

417355

20



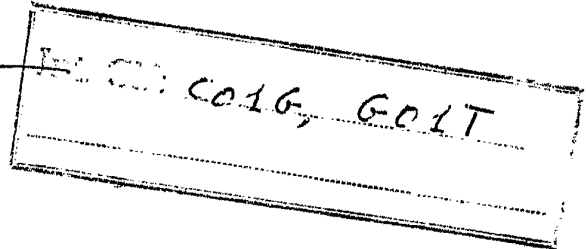
417355

P - 54.771

File: F-8168

F.c. 26-6-75

Memoria descriptiva



para solicitar PATENTE DE INVENCION por 20 años

a nombre de MOBIL OIL CORPORATION

entidad norteamericana

con domicilio en 150 East 42nd Street, Nueva York,
Nueva York 10017, Estados Unidos
de América.

por: "UN METODO DE ENSAYAR LA PRESENCIA DE MINERAL
DE URANIO EN FORMACIONES TERRESTRES NATURALES
ATRAVESADAS POR UN POZO DE SONDEO"
(Clase Internacional Colg, Golt)

417355



Antecedentes del invento

Este invento está relacionado con una técnica de registro radiactivo y más particularmente con una técnica de ensayo de uranio con neutrones retardados de fisión. Como se describe en la patente de Estados Unidos Nº 3.686.503, concedida a Givens y otros, las formaciones naturales de la tierra se pueden caracterizar en relación con su contenido de uranio basándose en los neutrones retardados que resultan de la fisión del uranio con neutrones. Cuando se irradia con neutrones una formación que contiene un mineral de uranio, los núcleos de uranio reaccionan al bombardeo de los neutrones escindiéndose en fracciones nucleares más pequeñas, a las que normalmente se conoce como productos de fisión. La fisión del uranio va acompañada por la emisión de neutrones excitados inmediatamente después de producirse la reacción de fisión, y también por la emisión de neutrones retardados subsiguientemente al proceso de fisión. Los neutrones retardados son emitidos por los productos de fisión durante un período de tiempo apreciable después de la reacción de fisión. Los períodos de semidesintegración radiactiva o vidas medias de los seis grupos prominentes de neutrones retardados de fisión, que resultan de la fisión del uranio por neutrones térmicos o por neutrones rápidos, varían desde alrededor de 0,23 a 55,72 segundos, y el grupo más abundante de neutrones retardados presenta una vida media

417355

28



de unos 2,30 segundos. La patente antes mencionada de Givens
y otros describe una operación de ensayo subsuperficial que
se lleva a cabo instalando en un pozo de sondeo adyacente
a una formación que interese una herramienta de registro que
5 incluye una fuente de neutrones rápidos y un detector de neu-
trones térmicos. La formación se irradia con repetidos bom-
bardeos o proyecciones de neutrones rápidos, y después de ca-
da proyección y una vez que se han disipado los neutrones
originales de la fuente, se detectan los neutrones retarda-
10 dos resultantes de la fisión del uranio con los neutrones.
A continuación, se registra la salida del detector para ob-
tener un registro que indique el contenido de uranio de la
formación.

La utilización de la irradiación con neutrones rá-
15 pidos para detectar uranio ha sido también examinada en una
ponencia por Jan A. Czubek, titulada "Método de neutrones
pulsados para tomar registros de pozos de uranio", publica-
da en GEOPHYSICS, Vol. 37 nº 1, febrero 1972, págs. 160 a
173. Czubek analiza varios fenómenos asociados a la irradia-
20 ción con neutrones rápidos de formaciones que contienen ura-
nio, y deduce que pueden emplearse tres de ellos con ventaja
en las técnicas de detección del uranio. Los fenómenos
que Czubek propone para usarlos como indicadores del conte-
nido de uranio son (1) la intensidad de los neutrones epitér-
25 micos resultantes de la fisión con neutrones térmicos exci-

417355



tados, (2) la intensidad de los neutrones térmicos resultantes de la fisión con neutrones térmicos retardados, y (3) la intensidad de los neutrones térmicos debidos a la fisión con neutrones rápidos retardados. El autor establece también una serie de relaciones entre las que se incluyen la ecuación 12, que establece la relación entre la cuenta de neutrones y la ley o calidad del mineral de uranio para las detecciones con neutrones epitérmicos, y la ecuación 31, que da la relación entre la cuenta de neutrones y la ley del mineral de uranio para la detección de los neutrones térmicos resultantes de la fisión por neutrones rápidos y neutrones térmicos retardados.

Entre los parámetros de roca presentados como variables independientes en una o en las dos ecuaciones mencionadas, están la densidad aparente ρ (ecuaciones 12 y 31), la sección eficaz macroscópica de absorción para los neutrones térmicos, Σ_a (ecuaciones 12 y 31), y el tiempo de moderación de los neutrones, t_g (ecuación 12). Czubek expone en las páginas 172 y 173 la necesidad de efectuar medidas compensadoras para la densidad aparente, el tiempo de moderación, y la vida media de los neutrones térmicos, también denominado período de vida de los neutrones, t . Afirma que la densidad aparente se puede determinar mediante un registro de densidad gamma-gamma, el tiempo de moderación a partir de medidas de porosidad obtenidas mediante registros de

417355



neutrones convencionales o empleando el generador de neutrones, y la vida media (período de vida) mediante registros con neutrones pulsados.

Resumen del invento

5 De acuerdo con el presente invento, se crea un nuevo y perfeccionado proceso de ensayos de uranio con pozo de sondeo en el que un registro representativo de las medidas de neutrones retardados de fisión (que en adelante se denominarán simplemente NRF) en una formación subterránea se correlaciona con un segundo registro representativo de la capacidad de la formación para moderar y absorber neutrones, con objeto de llegar a un valor corregido del contenido de uranio de la formación. En la ejecución del invento, se obtiene el registro de NRF irradiando la formación con proyecciones repetidas de neutrones rápidos, y durante los intervalos de tiempo comprendidos entre las proyecciones de neutrones rápidos y después de disiparse los neutrones originales de la fuente, se hace funcionar un detector con el fin de detectar la radiación que acompaña a los neutrones retardados resultantes de la fisión del uranio con neutrones. La salida de este detector se aplica a un adecuado sistema registrador para obtener un registro de ensayos de uranio con NRF. Además, la formación que interesa se irradia con una fuente de neutrones rápidos, con lo que los neutrones de la fuente son moderados dentro de la

10

15

20

25

417355



5 formación hasta bajos niveles de energía y están sometidos a la absorción dentro de la formación. Se hace funcionar un detector con objeto de detectar la radiación secundaria que acompaña a los neutrones de baja energía, ya que dichos
10 neutrones son influidos por la moderación y la absorción de los neutrones de la fuente. La salida de este detector se aplica a un adecuado sistema registrador, a fin de obtener un registro representativo de la respuesta de la formación a la moderación y absorción de los neutrones dentro de la
15 formación. A continuación se correlacionan estos dos registros con objeto de determinar el valor real del contenido de uranio de la formación.

15 En una ejecución preferida del invento, la radiación detectada en ambos procedimientos de registro comprende neutrones térmicos. Además, al llevar a la práctica el invento, se prefiere emplear una fuente continua de neutrones rápidos para obtener el registro representativo de la respuesta de la formación a la moderación y absorción de los neutrones.

20 De acuerdo con otro aspecto del presente invento, se crea una técnica para obtener una serie de funciones de calibración que definen las relaciones entre la cantidad de neutrones retardados de fisión indicada por un registro de NRF y la concentración de uranio para diferentes respuestas
25 de una formación a la moderación y a la absorción de neutro

417355



nes. Al obtener las funciones de calibración antes mencionadas, se irradia una formación rocosa con neutrones rápidos, y la radiación secundaria resultante se detecta y registra con el fin de obtener un registro representativo de la respuesta a la moderación y a la absorción de neutrones. Se obtienen una pluralidad de registros de NRF para cada una de las componentes de un primer conjunto de una pluralidad de formaciones que tienen sustancialmente la misma respuesta que la primera formación descrita anteriormente y diferentes concentraciones conocidas de uranio. Además, se obtienen registros de respuesta y de ensayos NRF para cada una de las componentes de un segundo conjunto de una pluralidad de formaciones. Las formaciones en este segundo conjunto presentan diferentes respuestas, pero tienen sustancialmente la misma concentración de un elemento que responde a la irradiación con neutrones rápidos para emitir neutrones retardados. Los registros de respuesta y de ensayos NRF obtenidos con respecto al segundo conjunto de formaciones se correlacionan a continuación uno con otro para obtener una relación funcional entre los resultados de los registros de ensayos de NRF y los registros de respuesta. Por ejemplo, se pueden representar gráficamente los resultados de los registros de respuesta en función de los resultados de los registros de ensayos de NRF. Después, se correlaciona esta relación funcional con el registro de respuesta

417355



obtenido para la primera formación antes descrita, con ob
jeto de desarrollar factores de normalización para una plu
ralidad de valores cuantitativamente diferentes del regis-
tro de respuesta. A continuación se aplican estos factores
5 de normalización a la relación funcional obtenida para el
primer conjunto de formaciones, a fin de desarrollar una
serie de funciones de calibración para diferentes valores
del registro de respuesta.

Breve descripción de los dibujos

10 La figura 1 es una ilustración esquemática de un
sistema de registros de ensayos de NRF empleado en el pre-
sente invento;

15 La figura 2 es una ilustración esquemática de un
sistema de registros de respuesta neutrón-neutrón utiliza-
do en el presente invento;

La figura 3 es una ilustración gráfica de las fun-
ciones de calibración empleadas para correlacionar los re-
gistros de ensayos de NRF y de respuesta, de acuerdo con
una ejecución preferida del presente invento; y

20 Las figuras 4 y 5 son ilustraciones gráficas que
muestran las relaciones entre las medidas empíricas emplea-
das en la obtención de funciones de calibración.

Descripción de ejecuciones específicas.

25 Los dos procedimientos fundamentales para la prác-
tica del presente invento son el registro de una formación

417355



de la que se sospecha que contiene uranio, a fin de obtener un registro de ensayos de NRF, y el registro de la formación con objeto de obtener un registro de respuesta que indique la respuesta de la formación a la moderación y absorción de los neutrones. El registro de ensayos de NRF se describirá aquí brevemente con referencia a la figura 1, a fin de adquirir una base para la posterior descripción de la relación entre el procedimiento de registros para ensayos de NRF y el procedimiento de registros de respuesta. Para una descripción más detallada del registro para ensayos de NRF, se hace referencia a la patente de Estados Unidos anteriormente citada, Nº 3.686.503, de Givens y otros.

Volviendo ahora a la figura 1, en ella se ilustra una herramienta 10 de registro que está suspendida de un cable 12 dentro de un pozo de sondeo 14 que atraviesa una formación subterránea de interés, indicada por el número de referencia 16. La formación 16 es una formación sospechosa de contener uranio, que ha sido localizada mediante un adecuado procedimiento preliminar de registro. Las señales de la herramienta 10 de registro se transmiten hacia arriba del pozo a través de los conductos del cable 12 a un circuito 20 de registro y análisis pozo arriba instalado en la superficie. El circuito 20 funciona con las medidas tomadas pozo abajo y aplica funciones de salida a unos medios adecuados de registro, como se explicará a continuación. Unos

417355



medios indicadores de la profundidad, tal como una roldana
21 de medida, produce una señal de profundidad que se re-
gistra con el fin de que las medidas tomadas pozo abajo
puedan correlacionarse con la profundidad a que han sido
5 tomadas. El cable 12 se arrolla en un tambor 19 accionado
a motor, y los diversos conductores del cable 12 están co-
nectados al circuito 20 por medio de conexiones de anillos
de deslizamiento y de escobillas (no representados).

La herramienta 10 de registro comprende una fuen
10 te pulsada 22 de neutrones para la irradiación de la forma
ción 16 con proyecciones de neutrones rápidos, y un detec-
tor 24 de radiación para la detección de la radiación secun
daria que acompaña a los neutrones retardados que resultan
de la fisión del uranio con neutrones. La fuente 22 puede
15 ser una fuente de neutrones rápidos de deuterio-tritio tipo
acelerador, y el detector de radiación puede adoptar la for
ma de un detector de neutrones térmicos. Por ejemplo, el de
tector 24 puede comprender uno o más contadores proporciona
les de helio-3 del tipo descrito en la patente de Estados
20 Unidos Nº 3.102.198 de Bonner. Dichos contadores de helio-3
responden principalmente a los neutrones térmicos, y esen-
cialmente no responden a los neutrones cuyos niveles de
energía vayan siendo progresivamente más altos. La fuente
22 se hace funcionar cíclicamente para producir proyeccio-
25 nes de neutrones rápidos espaciadas en el tiempo, siendo

417355



los intervalos de tiempo entre las proyecciones de neutro-
nes rápidos mayores que el tiempo necesario para la disipa
ción de los neutrones de la fuente dentro de la formación.
Durante los intervalos de tiempo entre las proyecciones y
5 después de la disipación de los neutrones de la fuente, se
hace funcionar el detector 24 conjuntamente con circuitos
selectores o de puerta adecuados, como se describirá en lo
que sigue, para detectar los neutrones termalizados que re
sultan de la fisión del uranio con neutrones retardados. Los
10 circuitos selectores o de puerta pueden emplearse para hacer
que el detector 24 funcione o responda a la radiación secun
daria únicamente durante los intervalos de medida deseados.
Sin embargo, usualmente el detector 24 responderá continua
mente a la radiación secundaria, y los circuitos selectores
15 se emplearán para dejar pasar la salida del detector a los
medios apropiados de registro durante los intervalos de me
dida deseados.

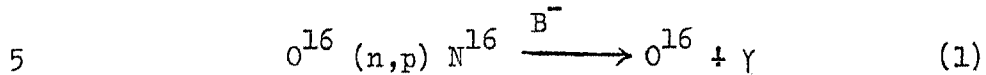
La herramienta 10 de registro comprende también
un segundo detector 26 de radiación que, como se describe
20 en la patente antes mencionada N° 3.686.503 y también en la
Patente de Estados Unidos N° 3.688.117 de Wyatt W. Givens,
se emplea para vigilar indirectamente la salida de la fuen
te 22. El detector 26, que puede adoptar la forma de un
contador convencional de rayos gamma, se usa para detectar
25 los rayos gamma retardados que son emitidos por el oxígeno

417355

28



dentro de la formación al irradiar con neutrones rápidos de la fuente 22. La reacción mediante la que se emiten estos rayos gamma es



El nitrógeno-16 se desintegra por emisión beta de acuerdo con la reacción anterior, con un período de vida media de 7,14 segundos. Para cualquier cantidad dada de núcleos de oxígeno, el número de rayos gamma emitidos, que se encuentran predominantemente en las energías de 6,14 Mev, 6,91 Mev, y 7,12 Mev, es proporcional a la cantidad de neutrones rápidos emitidos por la fuente 22. Puesto que, como se explicará con más detalle en lo que sigue, la concentración de oxígeno de la mayoría de las formaciones subterráneas es relativamente constante, el ritmo de cuentas de los rayos gamma retardados resultantes de la reacción (1) anterior proporciona una medida de la intensidad de salida de los neutrones de la fuente 22.

Volviendo ahora a una descripción de la parte situada pozo arriba del sistema de ensayos de NRF, los circuitos 20 comprenden un generador 28 de base de tiempos, generadores 30 y 31 de puerta de retardo, contadores de impulsos 33 y 34 con puerta, y un temporizador preajustado 36. El generador 28 de base de tiempos se emplea para generar

417355



un tren de impulsos de disparo para el funcionamiento de la fuente 22 de neutrones instalada pozo abajo y de los generadores 30 y 31 de puerta de retardo. Los generadores de puerta de retardo responden a los impulsos de disparo del
5 generador 28 de base de tiempos para permitir que los contadores 33 y 34 de impulsos cuenten y registren las salidas de los detectores 24 y 26, respectivamente, durante los intervalos de tiempo deseados.

En el funcionamiento del sistema ilustrado en la
10 figura 1, la herramienta 10 de registro se hace bajar hasta el emplazamiento deseado frente a la formación 16. La señal de salida de impulso del generador 28 de base de tiempos se ajusta para obtener la frecuencia deseada de repetición de impulsos de la fuente 22 y se aplica a través del conductor
15 38 a una unidad de control instalada pozo abajo (no representada) en la herramienta 10 de registro. Por ejemplo, se puede hacer funcionar la fuente de manera que se pulse para dar dos proyecciones de neutrones rápidos por segundo, teniendo cada proyección una duración de unos tres microsegun
20 dos. La señal de salida del generador de base de tiempos se aplica también a través de los conductores 40 y 41 a los generadores 30 y 31 de puerta de retardo, respectivamente. El generador 30 de puerta de retardo funciona en respuesta a cada impulso del generador 28 para permitir que el contador
25 33 de impulsos comience a contar en algún intervalo deseado

417355



de tiempo después de la proyección de neutrones rápidos desde la fuente 22. Por ejemplo, el contador 33 de impulsos puede empezar a contar unos dos a cinco milisegundos después de cada proyección de neutrones, y continuar contando hasta el comienzo de la siguiente proyección de neutrones. La salida del detector 24 se aplica, mediante adecuadas etapas de amplificación y de discriminación de altura de impulsos (no representadas), al contador 33 de impulsos con puerta. Del mismo modo, la salida del detector 26 se transmite a la superficie y se aplica, a través de apropiadas etapas de amplificación y de discriminación de altura de impulsos (no representadas), al contador 34 de impulsos con puerta. De esta forma, el contador 34 de impulsos registra una cuenta de rayos gamma que es proporcional al número de neutrones producidos por la fuente 22 instalada pozo abajo. Normalmente, al contador 34 de impulsos le permitirá contar el generador 31 de puerta de retardo durante el mismo período entre proyecciones de neutrones que el contador 33 de impulsos.

En un modo de funcionamiento, el contador 34 de impulsos registra la cuenta de rayos gamma (que indica el número de neutrones emitidos desde la fuente 22) hasta un valor predeterminado, y luego aplica una señal de control por medio del conductor 43 para desconectar el generador 28 de base de tiempos, que, como se ha descrito anteriormente

417355



te, controla la pulsación de la fuente de neutrones y la
cuenta de los contadores 33 y 34 de impulsos con puerta.
Con esto terminará la salida de neutrones pozo abajo de la
fuente 22, así como la cuenta de los dos contadores 33 y 34
5 de impulsos, completando así un período de ensayo para la
formación 16. En un modo alternativo de funcionamiento, el
temporizador 36 se ajusta a un intervalo deseado de tiem-
po, y transcurrido este intervalo, se aplica una señal de
control por medio de un conductor 46 para desconectar el
10 generador 28 de base de tiempos. Con ello termina también
la operación de pulsación de neutrones pozo abajo, así co
mo la cuenta de los contadores 33 y 34 de impulsos. En es
ta ejecución, el temporizador 36 puede ajustarse a cual-
quier intervalo de tiempo apropiado, pero usualmente será
15 deseable ajustar el temporizador de manera que genere una
señal de control después de un intervalo predeterminado de
unos tres minutos. Para acomodarse a estos dos modos de
funcionamiento, los conductores 43 y 46 están provistos de
interruptores 43a y 46a, respectivamente. En un modo prefe
20 rido de funcionamiento, en el que el generador de base de
tiempos está controlado por el contador 34 de impulsos, es
tos interruptores se encontrarán en la posición mostrada
en la figura, mientras que si el generador va a ser contro
lado por el temporizador 36, el interruptor 46a estará ce-
25 rrado y el interruptor 43a abierto. Por supuesto, si no se

417355



desea la capacidad alternativa que permite el temporizador 36, se puede omitir este elemento, junto con el conductor 46 y los interruptores 43a y 46a.

5 Como se deduce de la descripción anterior, el registro con NRF implica la presencia de neutrones rápidos dentro de la formación en dos circunstancias diferentes. La primera es cuando se irradia la formación con neutrones rápidos procedentes de la fuente pulsada 22, y la segunda cuando los productos de fisión del uranio emiten neutrones retardados.

10 Tanto los neutrones de la fuente como los neutrones retardados de fisión están sujetos a ciertos procesos nucleares dentro de la formación, que influyen en los resultados obtenidos por un registro de ensayos de NRF. En este sentido, cuando los neutrones rápidos, independientemente de su origen, se producen dentro de una formación subterránea, son moderados (o decelerados) hasta niveles de energía inferiores hasta que por último forman una población de neutrones térmicos. La moderación de los neutrones rápidos se lleva a cabo mediante los procesos de colisión nuclear conocidos como dispersión elástica y dispersión inelástica. En los niveles mayores de energía, por encima de 1 Mev aproximadamente, tanto la dispersión elástica como la inelástica juegan papeles prominentes en la moderación de los neutrones. Sin embargo, a medida que el neutrón rápido

417355



disminuye su energía hasta alrededor de 1 Mev, el proceso de dispersión elástica se convierte en el factor predominante. En la dispersión elástica, el número de colisiones nucleares necesarias para que un neutrón rápido de un nivel determinado de energía llegue a moderarse hasta el nivel de energía de los neutrones térmicos, varía directamente con el peso atómico de los núcleos disponibles para las colisiones. En las formaciones subterráneas, los espacios de los poros están casi invariablemente ocupados por fluidos hidrogenados, con lo que los núcleos de hidrógeno son el factor predominante en el proceso de moderación en las formaciones subterráneas. Por supuesto, el número de núcleos de hidrógeno está relacionado con el contenido de fluidos de la formación, el cual a su vez está relacionado con la porosidad de la formación.

Al llegar al nivel de energía de los neutrones térmicos, los neutrones se difunden por la formación hasta que son capturados por los núcleos. La captura de un neutrón térmico va acompañada de la emisión de uno o más rayos gamma desde el núcleo que realiza la captura. La capacidad de una formación para capturar neutrones térmicos, o, dicho de otro modo, la capacidad para absorber neutrones térmicos, se mide por la sección eficaz macroscópica de absorción Σ_a . A su vez, el valor de Σ_a para una formación determinada depende de la sección eficaz microscópica de absorción de los diver

417355



5 sos elementos que se encuentren en la formación. La presen
cia de hidrógeno, que tiene una sección eficaz microscópi-
ca de absorción de 0,33 barns, posee un efecto pronunciado
sobre el valor de Σ_a . Por supuesto, la presencia de un
elemento como el cloro, que presenta una sección eficaz mi
croscópica de absorción mucho mayor (34 barns), dará lugar
a un valor todavía mayor de Σ_a de lo que sería en otro ca
so.

10 La respuesta de una formación a la moderación de
los neutrones rápidos y a la absorción (captura) de los neu
trones térmicos implica tanto un efecto de "extremo delante
ro" con respecto a los neutrones de la fuente, como un efec
to de "extremo trasero" con respecto a los neutrones de los
procesos retardados de fisión. La explicación del efecto de
15 extremo trasero sobre la cuenta de radiación obtenida con
un registro de ensayos de NRF es relativamente sencilla. A
igualdad de los demás factores, a medida que aumenta la res
puesta de la formación a la moderación o a la absorción,
disminuirá la cuenta obtenida con el registro de ensayos de
20 NRF. Así, en una formación que tenga una elevada respuesta
a la moderación, los neutrones retardados de fisión, una vez
emitidos, son moderados más deprisa hasta el nivel de la
energía de los neutrones térmicos, y, por lo tanto, tardan
más tiempo en llegar al detector instalado en la herramien
25 ta de NRF, aumentando su exposición a los núcleos de captu

417355



ra. Además, a medida que aumenta la respuesta de la formación a la absorción, serán capturados más neutrones, una vez que hayan sido moderados hasta el nivel de energía de los neutrones térmicos.

5 El efecto de extremo delantero con respecto a los neutrones de la fuente es mucho más complejo. Considerando primero el caso de una formación que tenga una elevada respuesta a la moderación, los neutrones de la fuente serán moderados hasta el nivel de energía de los neutrones
10 térmicos más rápidamente, y, por tanto, se disminuirá la profundidad de penetración en la formación por parte de los neutrones, ya sean neutrones rápidos o térmicos, disponibles para la reacción de fisión con neutrones. Esto, por supuesto, limita la profundidad de investigación del proceso.
15 Sin embargo, parecería que, como disminuye la profundidad de penetración de los neutrones, debería aumentar la densidad real de los neutrones de la fuente en una zona determinada de la formación que estuviese muy próxima al detector de la herramienta de NRF. Como consecuencia, existiría
20 una mayor intensidad de neutrones retardados emitidos por los productos de fisión que estuviesen relativamente muy próximos al detector, aunque la cantidad total de dichos neutrones, considerando tanto los lugares próximos como los lejanos, sería menor. Considerando el efecto de una elevada
25 respuesta de la formación a la absorción con respecto a



417355

los neutrones de la fuente, los neutrones, una vez modera-
dos hasta el nivel de energía de los neutrones térmicos,
serían capturados a un ritmo mayor que en el caso de una
formación que tuviese una respuesta a la absorción rela-
5 tivamente baja. De este modo, la cantidad de neutrones fi-
nalmente disponibles para las reacciones de fisión del
uranio disminuiría, dando lugar a menos reacciones de fi-
sión. De lo anterior puede verse que el efecto de extremo
delantero presenta un compromiso entre varios factores com-
10 petitivos, uno de los cuales tiende a aumentar la densidad
de neutrones disponibles para las reacciones de fisión con
neutrones en un lugar próximo con respecto al detector de
radiación instalado en la herramienta, aunque a expensas
de las densidades de neutrones en lugares más lejanos y de
15 la densidad total de neutrones; y el otro de los factores
citados, a través del fenómeno de captura tiende a dismi-
nuir el número de los neutrones de la fuente finalmente
disponibles para las reacciones de fisión con neutrones.

De acuerdo con el presente invento, la formación
20 de interés se registra con el fin de obtener un registro
de respuesta que indique la respuesta de la formación a la
moderación y a la absorción de los neutrones y que no res-
ponda significativamente a los neutrones, producidos en la
formación. El registro de respuesta así obtenido se puede
25 correlacionar luego con el registro de ensayos de NRF para



417355

compensar los efectos de extremo delantero y de extremo trasero descritos anteriormente y llegar a un valor cuantitativo del contenido de uranio de la formación.

5 Volviendo ahora a la figura 2, en ella se ilustra un sistema de registro que puede emplearse para obtener el registro de respuesta del presente invento. Este sistema comprende una herramienta 50 de registro que está suspendida en el pozo de sondeo 14 por medio de un cable 52 soportado en un tambor 53 accionado a motor. La herramienta de registro comprende una fuente 54 de neutrones
10 rápidos y un detector 55 de radiación. La señal de salida del detector 55 se transmite pozo arriba por medio de un conductor de cable 52 hasta un sistema registrador 57 que registra el número de cuentas del detector. A medida que
15 la herramienta de registro se traslada por el pozo, unos medios indicadores de profundidad, tal como una roldana 58 de medida, produce una señal de profundidad que es aplicada también al registrador 57, correlacionando así las medidas tomadas pozo abajo con las profundidades a que se to
20 man.

 La herramienta 50 de registro puede ser del tipo convencionalmente empleado para las medidas de porosidad en el registro de pozos de petróleo. La fuente preferiblemente es una fuente química continua, por ejemplo, del tipo
25 que comprende una mezcla de un emisor alfa tal como ameri-



417355

cio-241 con berilio-9. También puede utilizarse un tipo de fuente química discontinua de CONEXION Y DESCONEXION. Esta fuente consta de componentes independientes del blanco y del emisor que se colocan en una posición activa dentro del pozo para el registro continuo de los neutrones, y luego se coloca en una posición inactiva antes de sacar del pozo la herramienta.

Estas fuentes químicas tienen una intensidad de salida de neutrones sustancialmente constante, que disminuye lentamente con el tiempo. Por tanto, presentan una ventaja sobre las fuentes tipo acelerador tales como las que emplean la reacción deuteriotritio, que se caracterizan por una salida de neutrones muy variable.

Si bien en teoría el detector 55 de radiación, lo mismo que el detector 24 representado en la figura 1, pueden ser o un detector de neutrones o un detector de rayos gamma (que responde a los rayos gamma que acompañan a la captura de neutrones térmicos), el uso de un detector de rayos gamma requeriría que se llevara a cabo una compleja discriminación de niveles de energía, a fin de discriminar los rayos gamma de captura de los rayos gamma resultantes de la activación del oxígeno-16. Por tanto, se preferirá que el detector 55 de radiación tome la forma de un detector de neutrones térmicos tal como un contador proporcional de helio-3 del tipo descrito anteriormente.



417355

Al efectuar el registro de respuesta, usualmente se preferirán las fuentes continuas de neutrones del tipo antes descrito, porque son relativamente sencillas y económicas. Sin embargo, se puede llevar a cabo el registro de las respuestas con una fuente pulsada de neutrones, lo cual puede ser ventajoso en los casos en que se desee información adicional, tal como medidas de desintegración radiactiva de los neutrones. Si se utiliza una fuente pulsada, la salida del detector para el registro de respuesta no debe ser discriminada, o si lo es, hay que tener cuidado de asegurar que la salida del detector discriminada sea representativa tanto de la moderación como de la absorción de los neutrones.

El registro de respuesta puede realizarse en el pozo de sondeo o bien antes o bien subsiguientemente al registro de ensayos de NRF. En la mayoría de los casos, será conveniente efectuar el registro de respuesta en el mismo ciclo de registro que el registro de reconocimiento, el cual se lleva a cabo antes del registro de ensayos de NRF.

La correlación del registro de ensayos de NRF y del registro de respuesta se puede llevar a cabo mediante cualquier técnica apropiada para llegar al valor real del contenido de uranio de la formación 16. Una técnica preferida de correlación consiste en emplear una serie de funciones de calibración que definen la relación entre los va

417355



lores cuantitativos obtenidos por el registro de ensayos de NRF y la concentración de uranio para diferentes valores obtenidos por el registro de respuesta. El registro de respuesta correspondiente a la formación 16 se compara
5 con estas funciones de calibración para seleccionar la función que más estrechamente se ajuste al valor indicado por el registro de respuesta. A continuación, la función de calibración seleccionada se compara con el registro de ensayos de NRF, a fin de obtener la concentración de uranio
10 de la formación.

Volviendo ahora a la figura 3, en ella se ilustra gráficamente una serie de funciones de calibración que pueden emplearse para llevar a cabo la correlación de los registros de ensayos de NRF y de respuesta como se ha descrito anteriormente. En la figura 3, cada una de las funciones de calibración ilustradas por las curvas a a i representa un gráfico, correspondiente a un valor dado de
15 registro de respuestas de la cuenta C de ensayos de NRF en el eje de ordenadas frente a la concentración Q de uranio en el eje de abcisas. Por supuesto, las distintas variables se pueden expresar en cualquier unidad conveniente. Con el fin de aclarar este punto, se supondrá que la cuenta del registro de NRF se da en miles de neutrones contados por el contador 33 de impulsos (figura 1) por periodo de ensayo,
20 y la concentración del uranio en gramos de octóxido de
25

417355



5 triuranio por decímetro cúbico de formación; con las funciones a a i correspondiendo respectivamente a valores del registro de respuestas desde 250 a 650 neutrones por segundo en incrementos de 50 neutrones por segundo. Así, la curva a ilustra un ritmo de cuentas del registro de respuestas de 250 neutrones por segundo, la curva b corresponde a un ritmo de cuentas de 300 neutrones por segundo, etc.

10 Examinando la figura 3 puede verse que la concentración de uranio de la formación que se está investigando se puede detectar fácilmente a partir de los valores obtenidos de los registros de ensayos de NRF y de respuesta. Por ejemplo, si el registro de ensayos de NRF produce una cuenta de 16.000 neutrones para la formación que interesa, 15 y el registro de respuesta un ritmo de cuentas de 550 neutrones por segundo para esta misma formación, se seleccionaría la curva g como la función de calibración más apropiada, y la abcisa del punto g' de la curva g indicaría una concentración del mineral de uranio de poco menos de 20 32 gramos de octóxido de uranio por decímetro cúbico de formación. Si, en lugar de 550 neutrones por segundo, el registro de respuesta indicase un ritmo de cuentas de 350 neutrones por segundo para la formación que se está investigando, se seleccionaría la curva c, y la abcisa del punto 25 c' de la misma indicaría una concentración de alrededor

417355



de 44,8 gramos por decímetro cúbico. Debe hacerse notar que, incluso en las formaciones que tengan un contenido muy alto de uranio, la contribución de los neutrones excitados y retardados del proceso de fisión es mucho menor que la
5 variación estadística inherente al registro de respuesta. Es decir, que el registro de respuesta dará valores dentro de la estadística de la medida en las formaciones de mineral y en las formaciones estériles que tengan iguales todas las demás propiedades. Esto es especialmente así cuando el registro de respuesta se lleva a cabo con una fuente
10 química de neutrones, puesto que las fuentes químicas son de una intensidad mucho menor que las fuentes de acelerador.

Hay que observar que las funciones de calibración empleadas para llevar a la práctica el invento se pueden
15 desarrollar hasta cualquier resolución que se desee, por ejemplo, en incrementos que corresponden a 10 cuentas por segundo en lugar de a 50 cuentas por segundo como se ha dicho antes. También de la descripción anterior, los expertos en la técnica deducirán fácilmente que la correlación
20 de los registros de ensayos de NRF y de respuesta empleando funciones de calibración como las anteriormente descritas se puede llevar a cabo con una máquina. Por ejemplo, podrían representarse varias funciones de calibración por
25 unas señales analógicas generadas por una máquina calcula-

417355



dora analógica de uso especial, o realizarse la correlación por medio de una calculadora digital adecuadamente programada.

5 Las funciones de calibración, tales como las que se dan como ejemplo con las curvas a a i de la figura 3, pueden desarrollarse por cualquier técnica apropiada. Quizás el método más directo de producir funciones de calibración sea obtener registros de ensayos de NRF y registros de respuesta para un grupo de formaciones que presenten
10 un factor común de respuesta que tengan diferentes concentraciones conocidas de uranio. Este procedimiento podría repetirse después para grupos sucesivos de formaciones, teniendo cada grupo de formaciones un factor común de respuesta que fuese diferente del factor de respuesta del grupo
15 precedente. Puesto que, como se ha observado anteriormente, los núcleos de hidrógeno presentes en una formación tienen un efecto pronunciado tanto en la moderación de los neutrones rápidos como en la captura de los neutrones térmicos, el factor de respuesta para una formación determinada va-
20 riará con su contenido de hidrógeno. Las concentraciones diferentes de hidrógeno se encuentran fácilmente disponibles en formaciones de distintas porosidades que estén saturadas con un fluido hidrogenado, tal como el agua o el aceite. Mayores dificultades se encuentran con respecto a
25 la utilización de grandes grupos de formaciones de conteni

417355



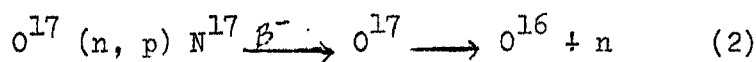
do de uranio conocido. Por ejemplo, para desarrollar las
nueve funciones de calibración, tales como las representa
das en la figura 3 y explicadas en el texto correspondien
te, teóricamente sería necesario emplear nueve grupos de
5 formaciones tal que varias formaciones en cada grupo tu
viesen el mismo factor de respuesta, por ejemplo, como re
sultado de la misma porosidad, y diferentes concentracio
nes de uranio. Esto constituirá un procedimiento caro y
engorroso, particularmente puesto que es deseable desarro
10 llar una serie de funciones de calibración para cada combi
nación de herramientas de registro de ensayos de NRF y de
respuesta que se emplee.

De acuerdo con otro aspecto del invento, se crea
una técnica mediante la cual se pueden obtener funciones
15 de calibración, tales como las previamente descritas con re
ferencia a la figura 3, sin recurrir a una cantidad tan
grande de medidas como las que serían necesarias en la téc
nica descrita anteriormente. Este método se lleva a cabo
respecto a una pluralidad de formaciones que tienen una con
20 centración sustancialmente constante de un elemento que res
ponde a la irradiación con neutrones rápidos para emitir neu
trones retardados, y dentro de las cuales el factor de res
puesta pueda variar cuantitativamente. Mas particularmente,
esta ejecución del invento puede emplearse para aprovechar
25 el hecho de que el oxígeno está presente en la mayoría de

417355



las formaciones rocosas naturales en una cantidad sustan-
cialmente constante. En este aspecto, se ha averiguado que
la mayoría de las matrices de formaciones contienen alre-
dedor de $4,7 \times 10^{22}$ átomos de oxígeno por centímetro cúbico,
5 co, y con una variación del contenido de oxígeno de una
a otra formación no superior al 7% - 8%. Un lodo natural
de perforación contiene alrededor de $3,6 \times 10^{22}$ átomos
de oxígeno por centímetro cúbico, con muy poca variación
del contenido de oxígeno en todo el pozo de sondeo para
10 profundidades menores de 1.200 metros. Como el fluido del
pozo de sondeo está muy próximo a la herramienta de regis-
tro, la máxima variación del 7% - 8% en la formación no
producirá una variación tan grande en el oxígeno como la
que detecta la herramienta de registro. Como se describe
15 en la Patente antes mencionada de Givens y otros, N^o
3.686.503, el oxígeno-17, que está presente con una abundan-
cia isotópica de alrededor del 0,037%, responde a la irra-
diación con neutrones rápidos de una energía superior a
7,93 Mev para producir neutrones retardados. La reacción
20 es



Los neutrones producidos por esta reacción tienen
25 una energía máxima de unos 2,2 Mev, y el período de vida

417355

20



media de la desintegración beta es del orden de 4,14 segundos. Por tanto, los neutrones resultantes de esta reacción están disponibles aproximadamente al mismo tiempo que los neutrones de período de vida media más corto y más abundantes que resultan de la reacción retardada de fisión del uranio. Puesto que el oxígeno está presente tanto en las formaciones de mineral de uranio como en las formaciones que no contienen uranio, los neutrones resultantes de la reacción (2) anterior contribuyen a las cuentas básicas en los registros de ensayos de uranio. Sin embargo, en este invento se emplean estos neutrones con ventaja para obtener funciones de calibración que se utilizan para correlacionar los registros de ensayos de NRF y de respuesta.

En la realización de este aspecto del invento, se lleva a cabo un registro de ensayos de NRF con respecto a un primer conjunto de formaciones, cada una de las cuales presenta un mineral de uranio diferente, y todas tienen sustancialmente las mismas respuestas a la moderación y a la captura de los neutrones térmicos. Por ejemplo, este primer conjunto puede incluir cinco formaciones o modelos de calibración en las que el contenido de mineral de uranio varía en sentido creciente desde cero hasta un límite superior de concentración que se desee. Todas las formaciones son sustancialmente de la misma porosidad y están saturadas con un fluido hidrogenado, por lo que las respuestas a la modera-

417355



ción y a la absorción son sustancialmente las mismas en cada formación. Los resultados de los diversos registros de ensayos de NRF se registran en función de la concentración de uranio. Por ejemplo, como se muestra más específicamente en la figura 4, la cuenta C de los registros de NRF se representa gráficamente en ordenadas en función del uranio por unidad de volumen, Q, en abscisas, para obtener una curva 60.

Además, se realiza un registro de respuesta como el que puede obtenerse con una herramienta de registro neutrón-neutrón como la descrita anteriormente en relación con la figura 2, para una de estas formaciones o en otra formación que presente el mismo factor de respuesta, por ejemplo, debido a las mismas porosidad y saturación de fluido, que las formaciones en que se efectuó el registro de NRF. El valor del ritmo de cuentas obtenido con este tipo de registro se denominará de ahora en adelante R_1 . Preferiblemente, por razones que resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción, el registro neutrón-neutrón se lleva a cabo en una formación cuya concentración de uranio sea cero.

Los registros de ensayos de NRF y de respuesta se llevan a cabo también en un segundo conjunto de formaciones. Cada una de estas formaciones tiene una concentración constante de uranio, que es igual a la concentración de uranio de la formación en que se realizó el registro de respuesta

417355



descrito en el párrafo precedente. Preferiblemente, el con
tenido de uranio de las formaciones será cero, permitiendo
así la utilización de formaciones presentes de forma natu-
ral que tienen un contenido de oxígeno sustancialmente cons
5 tante. Así, los neutrones retardados que se detecten duran
te el registro de ensayos de NRF serán los que resultan de
la reacción del oxígeno-17 descrita anteriormente. Las for
maciones constituyentes de este segundo conjunto presentan
diferentes factores de respuesta, como los que podrían ser
10 debidos a diferentes porosidades en la formación. Con res-
pecto a estas formaciones, los resultados de los registros
de NRF se registran en función de los registros de respues
ta. De este modo, como se ve en la figura 5, el ritmo de
cuentas 12 de los registros neutrón-neutrón se representa
15 gráficamente en ordenadas en función de la cuenta C de los
registros de NRF para cada una de las formaciones respecti-
vas, con el fin de proporcionar una función ilustrada por
la curva 62 en la figura 5.

A partir de los resultados obtenidos con los pro-
20 cedimientos anteriores, se puede desarrollar una serie de
funciones de calibración para utilizarlas en la correlación
de registros de ensayos de NRF y de respuesta. La curva 60
de la figura 4 representa una función de calibración corres
pondiente a una formación en la que el registro de respues
25 ta da un ritmo de cuentas de R_1 cuentas por segundo. A par-

417355



tir de esta curva, y de la curva 62 de la figura 5, se pueden desarrollar funciones adicionales de calibración para formaciones que den diferentes ritmos de cuentas. Así, para generar una función de calibración correspondiente a una formación que dé un valor del registro de respuesta de R_2 cuentas por segundo, se lleva el valor R_2 al eje de ordenadas de la figura 5, y a partir de él se puede determinar el valor correspondiente C_2 de la cuenta de ensayos de NRF en el eje de abcisas. El valor C_1 que corresponde al ritmo de cuentas R_1 se determina de una manera similar. A continuación se calcula la relación $\frac{C_2}{C_1}$, y se emplea esta relación para obtener una curva 64 mostrada en la figura 4, para el ritmo de cuentas R_2 . Esto se logra multiplicando los valores de las ordenadas de la curva 60 por la relación $\frac{C_2}{C_1}$, para determinar los correspondientes valores de las ordenadas para la curva 64. Se puede aplicar este mismo procedimiento para generar las funciones adicionales de calibración que se deseen. Por ejemplo, para el ritmo de cuentas R_3 del registro de respuesta, el correspondiente valor C_3 se halla en el eje de abcisas de la figura 5, y se utiliza la relación $\frac{C_3}{C_1}$ para generar una tercera función de calibración 66.

417355

22



A partir de la descripción anterior, se reconocerá que esta ejecución del invento permite la generación de las funciones deseadas de calibración empleando un número relativamente pequeño de medidas empíricas. Esto es particularmente ventajoso, puesto que es deseable generar funciones de calibración por separado para cada conjunto de sistemas de registro de ensayos de NRF y de respuesta que se emplea, dado que las características de los sistemas de registro varían de uno a otro sistema. Por ejemplo, dos sistemas de registro neutrón-neutrón que funcionen con respecto a la misma formación pueden dar ritmos de cuentas que varíen considerablemente, dependiendo de la intensidad de la fuente, de la sensibilidad del detector, y de la separación entre la fuente y el detector. Variaciones similares en los valores se experimentarán cuando se pase de un sistema de registro de ensayos de NRF a otro.

Las diversas formaciones de rocas empleadas en los procedimientos empíricos descritos anteriormente pueden ser formaciones sintéticas o formaciones terrestres que se encuentran en la naturaleza. En la práctica, usualmente será deseable sintetizar el primer grupo de formaciones antes descrito con el fin de conocer las concentraciones reales de uranio con un elevado grado de precisión. Como se ha hecho notar anteriormente, una de las formaciones pertenecientes a este primer grupo, tiene preferiblemente una

417355



concentración de uranio igual a cero. Es deseable que el segundo grupo de formaciones sean formaciones terrestres que se encuentren en la naturaleza y que no contengan uranio. De este modo, los neutrones retardados detectados por el oxígeno de ensayos de NRF serán los resultantes de la reacción del oxígeno-17. Como la concentración de oxígeno en las formaciones terrestres que se encuentran en la naturaleza es relativamente constante, según se ha descrito antes, esto proporciona unos medios económicos de llegar a la información mostrada en la figura 5.

Esta solicitud que corresponde a la presentada en los Estados Unidos de América, el 29 de Noviembre de 1.972, bajo el Nº 310.612, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

REIVINDICACIONES

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

1ª.- Un método de ensayar la presencia de mineral

417355



de uranio en formaciones terrestres naturales atravesadas por un pozo de sondeo, que comprende: (a) irradiar una formación que interese con una fuente de neutrones rápidos, con lo que los neutrones de la fuente son moderados en la
5 formación hasta niveles menores de energía; (b) detectar la respuesta de la formación a la moderación de los neutrones; (c) registrar la respuesta para obtener un registro representativo de la respuesta de la formación a la moderación de los neutrones; (d) irradiar la formación con repetidas proyecciones de neutrones rápidos, siendo los intervalos de tiempo comprendidos entre las proyecciones mayores que el tiempo necesario para la disipación de los neutrones originados en las proyecciones; (e) durante los intervalos de tiempo comprendidos entre las proyecciones y después de
15 disiparse los neutrones originados en las proyecciones, poner en funcionamiento un detector para detectar la radiación que acompaña a los neutrones retardados resultantes de la fisión del uranio con neutrones; (f) registrar la radiación detectada en el paso (e) para obtener un registro representativo del contenido de uranio en la formación; y (g)
20 correlacionar los registros obtenidos en los pasos (c) y (f) para determinar un valor corregido del contenido de uranio en la formación.

25 2ª.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1ª, en el que, en el paso (a), los neutrones son moderados

417355



5 en la formación hasta niveles más bajos de energía y se so
meten a la absorción para producir radiación secundaria,
siendo detectado el ritmo de cuentas de la radiación secun
daria en el paso (b) como la respuesta de la formación a
la moderación de los neutrones.

3ª.- Un método de acuerdo con la reivindicación
2ª, en el que la radiación detectada en el paso (b) compren
de neutrones de la población neutrónica de energías más ba
jas.

10 4ª.- Un método de acuerdo con las reivindicacio-
nes 2ª ó la 3ª, en el que los neutrones detectados en el
paso (b) comprenden neutrones térmicos.

15 5ª.- Un método de acuerdo con la reivindicación
1ª, en el que, en el paso (a), los neutrones rápidos son
moderados en la formación para constituir una población
de neutrones térmicos sometidos a absorción dentro de la
formación, siendo detectados los neutrones térmicos en el
paso (b) y registrándose su ritmo de cuentas para obtener
el registro representativo de la respuesta de la formación.

20 6ª.- Un método de acuerdo con cualquiera de las
reivindicaciones 1ª a 5ª, en el que el valor corregido del
contenido de uranio se determina comparando el registro ob
tenido en el paso (c) con una serie de funciones de cali-
bración que definen la relación entre la cantidad de neutro
25 nes retardados detectados y la concentración de uranio para

417355



diferentes valores de moderación y absorción de los neutro-
nes, seleccionando una función de calibración que corres-
ponde al valor de respuesta indicado por el registro del
paso (c), y comparando el registro del paso (f) con la fun-
5 ción seleccionada de calibración para determinar el valor
corregido del contenido de uranio.

7ª.- Un método de acuerdo con cualquiera de las
reivindicaciones 1ª a 6ª, en el que la fuente empleada en
el paso (a) es de una intensidad de neutrones sustancial-
10 mente constante.

8ª.- Un método de acuerdo con la reivindicación
7ª, en el que la irradiación del paso (a) se lleva a cabo
con una fuente continua de neutrones rápidos.

9ª.- Un método de acuerdo con cualquiera de las
15 reivindicaciones 1ª a 8ª, en el que la radiación detectada
en el paso (e) comprende neutrones térmicos.

10ª.- Un método de acuerdo con cualquiera de las
reivindicaciones 1ª a 9ª, en el que la radiación detectada
en el paso (b) se registra para obtener un registro repre-
20 sentativo de al menos un factor de respuesta de la forma-
ción a la moderación de los neutrones, cuyo método incluye
las etapas de ejecutar los pasos (d) y (e) para cada forma-
ción de un primer conjunto de una pluralidad de formacio-
nes que tienen sustancialmente el mismo factor de respues-
25 ta a la moderación de los neutrones, y registrar la radia-

10.7.73

Rg

417355



ción detectada en el paso (e) para cada formación en función de la concentración de uranio; y (h) en un segundo conjunto de una pluralidad de formaciones que tienen una concentración sustancialmente constante de un elemento que responde a la irradiación con neutrones rápidos para emitir neutrones retardados y en el que dicho factor de respuesta varía cuantitativamente, irradiar cada una de las formaciones con neutrones rápidos, con lo que los neutrones rápidos son moderados en las mismas hasta niveles más bajos de energía, y están sometidos a absorción; (i) para cada una de las formaciones citadas en el paso (h), detectar la radiación que acompaña a los neutrones de menor energía; (j) irradiar cada formación del paso (h) con repetidas proyecciones de neutrones rápidos; (k) para cada una de las formaciones del paso (h), y durante los intervalos de tiempo comprendidos entre dichas proyecciones y después de la disipación de los neutrones originados en las proyecciones, detectar la radiación que acompaña a los neutrones retardados que emite el elemento; (l) registrar la radiación detectada en el paso (i) en función de la radiación detectada en el paso (k); (m) correlacionar la función del paso (l) con el registro del paso (c) para desarrollar factores de normalización para una pluralidad de valores del factor de respuesta; y (n) aplicar dichos factores de normalización al registro del paso (f) para desarrollar una se-

Rg

417355



rie de funciones de calibración para diferentes valores del factor de respuesta.

5 11ª.- Un método de acuerdo con la reivindicación 10ª, en el que, en el paso (a), los neutrones rápidos son moderados en la formación para constituir una población de neutrones térmicos, siendo detectados los neutrones térmicos de la población en el paso (b) para obtener un registro representativo de un factor de respuesta de la formación a la moderación y absorción de los neutrones.

10

 12ª.- Un método de acuerdo con las reivindicaciones 10ª ó la 11ª, en el que el segundo conjunto de formaciones son formaciones terrestres que se presentan en la naturaleza y que tienen una concentración de oxígeno sustancialmente constante y diferentes factores de respuesta para la moderación y absorción de neutrones.

15

 13ª.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10ª a 12ª, en el que los neutrones térmicos se detectan en el paso (i).

20

 14ª.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10ª a 13ª, en el que los neutrones retardados emitidos por el oxígeno son detectados en el paso (k).

25

Rey

417355



15ª.- Un método de ensayar la presencia de mineral de uranio en formaciones terrestres naturales atravesadas por un pozo de sondeo.

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

Esta Memoria consta de cuarenta y una hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

10

P.A.

417355

FIG. 1

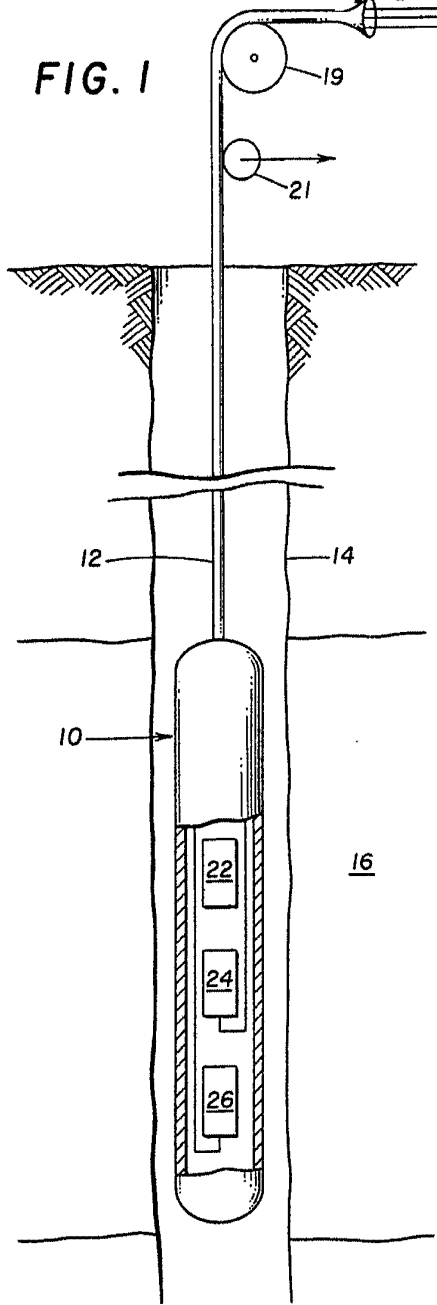
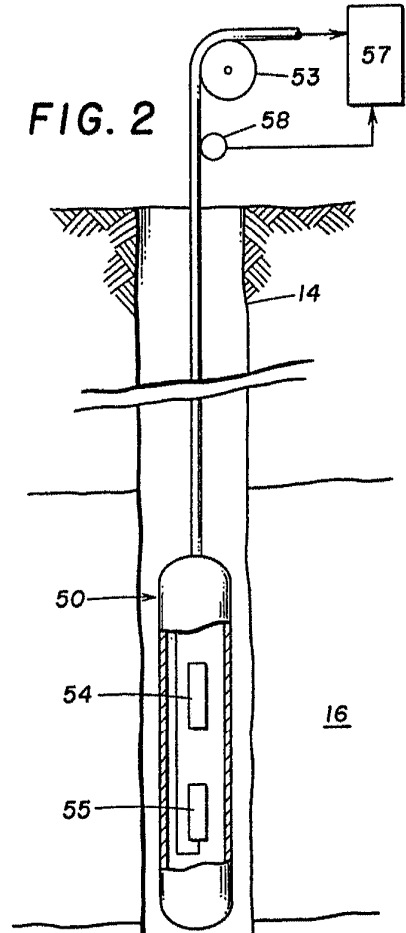


FIG. 2



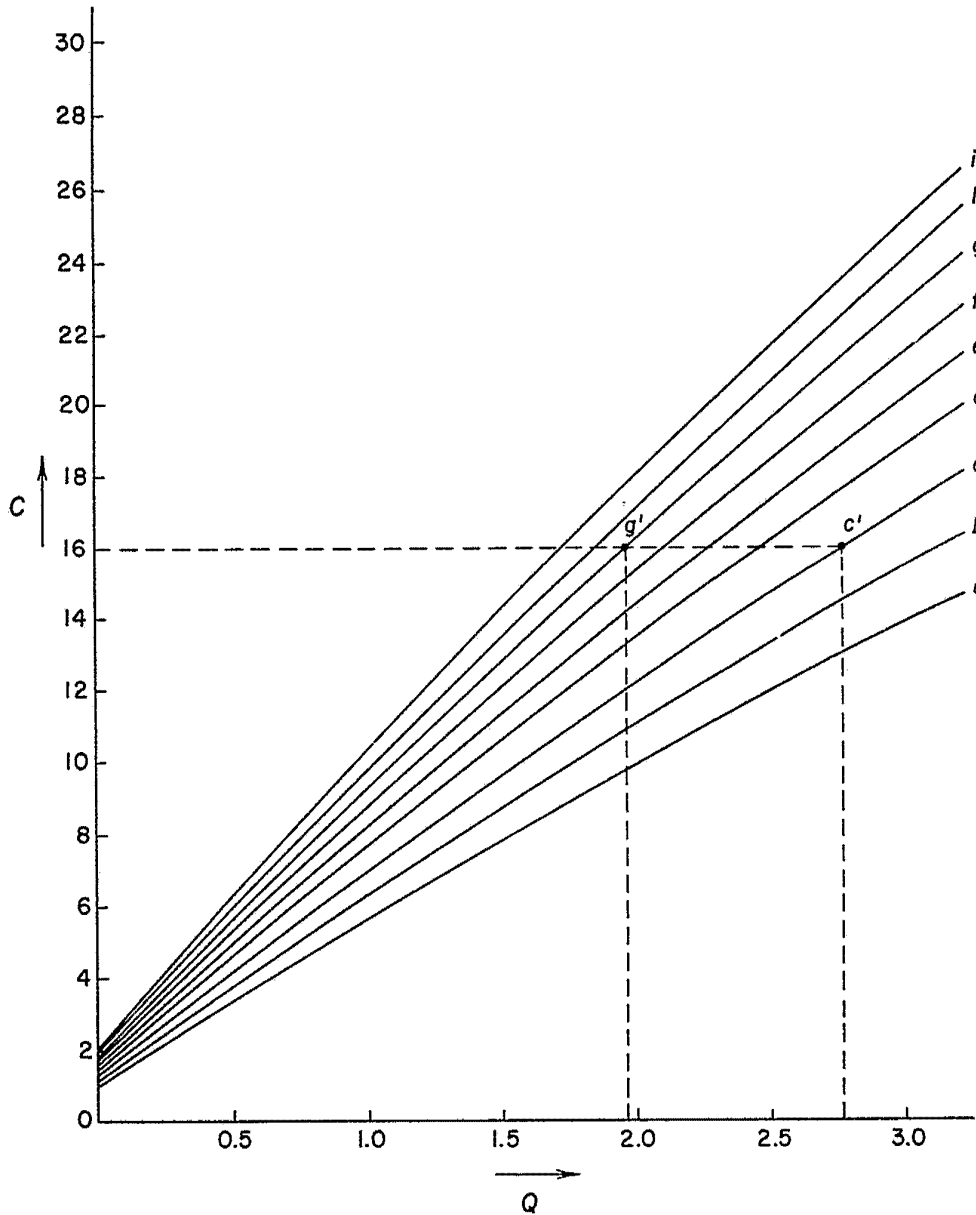
Spencer & Foxbury
Patent Attorneys

417355

417355



FIG. 3



[Handwritten signature]

417355

28



FIG. 4

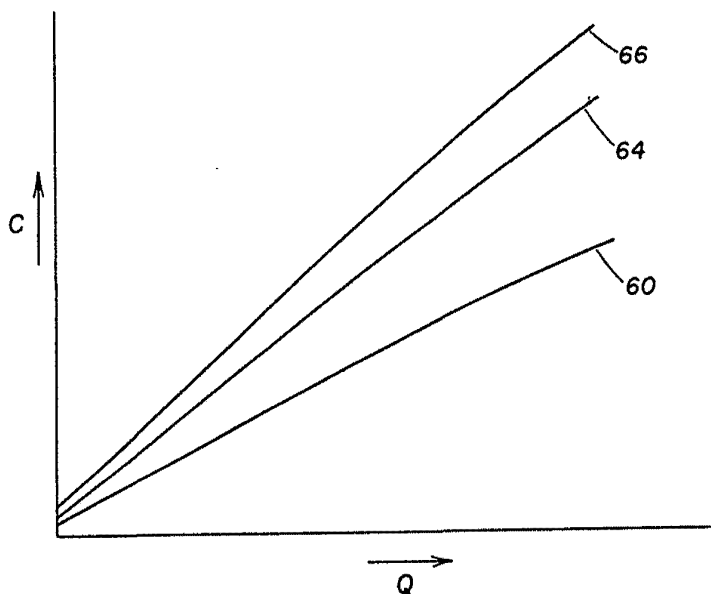
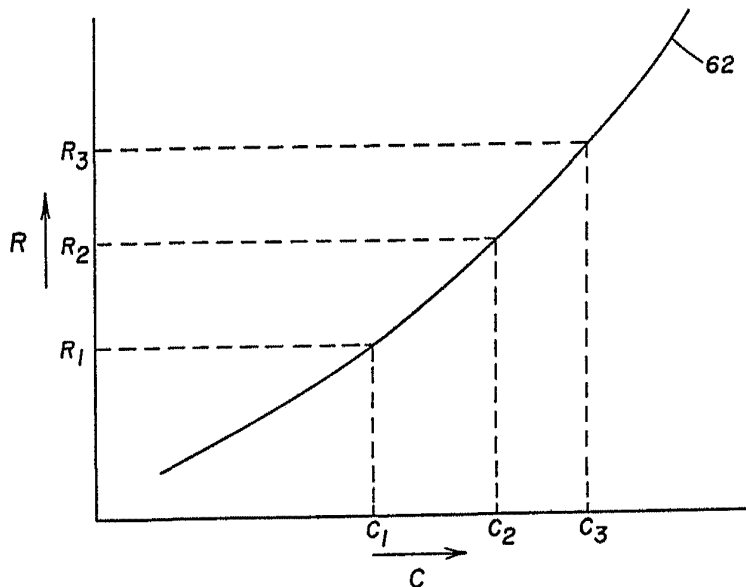


FIG. 5



Curie