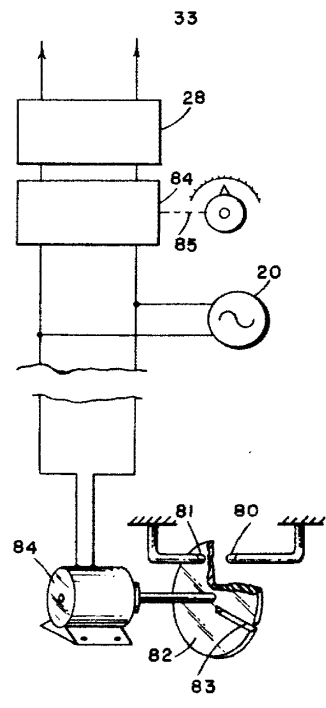


FIG. 7

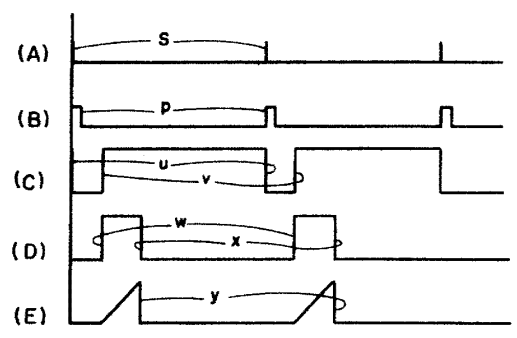


FIG. 5

227284

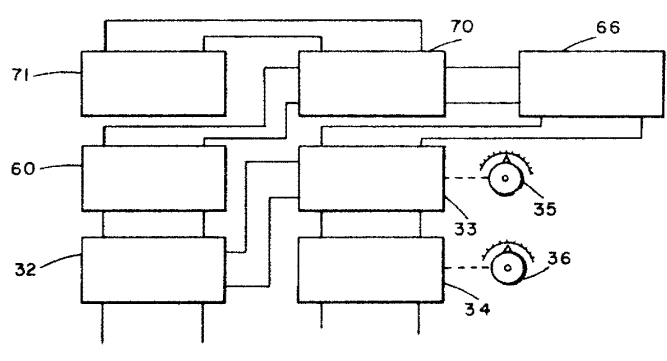


FIG. 6

copy of original